

ВИКОРИСТАННЯ АЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЕЖЕКТОРНОГО ТИПУ ДЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Л.А. Саблій¹, О.М. Ободович², В.В. Сидоренко², С.В. Кононцев³,
М.С. Коренчук¹

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

²Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

³Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне
e-mail: nikoleagle0@gmail.com

Проведено випробування роботи аераційно-окиснювальної установки роторного типу з різними конструкціями аераторів-окиснювачів і в різних режимах роботи з використанням активного мулу та стічної води з Бортницької станції аерації. Наведено результати якісного та кількісного аналізів активного мулу до та після обробки в установці (муловий індекс, мікроскопування) та ефекту очищення стічної води за показником хімічного споживання кисню. Виявлено параметри, за яких активний мул функціонує в задовільному режимі та тривалість такого режиму роботи.

Ключові слова: активний мул, стічні води, аератор-окиснювач, мікроскопування, муловий індекс.

Вступ

В процесі біологічного очищення стічних вод широко застосовують пневматичні системи аерації, які забезпечують достатні концентрації розчиненого кисню у муловій суміші та її перемішування. Пошук способів насичення мулової суміші киснем повітря зі зменшеними енерговитратами залишається актуальною проблемою [1]. Одним із таких способів є використання гідромеханічних систем аерації. Відомо, що такі системи аерації мають менші питомі енерговитрати порівняно з більш широко використовуваними пневматичними системами [2].

Біологічні реактори із струменевим змішуванням (відомі в англійській літературі під назвою «jet loop reactor» [2]) не здобули широкого застосування на практиці [2–5]. Проте відомо, що такі реактори створюють сприятливі умови для ефективного розчинення кисню у воді. Ежектване повітря в умовах інтенсивного перемішування та турбулентних потоків диспергується у вигляді мікробульбашок, значно збільшуючи поверхню поділу фаз, що сприяє його розчиненню [3]. Проте, проходження мулової суміші через відцентровий насос може спричинити механічні пошкодження мікроорганізмів активного мулу [6]. Окрім того, погіршуються седиментаційні властивості активного мулу, що ускладнює його подальше відділення [7].

Постановка задачі

Метою дослідження є пошук конструкції аератора-окиснювача та раціональних параметрів його роботи для забезпечення м'яких умов перемішування та розчинення кисню, при яких не відбуватиметься порушення стану активного мулу.

Задачами дослідження є:

- оцінка сталості параметрів мулової суміші при різних режимах роботи установки та конструкції аератора окиснювача;
- визначення ефективності видалення забруднень за показником хімічного споживання кисню (ХСК).

Обладнання, методи і матеріали

Дослідження проводили на базі дослідної аераційно-окиснювальної установки роторного типу в Інституті технічної теплофізики НАНУ. Схему установки представлено на рис. 1.

Насичення киснем і перемішування відбувається в аераторі-окиснювачі (рис. 2).

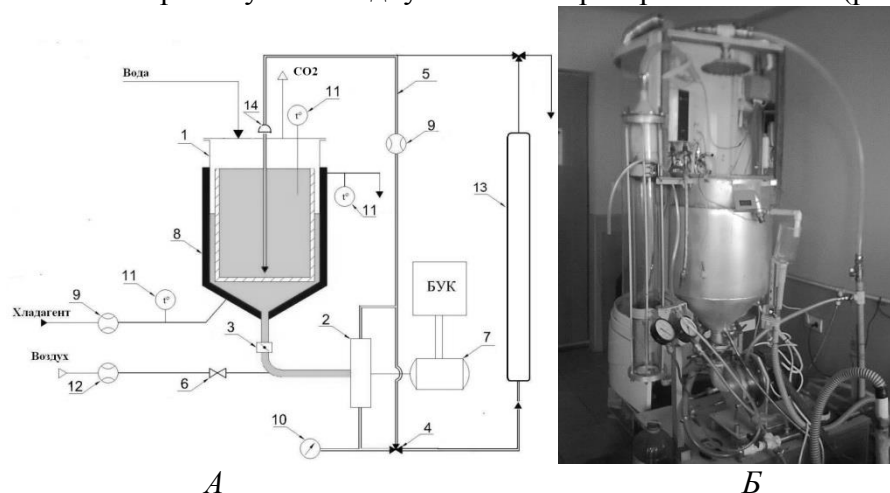


Рис. 1. Аераційно-окиснювальна установка роторного типу:
А – схема; Б – фото установки; 1 – ємність-накопичувач з внутрішнім циліндром; 2 – аератор-окиснювач; 3 – заслінка; 4 – триходовий кран; 5 – трубопровід рециркуляції; 6 – двоходовий кран; 7 – двигун; 8 – охолоджувальна сорочка; 9 – витратомір; 10 – манометр; 11 – термометр; 12 – витратомір повітря; БУК – блок управління та контролю; 13 – окиснювальна колона; 14 – розпилююча голівка

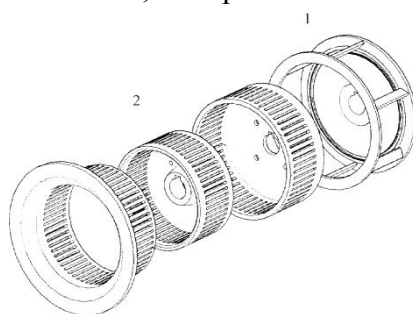


Рис 2. Схема аератора-окиснювача:
1 – робоче колесо відцентрового насоса;
2 – роторно-пульсаційний вузол

Дослідження проводили з використанням двох варіантів конструкції аераторів-окиснювачів.

Робочий об'єм першого аератора-окиснювача становить $0,0015 \text{ м}^3$. Основним елементом даного пристрою є роторно-пульсаційний вузол, який складається з двох роторів, з'єднаних гвинтами, та статора. Ротори мають наступні конструктивні параметри: внутрішній радіус малого ротора $R_{мр}=56 \text{ мм}$, великого $R_{вр}=66 \text{ мм}$; розміри прорізів $a=3 \text{ мм}$; висота $h_{нр}=5 \text{ мм}$; кут між ними 6° ; кількість $m=60$. Зазор між ротором і статором в роторно-пульсаційному вузлі складає $\delta=0,15\div0,3 \text{ мм}$. Конструктивні параметри статора наступні: внутрішній радіус $R_{ст}=61 \text{ мм}$; розміри прорізів $a=3 \text{ мм}$; висота $h_{нр}=5 \text{ мм}$; кут між ними 6° ; кількість $m=60$.

Другий варіант аератора-окиснювача містить роторно-пульсаційний вузол, який складається з одного ротора та статора. Конструктивні параметри ротора такі: внутрішній радіус $R_{вр}=40 \text{ мм}$; зовнішній радіус $R_{зв}=70 \text{ мм}$, який містить 12 круглих отворів діаметром

$d_{om}=12$ мм. Конструктивні параметри статора: внутрішній радіус $R_{ст.вн}=70$ мм; зовнішній радіус $R_{ст.зв}=75$ мм.

У роботі проводили визначення доз активного мулу за сухою речовиною a , за об'ємом V і мулового індексу I .

Для визначення дози активного мулу a відбирали мулову суміш об'ємом $v=50$ см³, яку відфільтровували на попередньо висушеному та зваженому паперовому фільтрі «біла стрічка» масою m_1 та висушували до постійної маси m_2 за температури 105° С протягом шести годин. Дозу активного мулу розраховували за формулою:

$$a = \frac{(m_2 - m_1)}{v} \cdot 1000, \text{ г} / \text{дм}^3. \quad (1)$$

Визначення дози активного мулу за об'ємом полягає у відстоюванні мулової суміші об'ємом $v_{np}=200$ см³ протягом 30 хв. з подальшим визначенням об'єму v_{oc} , який займає мул після відстоювання, і перерахунком на 1 дм³:

$$V = \frac{v_{oc}}{v_{np}} \cdot 1000, \text{ см}^3 / \text{дм}^3. \quad (2)$$

Муловий індекс визначається як відношення дози активного мулу за об'ємом V до його дози за сухою речовиною a :

$$I = \frac{V}{a}, \text{ см}^3 / \text{г}. \quad (3)$$

Дослідження активного мулу проводили за допомогою тринокулярного мікроскопа марки XSP-139TP Ulab, який обладнано окуляром зі збільшенням $\times 10$ та об'єктивами зі збільшеннями $\times 10$, $\times 20$ та $\times 40$. Також, використовували мікроскоп Carl Zeiss Axio Imager.

Для підрахунку кількості груп організмів активного мулу застосовували метод «Відкаліброваної краплі» [8]. Відбирали 150 см³ мулової суміші, з якої, попередньо перемішавши, мікропіпеткою відбирали 0,1 см³ рідини, поміщали на предметне скельце і вкривали покривним скельцем розміром 18x18 мм. Робили три таких препарати. В кожному препараті підраховували кількість організмів в 10 полях зору під мікроскопом зі збільшенням $\times 100$. Визначали кількість організмів D в 1 см³ мулової суміші за формулою [8]:

$$D = \frac{S \cdot d}{\pi \cdot r^2 \cdot \rho}, \text{ клітин} / \text{см}^3, \quad (4)$$

де d – кількість організмів в одному полі зору (середнє арифметичне з оглянутих полів зору); r – радіус поля зору в мм; S – площа покривного скельця в мм²; ρ – об'єм використаної рідини, см³.

Активний мул для досліджень був відібраний з мулової камери після вторинних відстійників Бортницької станції аерації м. Києва. Він представляє собою асоціацію мікроорганізмів. Мікрофотографії активного мулу представлено на рис. 3.

Протягом дослідження проби активного мулу відбирали двічі. В обох зразках мул є помірно-навантаженим, нитчасті бактерії відсутні, наявні інфузорії родів: *Paramecium*, *Vorticella*, *Epistylis*, *Euplotes*; коловертки родів: *Habrotrocha*, *Epipheres*, *Rotaria*, *Pleurotrocha*. В другій пробі визначали розрахункову кількість організмів, де кількість інфузорій склала 3335 особин/см³, коловерток - 205 особин/см³. Параметри обох проб активного мулу представлено в таблиці 1. Для подальшого дослідження ефекту очищення за параметром ХСК було відібрана нова проба активного мулу: доза мулу за об'ємом – 880 см³/дм³. Муловий індекс - 110 см³/г.

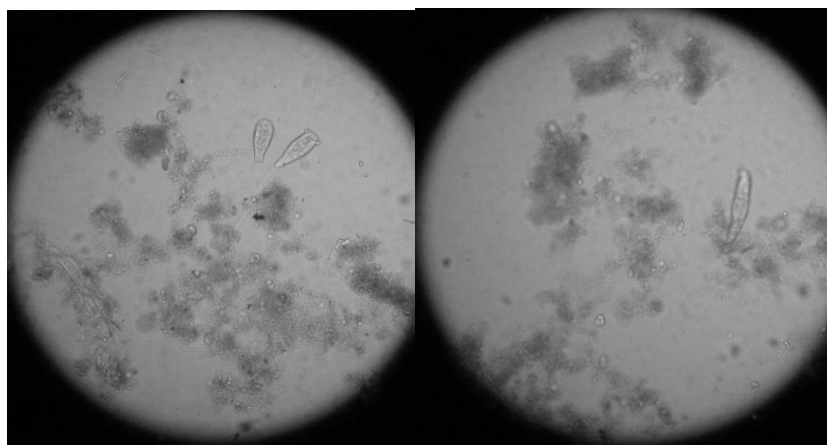


Рис 3. Мікрофотографії активного мулу при збільшенні x200

Для якісної оцінки забруднення стічної води застосовували стандартну методику визначення хімічного споживання кисню протягом 2 годин – ХСК [9].

Об'єм оброблюваної мулової суміші складає 30 дм³ з концентрацією мулу 2,5 г/дм³, що отримували розведенням активного мулу відстояною водопровідною водою (при оцінці параметрів активного мулу на першому етапі досліджень) та стічною водою (при визначенні ступеня очищення стічної води) в апараті перед початком дослідів.

Таблиця 1. Параметри активного мулу, відібраного на Бортницькій станції аерації

NN проб	Доза активного мулу, a , г/дм ³		Середня доза активного мулу, $a_{сер}$, г/дм ³	Доза активного мулу V_2 , см ³ / дм ³		Середня доза активного мулу $V_{сер}$, см ³ /дм ³	Муловий індекс, I , дм ³ /г
	I	II		I	II		
1	8,28	8,46	8,37	925	935	930	111,11
2	7,3	8,54	7,92	950	960	955	120,58

Примітка: 1 і 2 – послідовні проби; I і II – паралельні проби.

Результати та їх обговорення

Перші 3 проведені досліди були направлені на пошук раціональних параметрів роботи установки та її конструкції. Наступні два дослідження проводили для оцінки глибини очищення стічної води за показником ХСК.

Перше дослідження параметрів активного мулу в аераційно-окиснювальній установці роторного типу проводили при кутовій швидкості роторів 38,2 с⁻¹, яка є мінімальною для даного апарату. Температура мулової суміші складала 21,7° С. Тривалість обробки – 40 хв. Відбір проб проводили кожні 10 хв. Використовували перший варіант аератора-окиснювача. Результати представлено в таблиці 2 та на рис. 4.

Таблиця 2. Параметри активного мулу після обробки при 38,2 с⁻¹

NN проб	Доза активного мулу, a , г/дм ³		Середня доза активного мулу, $a_{сер}$, г/дм ³	Доза активного мулу V_2 , см ³ / дм ³		Середня доза активного мулу $V_{сер}$, см ³ /дм ³	Муловий індекс, I , дм ³ /г
	I	II		I	II		
К	0,8	0,74	0,77	60	65	62,5	81,17
4	0,68	0,74	0,71	60	65	62,5	88,02

Примітка: К – контроль; див. примітку до таблиці 1.

Друге дослідження активного мулу в установці проводили за кутової швидкості роторів $47,75 \text{ c}^{-1}$. Температура мулової суміші складала $21,7^\circ \text{C}$. Використовували перший варіант аератора-окиснювача. Тривалість обробки становила 40 хв. Відбір проб проводили кожні 10 хв. Результати представлено в таблиці 3 і на рис. 5.

Третє дослідження активного мулу в установці проводили при кутовій швидкості роторів $47,75 \text{ c}^{-1}$. Температура мулової суміші складала $21,7^\circ \text{C}$. Використовували другий варіант аератора-окиснювача. Тривалість обробки становила 28хв. Результати представлено на рис. 6.

Таблиця 3. Параметри активного мулу після обробки при $47,75 \text{ c}^{-1}$

NN проб	Середня доза активного мулу $V_{\text{сер}}$, cm^3/dm^3	Середня доза активного мулу, $a_{\text{сер}}$, $\text{г}/\text{dm}^3$	Муловий індекс, I , $\text{dm}^3/\text{г}$	Час від початку роботи установки t , хв
К	82,5	0,64	128,91	0
1	90	0,61	147,54	10
2	90	0,56	160,71	20
3	90	0,52	173,08	30
4	77,5	0,47	164,89	40

Примітка: див. примітку до таблиць 1 і 2.

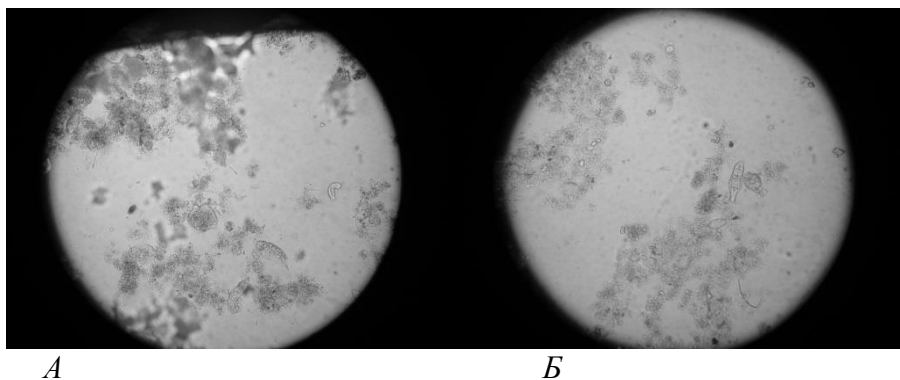


Рис. 4. Мікрофотографії активного мулу при збільшенні $\times 200$:
 A – контроль; B – 4 проба.

Наступні дослідження були проведені з використанням другого варіанту аератора-окиснювача.

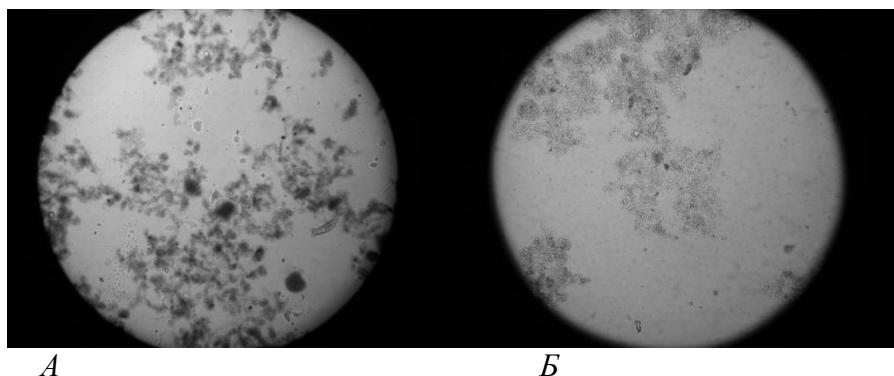


Рис. 5. Мікрофотографії активного мулу при збільшенні $\times 100$:
 A – контроль; B – 4 проба.

Четвертий дослід з біологічного очищення стічної води проводили при кутовій швидкості роторів $47,75 \text{ c}^{-1}$, яка є максимальною для даного апарату. Температура мулової суміші складала 24°C . Тривалість обробки – 4 години. Початкове значення ХСК= $200 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Відбір проб проводили перед початком дослідження, та на 2 годині. Показник ХСК очищеної води становив $160 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, тобто ефект очищення – 20%.

П'ятий дослід з біологічного очищення стічної води проводили при зменшеній кутовій швидкості роторів $38,2 \text{ c}^{-1}$. Температура мулової суміші складала $24,2^{\circ}\text{C}$. Початкове значення ХСК= $113 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Тривалість обробки – 4 години. Відбір проб проводили перед початком дослідження, на 2 годині, 3 годині та по його завершенню. При низькому початковому значенні ХСК ефект очищення не спостерігався.

Дослідження, виконані з використанням першого варіанту аератора-окиснювача, демонструють сталість параметрів активного мулу при мінімальній кутовій швидкості установки.

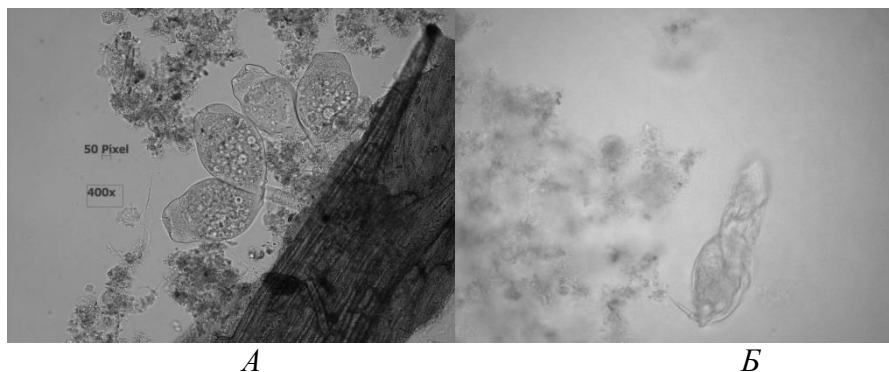


Рис. 6. Мікрофотографії активного мулу при збільшенні $\times 400$:
А – контроль; Б – проба.

В ході дослідження активного мулу при максимальній кутовій швидкості було виявлено руйнування пластівців активного мулу та загибель еукаріотів, відповідно до результатів мікроскопування (рис. 5, Б та рис. 6, Б). Помічено суттєве зростання мулового індексу (таблиця 3).

Висновки

Виявлено, що використання другого варіанту аератора-окиснювача забезпечує м'який режим перемішування та аерації суміші, який не призводить до загибелі активного мулу та суттєвих змін його параметрів. Показано, що при тривалості аерації протягом 2 годин спостерігали невисокий ефект очищення стічної води, проте більш тривала обробка призводить до небажаного здрібнення активного мулу. Результати проведених досліджень підтвердили необхідність пошуку найбільш раціональної конструкції аератора-окиснювача, яка дозволить максимально зменшити вищеперераховані негативні явища і одержати високу ефективність очищення стічної води за ХСК.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭЖЕКТОРНОГО ТИПА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Л.А. Саблий¹, А.Н. Ободович², В.В. Сидоренко², С.В. Кононцев³,
Н.С. Коренчук¹

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт
имени Игоря Сикорского», г. Киев

²Институт технической теплофизики НАН Украины, г. Киев

³Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г.Ровно
e-mail: nikoleagle0@gmail.com

Проведены испытания работы аэрационно-окислительной установки роторного типа с различными конструкциями аэраторов-окислителей и в различных режимах работы с использованием активного ила и сточной воды из Бортнической станции аэрации. Приведены результаты качественного и количественного анализов активного ила до и после обработки в установке (иловый индекс, микроскопирование) и эффекта очистки сточной воды по показателю химического потребления кислорода. Выявлено параметры, при которых активный ил функционирует в удовлетворительном режиме и продолжительность такого режима работы.

Ключевые слова: активный ил, сточные воды, аэратор-окислитель, микроскопирование, иловый индекс.

USAGE OF AERATION-OXIDATIVE JET-LOOPED INSTALLATION FOR BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT

L. Sabliy¹, O. Obodovych², V. Sydorenko², S. Konontsev³,
M. Korenchuk¹

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

²Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

³National University of Water and Environmental Engineering
e-mail: nikoleagle0@gmail.com

Biological treatment of wastewater widely use pneumatic aeration systems, which provide sufficient concentrations of dissolved oxygen in the sludge mixture and its mixing. Reducing energy consumption of aeration remains an urgent problem. One of these methods is usage of hydromechanical aeration systems. It has known that such aeration systems have lower specific energy consumption compared to pneumatic systems. Nevertheless, hydromechanical aeration systems has limited volume performance. The simultaneous increasing of air solubility and lowering air suction in this system would increase its relative productivity.

The purpose of the work is to find the design of an aerator-oxidizer and rational operation parameters to ensure the mild mixing and dissolution conditions of oxygen, in which there is no structural violation of active sludge.

The operation of the aeration-oxidative jet-looped installation with various designs of oxidizer aerators and in various modes of operation using activated sludge and wastewater from the Bortnicheskaya aeration station was tested. The results of qualitative and quantitative analyzes of the active sludge before and after treatment in the installation (sludge index, microscopy) and the effect of wastewater treatment on the indicator of chemical oxygen consumption are presented. The parameters under which the activated sludge function in a satisfactory mode and the duration of this mode of operation are determined.

Found that the usage of the second variant of the aeration-oxidative provides a mild mixing and aeration mode for the mixture, which does not lead to the destruction of active sludge and

significant changes in its parameters. Shown a low efficiency of wastewater treatment, but a longer treatment resulted in undesirable destruction of active sludge floccules. The results of the research showed the research direction for most efficient design of the aerator-oxidizer, which will maximally reduce the above-mentioned negative phenomena and obtain high efficiency of sewage treatment by COD parameter.

Keywords: *activated sludge, wastewater, rotary-pulsation unit, aerator, microscopy, sludge index.*

ЛІТЕРАТУРА

1. Саблій Л. А. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні і управління безпекою праці / Л. А. Саблій, О. М. Бунчак, В. С. Жукова, В. М. Россінський. — Рівне : НУБГП, 2016. — 356 р.
2. Bloor J. C. High rate aerobic treatment of brewery wastewater using the jet loop reactor / J. C. Bloor, G. K. Anderson, A. R. Willey // Water Research. — 1995. — Vol. 29, No. 5. — P. 1217–1223. DOI: 10.1016/0043-1354(94)00310-4
3. Petruccioli M. Aerobic treatment of winery wastewater using a jet-loop activated sludge reactor / M. Petruccioli, J. Cardoso Duarte, A. Eusebio, F. Federici // Process Biochemistry. — 2002. — Vol. 37, No. 8. — P. 821–829. DOI: 10.1016/S0032-9592(01)00280-1
4. Wei C. Treatment of food processing wastewater in a full-scale jet biogas internal loop anaerobic fluidized bed reactor / C. Wei, T. Zhang, C. Feng[et al.] // Biodegradation. — 2011. — Vol. 22, No. 2. — P. 347–357.
5. Pant D. Biological approaches for treatment of distillery wastewater: a review / D. Pant, A. Adholeya // Bioresource Technology. — 2007. — Vol. 98, No. 12. — P. 2321–2334.
6. Eusébio A. Characterization of the microbial communities in jet-loop (jacto) reactors during aerobic olive oil wastewater treatment / A. Eusébio, M. Mateus, L. Baeta-Hall[et al.] // International Biodeterioration & Biodegradation. — 2007. — Vol. 59, No. 3. — P. 226–233. DOI: 10.1016/j.ibiod.2006.11.008

REFERENCES

- L. Sabliy, M. Bunchak, V. Zhukova, V. Equipment and engineering in bioenergy and water treatment and safety management (Rivne: NUWEE, 2016.) [In Ukrainian]
- Bloor, J. C., Anderson, G. K., & Willey, A. R. (1995). High rate aerobic treatment of brewery wastewater using the jet loop reactor. Water Research, 29(5), 1217–1223. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00310-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)00310-4)
- Petruccioli, M., Cardoso Duarte, J., Eusebio, A., & Federici, F. (2002). Aerobic treatment of winery wastewater using a jet-loop activated sludge reactor. Process Biochemistry, 37(8), 821–829. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(01\)00280-1](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00280-1)
- Wei, C., Zhang, T., Feng, C., Wu, H., Deng, Z., Wu, C., & Lu, B. (2011). Treatment of food processing wastewater in a full-scale jet biogas internal loop anaerobic fluidized bed reactor. Biodegradation, 22(2), 347–357. <https://doi.org/10.1007/s10532-010-9405-5>
- Pant, D., & Adholeya, A. (2007). Biological approaches for treatment of distillery wastewater: A review. Bioresource Technology, 98(12), 2321–2334. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.027>
- Eusébio, A., Mateus, M., Baeta-Hall, L., Sàágua, M. C., Tenreiro, R., Almeida-Vara, E., & Duarte, J. C. (2007). Characterization of the microbial communities in jet-loop (JACTO) reactors during aerobic olive oil wastewater treatment. International Biodeterioration & Biodegradation, 59(3), 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.11.008>

7. Patil M. S. Laboratory scale study of activated sludge process in jet loop reactor for waste watertreatment / M. S. Patil, G. A. Usmani // Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com ISSN. — 2014. — Vol. 4, No. 5. — P. 2248–962268. Patil, M. S., & Usmani, G. A. (2014). Laboratory Scale Study of Activated Sludge Process in Jet Loop Reactor for Waste WaterTreatment. Journal of Engineering Research and Applications [Www.ijera.com](http://www.ijera.com) ISSN, 4(5), 2248–962268. Retrieved from [http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue3/Version 5/L43056874.pdf](http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue3/Version5/L43056874.pdf)
8. Кутикова Л. А. Фауна аэротенков / Л. А. Кутикова. — Санкт-Петербург : Наука, 1984. — 264 p. Kutikova L. Fauna of aerotanks (St. Petersburg: Nauka, 1984.) [In Russian]
9. КНД 211.1.4.021-95. Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах / Український науковий центр охорони вод Method of determination of chemical oxygen consumption (HSC) in surface and sewage waters [KND 211.1.4.021-95.,Ukrainian Scientific Center for Water Protection]. [In Ukrainian]