

### ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ПЕРІОДИЧНО ЗАНУРЕНОЇ СИСТЕМИ АЕРАЦІЇ

**Р. Г. Шиш, В. С. Бахарєв**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: v.s.baharev@yandex.ua

Виділені технологічні рішення щодо раціонального використання природних ресурсів та забезпечення якісно-стабільної очистки стічних вод. Розглянуто періодичні біофільтри очистки стічних вод та запропоновано спосіб та пристрій керування системою аерації даного типу споруд. Наведені результати впровадження періодично зануреної системи аерації та дано еколого-економічне обґрунтування застосування даних технологічних рішень. Наведено результати дослідно-впроваджувальних робіт з застосуванням системи періодично зануреної аерації на промисловому обладнанні діючих очисних споруд. Виконано порівняльний енергетичний, економічний аналіз технологічних рішень із застосуванням примусової аерації та системи періодично зануреної аерації, що використовує пристрій без споживання електроенергії.

**Ключові слова:** періодично занурений біофільтр, система аерації, еколого-економічні обґрунтування.

### ЕКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОБОСНОВАНИЯ ВНЕДРЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОГРУЖЕННОЙ СИСТЕМЫ АЭРАЦИИ

**Р. Г. Шиш, В. С. Бахарєв**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, гм. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: v.s.baharev@yandex.ua

Выделены технологические решения относительно рационального использования природных ресурсов и обеспечения качественно-стабильной очистки сточных вод. Рассмотрены периодические биофильтры очистки сточных вод и предложен способ и устройство управления системой аэрации данного типа сооружений. Приведены результаты внедренной периодически затопляемой системы аэрации и дано эколого-экономическое обоснование применения данных технологических решений. Приведены результаты опытно-внедряющих работ с применением системы периодически погружной аэрации на промышленном оборудовании действующих очистительных сооружений. Выполнен сравнительный энергетический, экономический анализ технологических решений с применением принудительной аэрации и системы периодически погружной аэрации, которая использует устройства без потребления электроэнергии.

**Ключевые слова:** периодически погружной биофильтр, система аэрации, эколого-экономическое обоснование.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** В сучасних умовах ринку вибір тієї чи іншої технології очистки стічних стоків дуже тісно пов'язаний із використанням енергоносіїв. Особливо гостро постає таке питання в житлово-комунальному секторі, а саме, коли йдеться про вирішення питання відводу та очистки побутово-стічних вод малих населених пунктів, баз відпочинку, окремих житлових комплексів тощо.

Сучасні вимоги до технологічних рішень та якості очищеної води змінюють уявлення про класичні підходи до застосування аеротенків чи біофільтрів. Очистка у зазначених спорудах суттєво матеріалоємна, зокрема, через потребу влаштування вторинних відстійників і надмірно енергоємна через необхідність здійснення інтенсивної аерації стічних вод [1]. Для зменшення використання природних ресурсів при проектуванні нових або модернізації існуючих очисних споруд переваги віддаються ступенево-фільтраційному рішенням, яке забезпечує ефективне та близьке до повного видалення твердої фази продуктів біореакції. Це забезпечує локалізацію ступеневих біоценозів навіть при рециркуляції очищеного стоку і створює їх належну та доцільну просторову суцесію без потреби влаштування вторинних, і у деяких випадках первинних відстійників. Відомо [2], що технологія біофільтрації є найбільш наближеною до природного способу очистки та економічно доцільною. У вивченні основних чинників інтенсифікації очищення стічних вод позитивний результат досяга-

ється із застосуванням полімерних (наприклад, полістирол) завантажень, що мають розвинену поверхню і високу пористість. Використання полістирольного завантаження в біофільтрах призводить до збільшення поверхні біоплівки, поліпшенню масообмінних процесів і в результаті – підвищення продуктивності споруд. Відповідно, застосування таких видів завантажень призводить до істотних модифікацій, змін технологічних параметрів конструкції споруд, а також до змін принципів аерації технології споруд. Поєднання всіх, вище вказаних, чинників породило новітню технологію періодично занурених біофільтрів, яка, містить в собі сучасні вдосконалення інтенсифікації очистки, також нерозривно пов'язує нестандартне уявлення принципів аерації, закладених у технологічну схему конструкції.

Дослідження новітніх технологій біофільтрації у розрізі використання енергоносіїв виявили нерозривний зв'язок між різними конструктивними елементами в технологічному ланцюгу та аерацією [3]. І як основний елемент технологічного процесу аерація є актуальною в своєму вивченні і інтенсифікації роботи споруд.

З урахуванням предмету дослідження, а саме вивчення системи аерації періодично занурених біофільтрів в очистки стічних вод метою роботи є еколого-економічне обґрунтування впровадження періодично зануреної системи аерації.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Енерговитрати на очистку стічної води визначаються виключно роботою зануреного відцентрового насоса, встановленого в насосній станції, що подає стічну воду (при потребі – разом із рециркуляційною її витратою) до приймальної камери очисних споруд.

Ця технологія не вимагає застосування вторинних відстійників, бо має у своєму складі фільтраційну стадію обробки стічної води та автоматизовану систему промивки завантаження, що усуває його замулення з виключенням можливості класичної аерації. Враховуючи нетрадиційний підхід у вирішенні аераційних процесів періодично занурених біофільтрів є випадки, коли при порівняно ідентичних показниках стічної води не вдавалося повністю забезпечити належну якість її очистки. При цьому за рядом ознак можна стверджувати, що негаразди викликані дефіцитом кисню в аеробному ступені очистки, аерацію якого влаштовано через розбризкування стічних вод над поверхнею фільтраційного завантаження та його періодичне занурення. Після проведення теоретичних та практичних досліджень [4, 5], для усунення негативних чинників і досягнення достатньої маси кисню автори запропонували регулювати випуск очищеної води, а також скоротити час запуску і зупинки сифонної системи подачі стічної води в періодично-занурених біофільтрах.

Принципова схема цього пристрою наведена на рис. 1.

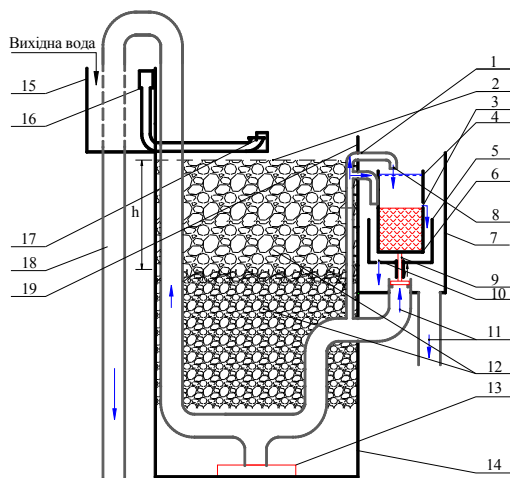


Рисунок 1 – Пристрій керування аерацією періодично зануреного біофільтру: 1 – патрубок для наповнення поплавкової камери; 2 – утримуюча решітка; 3 – отвір випуску води після проходження промивки; 4 – камера керування автоматичною промивкою завантаження; 5 – поплавкова камера; 6 – поплавок; 7 – резервуар з системою керування; 8 – отвір перепуску води; 9 – шток клапану; 10 – отвір випуску води; 11 – трубопровід очищеної води; 12 – фільтруюче завантаження; 13 – збірно-розподільна система; 14 – періодично занурений біофільтр; 15 – бак-дозатор; 16 – сифон; 17 – спринклерна система; 18 – сифон відводу промивної води; 19 – резервуар промивної води

Регульований випуск очищеної води припускає відкриття і закриття випуску в моменти наповнення рівня води в шарі завантаження, що забезпечує, за постійних умов подачі стічної води контрольований періодично затоплюваний верхній шар завантаження. Це рішення створить достатньо повне, стабільне циклічне наповнення рівня води в завантаженні, а у разі її замулювання запустить систему імпульсної промивки.

Пристрій для керування системою аерації працює таким чином: стічна вода, що очищається, надходить у бак-дозатор 15 та через сифон 16 періодично подається на спринклерну систему 17 та розбризкується на розподільчу утримуючу решітку 2. Стічна вода проходить через завантаження 12, що періодично занурюється, створюючи аеробні умови для процесів сорбції й деструкції забруднень, потім потрапляє в занурену частину споруди 14, де відбувається наступне фільтраційне видалення кінцевих продуктів розпаду органічної частини стічних вод та надлишкової біоплівки. Біологічно очищена стічна вода відводиться через збірно-розподільчу систему 13 за допомогою трубопроводу 11, який приєднаний до резервуару 7, в якому розташована камера регулювання періодичного випуску очищеної води 5, яка виконує одночасно функції управління періодичним зануренням верхнього прошарку завантаження та вмикання автоматичної системи регенерації завантаження. В період, коли клапан 6 закритий, в споруді 14 вода набирається і через патрубок 8 перетікає в камеру 5, що змушує піднятися поплавок 6 зі штоком 9, і розпочати випуск води зі споруди 14. Одночасно з випуском очищеної води, через отвір 10 витікає з камери 5 вода, і клапан 6 закриває вихід із трубопроводу 11. Розмір отвору 10 виконується таким чином, щоб час спорожнення води із камери 5 співпадав з часом зниження рівня води у верхньому шарі фільтраційного завантаження.

Для досягнення якісної роботи аеробної зони та своєчасної імпульсної промивки завантаження камери 5, яка виконує одночасно функції управління періодичним зануренням верхнього прошарку завантаження, запускає автоматичну систему регенерації завантаження. Це відбувається завдяки патрубку 1, за допомогою якого наповнюється камера 4 у момент збільшення опору фільтраційного шару. Під час наповнення водою камери 4 відбувається збільшення ваги поплавку 6, який притискає штоком 9 отвір випуску очищеної води 11, тим самим регулюючи заповнення верхнього резервуару 19 та запуск сифонної лінії 18, за допомогою якої відбувається імпульсна короткотривала промивка завантаження.

Використання даного способу та пристрою керування системою аерації періодично занурених біофільтрів дасть можливість спростити технологічні вузли очисних споруд і зменшити споживання енергоносіїв через впровадження системи аерації без використання електричного живлення, а також спростити схему автоматизованої промивки завантаження для забезпечення якісно повної аерації верхніх шарів завантаження.

Для дослідно-промислової апробації запропонованих технологічних рішень нами було обрані очисні споруди смт. залізний Порт Херсонської області. Було визнано актом відбору проб скиду очищених вод очисних споруд смт. залізний Порт комунально-побутовим підприємством «Світанок», що очистка стічних вод смт. залізний Порт комунально-побутовим підприємством «Світанок» станом на 18.03.2010 р. за показниками БСК, ХСК не відповідає нормативним, що не є задовільним.

У результаті розрахунків головних конструктивних елементів системи керування аерацією та промивки завантаження було виготовлено та встановлено промисловий пристрій на технологічному об-

ладнанні очисних споруд. Після виготовлення обладнання та його монтажу на технологічному обладнанні періодично занурених біофільтрів була виконана робота по його налагоджуванню та виходу на стабільну роботу з даним типом обладнання. Після регенерації завантаження та на протязі декількох фільтроциклів були виконані аналізи з досліду якості очистки стічних вод за параметрами, що характеризують якісний процес аерації. Результати аналізів з відхиленнями від гранично допустимих норм зазначені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати очистки стічних вод в період випробування системи керування аерацією

Дата	БСК, мг/дм <sup>3</sup>	ГДС, мг/дм <sup>3</sup>	Відхи- лення	ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	ГДС, мг/дм <sup>3</sup>	Відхи- лення	ЗР, мг/дм <sup>3</sup>	ГДС, мг/дм <sup>3</sup>	Відхи- лення
15.06.12	1,36	3	+1,64	8,32	15	+6,68	0,96	22	+21,04
28.06.12	2,03		+0,97	9,62		+5,38	1,23		+20,77
12.07.12	1,12		+1,88	7,15		+7,85	0,89		+21,77
26.07.12	1,62		+1,38	10,30		+4,70	1,54		+20,46
14.08.12	1,56		+1,44	10,12		+4,88	0,18		+21,82
23.08.12	1,85		+1,15	9,25		+5,75	1,68		+20,32

Таким чином, позитивні результати роботи та досягнення стабільної якісної очистки стічних вод підтверджені актом упровадження системи та пристрою керування періодично-зануреної аерації на діючій споруді біологічного очищення стічних вод смт. залізний Порт.

Упроваджені заходи з модернізації очисних споруд дають можливість не тільки забезпечити стабільну, якісну очистку стічних вод, зазначеного міста, а і дають змогу відмовитись від використання пристроїв для забезпечення примусової аерації.

Як приклад, розглянемо зменшення негативного впливу діяльності очисних споруд міста з кількістю мешканців у 10 тисяч жителів і нормою водовідведення згідно із санітарними нормами [6] у 200 л/добу на одну людину, які працюють при використанні примусової аерації при реалізації управлінських рішень з їх модернізації. Враховуючи норму водовідведення, потужність очисних споруд буде дорівнювати 2000 м<sup>3</sup> на добу. Для обробки такої кількості стічних вод за класичними технологіями, а саме – використання високонавантажуваних біофільтрів із застосуванням примусової аерації та забезпечення перекачування надлишкового мулу для обслуговування вторинних відстійників, споживання енергоносіїв дорівнює близько 0,75 кВт-годин.

З урахуванням упровадження технології очистки стічних вод без застосування примусової аерації планується зменшити прямі витрати енергоспоживання при експлуатації очисних споруд такого міста на 70 % і відмовитись від експлуатації вторинних відстійників, зменшити загальний об'єм споруд та компактність розміщення, скорочення комунікацій, зменшення маси та об'єму надлишкової біоплівки.

Це призведе до зниження її споживання до 0,23 кВт-годин.

Розглянемо порівняльні характеристики енергетичних ризиків на прямі та непрямі збитки від виробництва очисних споруд за класичною схемою технологічних рішень і за технологією періодично занурених біофільтрів із використанням системи аерації без додаткових пристроїв, що споживають електроенергію.

Вартість енергії, яка споживається обладнанням,  $C_o$  [7], у загальному випадку знаходиться з виразу:

$$C_o = \sum_{i=1}^m C_{iei} \cdot P_{ni} \cdot \Phi_d, \quad (1)$$

де  $C_{iei}$  – вартість одиниці енергії  $i$ -того виду, грн./од.;  $P_{ni}$  – кількість енергії  $i$ -того виду, що споживається, кВт;  $\Phi_d$  – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, годин/рік;  $m$  – кількість видів енергії, що споживається.

Поточні витрати на споживання електроенергії можна визначити за рівнянням (1). Враховуючи 70 % споживання електроенергії, яка йде на аерацію в класичній технології та ціну за 1 кВт-год 2013 року, можливо провести аналогію з порівняння експлуатаційних витрат технології періодично занурених біофільтрів.

Розв'язав рівняння (1) отримаємо економічні витрати за класичною технологією 3285 грн. на рік та 1007 грн. на рік за технологією без використання примусової аерації.

На сьогоднішній день технології з використанням періодично занурених біофільтрів впроваджуються майже в усіх регіонах України, а це приблизно п'ять – сім очисних споруд з різними потужнос-

тями на область. Застосування системи періодично зануреної аерації за даним типом обладнання, крім стабільної якісної очистки, дасть щорічну економію в рамках держави орієнтовно 400000 грн.

**ВИСНОВКИ.** Впровадження новітніх розробок біофільтрації на періодично занурених біофільтрах із використанням системи аерації за відсутності ланкою пристроїв споживання електроенергії на об'єкті призведе до істотного зменшення використання енергоносіїв, а також призведе до стабільної роботи очисних споруд за показниками якісної очистки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Яковлев С.В. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. – М.: Стройиздат, 1975. – 650 с.
2. Хенце М, Армоэс П., Ля-кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод Биологические и химические процессы. – М.: Мир, 2006. – 480 с.

3. Сокращение удельных затрат электроэнергии на водоотведение / А.В. Битиев, С.А. Стрельцов, М.Г. Хамидов // Научные публикации МГУП Мосводоканал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mosvodokanal.ru/index.php?newsid=6302>.

4. Системний аналіз аерації технології «БІОСОФ» / В.В. Артамонов, Р.Г. Шиш // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – К. : КНУБА, 2006. – Вип. 6. – С. 62–67.

5. Система та обладнання аерації технології БІОСОФ очистки стічних вод / В.В. Артамонов, Р.Г. Шиш // Екологічна безпека. – 2011. – Вип. № 2/2011 (12). – С. 54–58.

6. СНиП 2.04.03–85 Канализация, внешние сети и сооружения.

7. Яковлев А.І. Методика визначення ефективності інвестицій, інновацій, господарських рішень в сучасних умовах. – Харків: Видавництво Бізнес-Інформ, 2001. – 56 с.

### ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE IMPLEMENTATION OF THE PERIODICALLY SHIPPED SYSTEM AERATION

**R. Shish, V. Bacharev**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: v.s.baharev@yandex.ua

The authors have highlighted the technological decisions targeted to the rational use of natural resources and providing high-quality-stable sewage treatment. The periodic biofilters of wastewater treatment are considered and a control technique and a control unit for the aeration system of this type of buildings are offered. The introduction results of the periodically flooded aeration system of this type of buildings are offered and the ecological and economic ground of use of the selected technological decisions are given. The results of experimental implementation of the periodically flooded aeration system at the industrial equipment of operating treatment facilities are presented. Also, the results of comparative analysis of energetic and economic aspects of the existing technological solutions for the use of forced aeration system and periodically submerged aeration system having the devices of zero power consumption within.

**Key words:** periodically submerged biofilter, aeration system, ecologic-economic assessment.

#### REFERENCES

1. Yakovlev S.V. (1975), *Kanalizatsiya naseleennykh mest i promyshlennykh predpriyatii* [The water drain of places and industrial enterprises], Stroizdat, Moscow, Russia.
2. Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J., Arvin, E. (2006), *Ochistka stochnykh vod. Biologicheskie i khimicheskie processy* [Fundamentals Wastewater treatment. Biological and Chemical Processes], Trans. by Kalugny, S.V., Mir, Moscow, Russia.
3. Bitiev, A.V., Reduction of specific electric power consumption for water drainage, Scientific papers of MSUEE Moz-Vodokanal, available at: <http://www.mosvodokanal.ru/index.php?newsid=6302>.
4. Artamonov, V.V. Shish, R.G. (2006), "The system analysis of aeration technology "BIOSOF"", *Problems*

*of water supply, water removal and hydraulics*, KNUBA, iss. 6, pp. 62–67, Kyiv, Ukraine.

5. Artamonov, V.V. Shish, R.G. (2011), «The system and equipment of aeration technology «BIOSOF» of clearing water», *Ecological safety*, no. 2(12), KrNU, pp. 54–58, Kremenchuk, Ukraine.

6. Construction standards and requirements 2.04.03–85 Sewage system, external networks and buildings.

7. Yakovlev A.I. (2001), *Metodika vyznachenia efektyvnosti investitsiy, inovatsiy, gospodarskych richen v suchasnykh umovach* [Methodology of determination of the efficiency of investment, innovation, and economic decisions in the su-modern conditions], Biznes-Inform, Kharkiv, Ukraine.

Стаття надійшла 25.06.2013.