

УДК 628.3

САБЛІЙ Л. А.<sup>1</sup>, КОРЕНЧУК М. С.<sup>1</sup>, КОНОНЦЕВ С. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства та природокористування

### АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНИХ АЕРАТОРІВ ПРИ ОЧИЩЕННІ ВОДИ У СИСТЕМАХ З ОБОРОТНИМ ВОДОПОСТАЧАННЯМ

**Метою** досліджень є обґрунтування доцільності застосування аераторів роторного типу в спорудах біологічного очищення води систем з рециркуляцією.

**Методика.** Основні переваги та недоліки альтернативних систем аерації у рециркуляційних системах рибництва визначено на основі технічних характеристик приладів та за результатами спостережень. Визначення продуктивності аератора роторного типу за розчиненим киснем проведено в умовах лабораторного експерименту з використанням дослідної аераційно-окиснювальної установки роторного типу.

**Результати.** У роботі обґрунтовано ефективність використання роторних аераторів для забезпечення належного кисневого режиму у спорудах очищення оборотної води. Запропоновано схему підключення аератора у блоці біологічного очищення води та визначено раціональні параметри роботи при коефіцієнті рециркуляції у господарстві в межах 90-97%.

**Наукова новизна.** Доведено ефективність використання системи аерації роторного типу для насичення киснем оборотної води.

**Практична значимість.** Використання роторного аератора дозволить знизити енерговитрати на аерацію, забезпечить зменшення тепловтрат у рециркуляційних системах порівняно з системами пневматичної аерації.

**Ключові слова:** системи аерації води, роторний аератор, очищення оборотної води.

**Вступ.** Сучасна індустріальна аквакультура характеризується широким застосуванням обладнання та технічних засобів для підтримки параметрів середовища у заданому діапазоні. Вирощування рибницької продукції в установках замкнутого водопостачання (УЗВ) характеризується найвищими темпами отримання товарної продукції та рівнем продуктивності басейнів. Процеси аерації води є невід'ємною складовою технології інтенсивного вирощування риб в системах з оборотним водопостачанням, завдяки яким забезпечується ефективне використання вирощувальних ємностей та окиснення органічних забруднень у спорудах біологічного очищення [1, 2]. Доцільність використання аеробних методів біологічного очищення при відновленні якості оборотної води обумовлює потребу у насиченні води киснем в межах таких біореакторів. Також системи аерації застосовують в процесах підготовки підживлювальної води з підземного джерела водопостачання. Серед пріоритетних завдань індустріальної аквакультури є зменшення залежності від природних кормових ресурсів та зниження питомих витрат енергії на вирощену продукцію [3-6]. При вирощуванні продукції аквакультури в УЗВ аерація також відіграє важливе значення у стабілізації рН води, адже при застосуванні технології нітри-денітрифікації в процесах видалення сполук Нітрогену відбувається інтенсивне підкислення води на виході з нітрифікаторів [7, 8]. В умовах інтенсивної аерації спостерігається інтенсифікація основних процесів очищення оборотної води [9]. Таким чином, актуальною є проблема забезпечення сучасних господарств з оборотним водопостачанням надійною та енергоефективною системою аерації.

**Постановка завдання.** Витрати, пов'язані з підтримкою належного кисневого

режиму у спорудах біологічного очищення оборотної води, відображаються на собівартості вирощеної продукції. Поширені схеми аерації сучасних рециркуляційних систем характеризуються певними проблемними аспектами, які призводять до зростання питомих витрат на підтримання заданих концентрацій кисню у воді. Тому завданням даної роботи є обґрунтування ефективності використання аераторів роторного типу в системах очищення оборотної води.

**Методологія досліджень.** Ефективність роботи будь-якої аераційної установки в системі з оборотним водопостачанням можна оцінити за питомими витратами електроенергії, віднесеними до одиниці розчиненого у воді кисню. Окрім того, існує ряд додаткових чинників, що визначатимуть принципову можливість застосування аератора в певних умовах. В даному аспекті важливого значення набуває рівень негативного впливу системи аерації на стан об'єктів вирощування або на біоту очисної установки. Ефективність використання аераторів різних конструкцій оцінено за комплексом вказаних факторів на основі балансу розчиненого кисню у воді рециркуляційної системи.

**Результати дослідження.** Питома потреба у кисні в межах басейну визначатиметься рядом чинників, серед яких найвагомішими є наступні: об'єкт вирощування; щільність посадки риб у басейні; вміст кисню у воді, що подається; гідравлічний режим у басейні. В межах споруд біологічного очищення необхідна кількість кисню пропорційна кількості амонійного нітрогену та органічних речовин, що надходять у воду як продукти метаболізму риб (відповідно до класичної технології очищення оборотної води УЗВ). Для рибницьких комплексів з інтенсивним водообміном, зокрема систем з оборотним водопостачанням (СОВ), де підтримка кисневого балансу забезпечується завдяки притоку у басейни попередньо аерованої води, потреба у встановленні додаткових систем аерації в самих басейнах відпадає.

Таким чином, аерація води в межах замкнутого контуру УЗВ може одночасно (або частково) відбуватись у трьох точках: змішувальній ємності, куди подається підживлювальна вода; у рибницьких басейнах; у аеробних біореакторах.

Найбільшою простотою технічного оснащення та найвищою продуктивністю характеризуються системи аерації з використанням технічного кисню, які включають балонне обладнання з відповідною арматурою та трубопроводами, а також пристрої для введення кисню у воду. Водночас, такі системи характеризуються найвищими експлуатаційними витратами, що пов'язано з високою вартістю технічного кисню, необхідністю його транспортування та утримання складського запасу. Окрім того, газобалонне приміщення має бути передбачено у проектній документації господарства, що також відобразиться на капітальних витратах. Одним з найбільш вагомих чинників, що обґрунтовуватиме доцільність використання для аерації технічного кисню, є застосування для знезараження води озону, який раціонально отримувати з технічного кисню безпосередньо на господарстві.

Більш поширені системи пневматичної аерації, що забезпечуються шляхом подачі повітря під рівень води та розпиленням через дрібнопористі матеріали, потребують влаштування компресорної станції. У такому разі повітропроводи від компресора можуть бути проведені до басейнів, споруд біологічного очищення, змішувальних ємностей. Сучасні компресори характеризуються порівняно високими ККД, додатковою перевагою такої схеми

може бути забезпечення автоматизованої подачі корму у басейни по повітропроводах. Компресорні станції здатні також забезпечити роботу ерліфтних систем для перекачування води. Тому системи пневматичної аерації з використанням компресорів достатньо поширені у сучасних УЗВ. Водночас, системи розпилення повітря не завжди працюють ефективно, - крупнобульбашкова аерація суттєво знижує ККД системи, а дрібнопористі розпилювачі характеризуються здатністю до закупорки. Суттєві проблеми створюють й самі повітропроводи, що прокладаються по дну басейна, оскільки вони ускладнюють догляд за ними, вилов риб.

Системи аерації на основі струменевих змішувачів знайшли застосування в УЗВ з порівняно низькою частотою водообміну, де водночас з насиченням води киснем, актуальним виявляється й завдання щодо забезпечення у басейні активного руху води. Такі системи характеризуються вищим ККД у порівнянні з барботажними методами, що пов'язано з більш ефективною диспергацією повітря, зростанням часу контакту пухирців з водою. Окрім того, відпадає потреба в окремому приміщенні, яке є обов'язковим для компресорів чи систем насичення технічним киснем. Проте, гідродинамічні умови у камері струменевих аераторів суттєво обмежують можливість їх використання у аеробних біореакторах.

В межах запропонованої нами технології багатостадійного очищення оборотної води УЗВ системи аерації на основі ежекції повітря можуть бути ефективно використані для забезпечення кисневого режиму аеробних біореакторів (Рисунок). Така можливість пов'язана з використанням прикріплених очисних агентів у біореакторі другого ступеня та доцільністю попередньої аерації підживлювальної води з підземного джерела водопостачання. Відповідно, підживлювальний потік води після попереднього очищення подається в роторний аератор, після чого насичена киснем вода надходить у біореактор II ступеня.

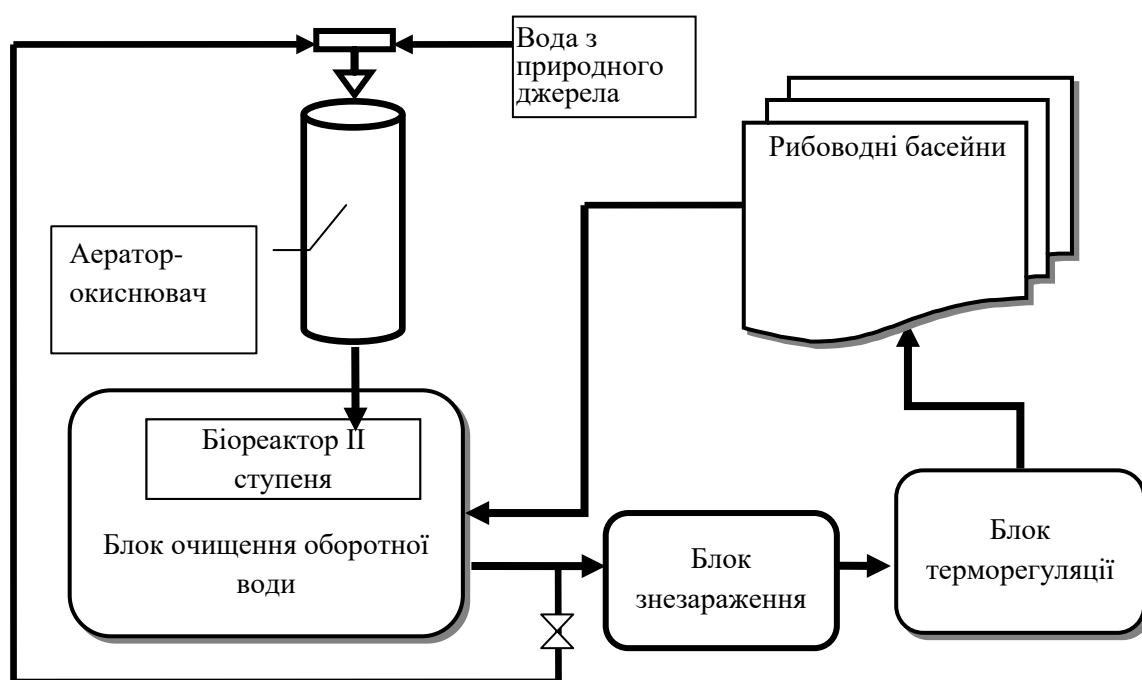


Рис. Схема водозабезпечення господарства з системою аерації роторного типу

Результати попередніх досліджень підтвердили високу енергоефективність використання низьконапірного аератора роторного типу в умовах очисних споруд з активним мулом [11], а відсутність потреби у рециркуляції мулової суміші для розробленої біотехнології виключила проблемні аспекти щодо загибелі значної частини мікробіоти у камері роторно-пульсаційного вузла. За швидкості масопереносу кисню в межах 4,3-6 г/(дм<sup>3</sup>·год), характерної для роторно-пульсаційного аератора, в умовах тепловодних УЗВ забезпечується насичення киснем суміші підживлювальної та очищеної оборотної води до значень 9-13 мг/дм<sup>3</sup>. При коефіцієнті рециркуляції на рівні 90-92% такої кількості кисню вистачатиме для забезпечення процесів очищення у біореакторі. У разі підвищення коефіцієнту рециркуляції до 95-97% приплив кисню у біореактор збільшується шляхом змішування підживлювального потоку з частиною очищеної оборотної води у пропорційній дефіциту кисню кількості.

**Висновки.** Доцільність використання аераторів роторного типу для підтримки кисневого режиму в системах з оборотним водопостачанням обґрунтована їх енергоефективністю та компактністю. Ефективність включення таких аераторів у комплекс споруд біологічного очищення пов'язана із використанням УЗВ підживлювальної води з природного джерела водопостачання. В ході експериментальних досліджень підтверджено можливість підтримки концентрації кисню у підживлювальній воді в межах 9-13 мг/дм<sup>3</sup>, що забезпечує належний кисневий режим у біореакторі з прикріпленою мікробіотою, куди вода подається разом із забрудненою оборотною водою.

### Література

1. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения (пер. с англ.) Якоб Брайнбалле / Eurofish – international organization: Копенгаген. – 2010. – 70 с.
2. Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T., Vinci, B. J. Recirculating Aquaculture Systems. NRAC Publication no. 01-002, Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY. – 2001. – 650 pp.
3. Turcios Ariel E., Papenbrock J. / Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents – What Can We Learn from the Past for the Future? // Sustainability. – 2014. – Vol. 6. – p. 836-856.
4. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability / C.I.M. Martins et al. // Aquacultural Engineering. - 2010. – Volume 43. – Issue 3. – p. 83-93.
5. Crab R., Avnimelech Y., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W. / Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production // Aquaculture. – 2007. – 270. – p. 1-14.
6. Dunning R. D., Losordo T. M. and Hobbs A. O. The Economics of Recirculating Tank

### References

1. Rukovodstvo po akvakulture v ustanovkakh zamknutoho vodosnabzheniya (per. s anhl.) Yakob Brainballe / Eurofish – international organization: Kopenhahen. – 2010. – 70 s.
2. Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S.T, Vinci, B.J. Recirculating Aquaculture Systems. NRAC Publication no. 01-002, Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY. – 2001. – 650 pp.
3. Turcios Ariel E., Papenbrock J. / Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents – What Can We Learn from the Past for the Future? // Sustainability. – 2014. – Vol. 6. – p. 836-856.
4. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability / C.I.M. Martins et al. // Aquacultural Engineering. - 2010. – Volume 43. – Issue 3. – p. 83-93.
5. Crab R., Avnimelech Y., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W. / Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production // Aquaculture. – 2007. – 270. – p. 1-14.
6. Dunning R. D., Losordo T. M. and Hobbs A. O. The Economics of Recirculating Tank

Systems: A Spreadsheet for Individual Analysis. – SRAC Publication. – No. 456. – 1998 . – 8 pp.

7. Lee P. G., Lea R. N., Dohmann E. et al. Denitrification in aquaculture systems: an example of fuzzy logic control problem // Aquacultural Engineering. – 23. – 2000. – p. 37-59.

8. Rijn J. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications / Jaap van Rijn, Yossi Tal, Harold J. Schreier // Aquacultural Engineering. – 2006. – 34. – p. 364-376.

9. Cripps S. J., Bergheim A. Multi-Stage Waste Reduction Technology for Land-Based Aquaculture. In Technical Solutions in the Management of Environmental Effects of Aquaculture, Proceedings of The Scandinavian Association of Agricultural Scientists, Seminar No. 258; Helsinki, Finland, 13–15 September 1995. – p. 50–61.

10. Саблій Л. А. Використання аераційної системи ежекторного типу для біологічного очищення стічних вод / Л. А. Саблій, О. М. Ободович, В. В. Сидоренко, С. В. Кононцев, М.С. Коренчук // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – № 4 (31). – 2017. – с. 18-23.

11. Саблій Л. А., Кононцев С. В., Коренчук М. С. Підвищення ефективності аерування мулової суміші в аеротенках шляхом використання низьконапірного аератора / Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук. - техн. зб. – К.: КНУБА, 2017. – Вип. №28. – С. 290-295.

Systems: A Spreadsheet for Individual Analysis. – SRAC Publication. – No. 456. – 1998 . – 8 pp.

7. Lee P. G., Lea R. N., Dohmann E. et al. Denitrification in aquaculture systems: an example of fuzzy logic control problem // Aquacultural Engineering. – 23. – 2000. – p. 37-59.

8. Rijn J. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications / Jaap van Rijn, Yossi Tal, Harold J. Schreier // Aquacultural Engineering. – 2006. – 34. – p. 364-376.

9. Cripps S. J., Bergheim A. Multi-Stage Waste Reduction Technology for Land-Based Aquaculture. In Technical Solutions in the Management of Environmental Effects of Aquaculture, Proceedings of The Scandinavian Association of Agricultural Scientists, Seminar No. 258; Helsinki, Finland, 13–15 September 1995. – p. 50–61.

10. Sablii L. A. Vykorystannia aeratsiinoi systemy ezhektornoho typu dlia biolohichnoho ochyshchennia stichnykh vod / L. A. Sablii, O. M. Obodovych, V. V. Sydorenko, S. V. Konontsev, M. S. Korenchuk // Voda i vodoochysni tekhnolohii. Naukovo-tekhnichni visti. – № 4 (31). – 2017. – s. 18-23.

11. Sablii L. A., Konontsev S. V., Korenchuk M. S. Pidvyshchennia efektyvnosti aeruvannia mulovoi sumishi v aerotenkakh shliakhom vykorystannia nyzkonapirnoho aeratora / Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky: nauk. - tekhn. zb. – K.: KNUBA, 2017. – V. №28. – S. 290-295.

**SABLIY LARISA**

[larisasabliy@ukr.net](mailto:larisasabliy@ukr.net)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4217-3535>

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. Department of Environmental Biotechnology and Bioenergy, Kyiv

**KONOTSEV SERGIY**

[akula13@ukr.net](mailto:akula13@ukr.net)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6116-5675>

National University of Water Management and Nature Resources Use, s. Rivne

**KORENCHUK MYKOLA**

[nikoleagle0@gmail.com](mailto:nikoleagle0@gmail.com)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6068-9100>

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. Department of Environmental Biotechnology and Bioenergy, Kyiv

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОТОРНЫХ АЭРАТОРОВ  
ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ В СИСТЕМАХ С ОБОРОТНЫМ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ  
САБЛІЙ Л.А.<sup>1</sup>, КОНОНЦЕВ С.В.<sup>2</sup>, КОРЕНЧУК М.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

<sup>2</sup>Национальный университет водного хозяйства и природопользования

**Целью** исследований является обоснование целесообразности применения аэраторов роторного типа в сооружениях биологической очистки систем с рециркуляцией.

**Методика.** Основные преимущества и недостатки альтернативных систем аэрации в индустриальном рыбоводстве определены на основе технических характеристик приборов и по результатам наблюдений. Определение производительности аэратора роторного типа с растворенным кислородом проведено в условиях лабораторного эксперимента с использованием исследовательской аэрационно-окислительной установки роторного типа.

**Результаты.** В работе обоснована эффективность использования роторных аэраторов для обеспечения надлежащего кислородного режима УЗВ и в сооружениях очистки оборотной воды. предложена схема подключения аэратора в блоке биологической очистки воды и определены рациональные параметры работы при коэффициенте рециркуляции в хозяйстве в пределах 90-97%.

**Научная новизна.** Доказана эффективность использования систем аэрации роторного типа для насыщения кислородом оборотной воды УЗВ, подаваемого в биореактор с прикрепленным биоценозом.

**Практическая значимость.** Использование роторного аэратора позволит снизить энергозатраты на аэрацию, обеспечит уменьшение теплотерь по сравнению с системами пневматической аэрации.

**Ключевые слова:** системы аэрации, роторный аэратор, очистка оборотной воды.

**EFFICIENCY ANALYSIS OF THE ROTARY-TYPE AERATORS USAGE  
FOR WATER TREATMENT IN RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS  
SABLIY L.<sup>1</sup>, KONONTCEV S.<sup>2</sup>, KORENCHUK M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

<sup>2</sup>National University of Water and Environmental Engineering

**Purpose** of the research is to substantiate the feasibility of rotary type aerators usage at biological water treatment plants with recirculation.

**Methodology.** The main advantages and disadvantages of alternative aeration systems in recirculating aquaculture systems are determined on the basis of the devices technical characteristics and observations results. Determination of the rotor type aerator performance on dissolved oxygen was carried out under conditions of a laboratory experiment using rotary-type aeration.

**Findings.** The paper substantiates the efficiency of rotary aerators for ensuring the proper oxygen regime for water treatment. The scheme of aerator connection the block of biological water treatment facilities was proposed and the rational operational parameters at the coefficient of recirculation at the farm were determined within the limits of 90-97%.

**Originality.** The efficiency of rotor-type aeration systems for oxygen saturation of reversible water has been proved.

**Practical value.** The usage of a rotary aerator will reduce the energy consumption and the heat loss compared to pneumatic aeration systems.

**Keywords:** water aeration systems, rotary-type aeration, recycled water treatment.