

зони легкого бетону. Тезиси докл. III Все-союзной конференции по легким бетонам. М.: Стройиздат, 1985.- С. 89.

Гасанов А.Б., Шевчук Л.В. НАПРАВЛЕНЕ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ В ЗОНІ КОНТАКТУ ШЛЯХОМ ЗБІЛЬШЕННЯ ПЛОЩІ КОНТАКТУ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ З ПОВЕРХНЕЮ ЗАПОВНЮВАЧА. Аналіз напруженого стану трубофільтри під дією зовнішніх навантажень дозволив встановити характер і величину небезпечних напруг в керамзитобетону і зробити висновок про необхідність перегляду сформованого раніше підходу до вибору складу керамзитобетону в зв'язку з тим, що традиційний метод - підбір по міцності на стиск - не відповідає дійсній роботі трубофільтри як конструкції, під дією експлуатаційних навантажень. З метою поліпшення експлуатаційних характеристик керамзитобетонних виробів запропонований метод оптимізації відкритої пористості заповнювача шляхом часткового заповнення пір цементної пастою на стадії ущільнення бетону.

Ключові слова: трубофільтри, керамзитобетон, контактна зона, пористість, кольматація.

Gasanov A.B., Shevchuk L.V. DIRECTIONAL STRUCTURE FORMATION IN THE CONTACT ZONE BY INCREASING THE AREA OF CONTACT OF THE CEMENT STONE WITH THE AGGREGATE SURFACE. The analysis of the stressed state of the pipe filter under the influence of external loads made it possible to establish the nature and magnitude of dangerous stresses in claydite concrete and to conclude that it is necessary to revise the previous approach to the selection of claydite concrete because the traditional method - selection for compressive strength - does not correspond to the actual operation of the pipe filter as a construction, under the influence of operational loads. In order to improve the performance characteristics of claydite-concrete products, a method for optimizing the open porosity of the aggregate by partially filling the pores with cement paste at the stage of compacting concrete is proposed.

Key words: pipe filter, expanded clay concrete, contact zone, porosity, colmatation.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-91-1-331-335

УДК 628.35

Кононцев С. В.², Саблій Л.А.¹, Козар М.Ю.¹, Гроховська Ю.Р.²

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна; e-mail: larisasabliy@ukr.net)

² Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Костомарова, 20, Рівне, 33018, Україна; e-mail: grochovska11@gmail.com)

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИДАЛЕННЯ СПОЛУК НІТРОГЕНУ РОСЛИНАМИ В ІНТЕГРОВАНІЙ МУЛЬТИТРОФІЧНІЙ АКВАКУЛЬТУРИ

У роботі обґрунтовано доцільність вирощування в умовах інтегрованої мультитрофічної аквакультури представників водних рослин з метою очищення оборотної води УЗВ від сполук Нітрогену. Визначено переваги та недоліки альтернативних методів видалення розчинених метаболітів риб.

Ключові слова: біологічне очищення води, УЗВ, інтегрована мультитрофічна аквакультура.

Вступ. Вирощування рибницької продукції в установках із замкнутим водопо-стачанням (УЗВ) забезпечує найвищі виробничі показники за темпами росту риб та виходу продукції з одиниці площі басейнів. Оскільки повторне використання води у рибницькій системі допустиме лише після її очищення, ефективність процесів відновлення якості оборотної води виступає одним з критичних чинників, що впливають на конкурентоспроможність продукції індустріальної аквакультури.

Аналіз попередніх досліджень. Реалізація традиційної технології нітри-денітрифікації при очищенні оборотної води УЗВ супроводжується рядом характерних проблем, причини та наслідки яких детально описані у роботах [1-3]. Попри те, що включення до схеми очищення оборотної води споруд з денітрифікації забезпечило можливість підвищити частку повторно використаної води до 90-95% [4], потреба у реагентах (метанолі) створює додаткові ризики для риб та зумовлює зростання витрат

на очищення води [5]. Використання в якості джерела Карбону надлишкової біоплівки нітрифікаторів суттєво знижує інтенсивність денітрифікації та спричинює додаткове забруднення води органічними сполуками – продуктами розкладу біоплівки [6]. Попри доцільність реалізації ANAMMOX - процесу при очищенні господарсько-побутових та промислових стічних вод [7,8], через порівняно низькі концентрації в оборотній воді амоній-йону даний метод лише частково може бути реалізований в умовах морських УЗВ [9]. Суттєвими обмеженнями успішної реалізації анаеробного окиснення амонію виступають також чутливість анаммокс - бактерій до органічних кислот та повільні темпи росту. Відповідно, витрати на процеси очищення оборотної води та утилізацію утворених відходів відображаються на собівартості вирощеної продукції, що може привести до зниження її конкурентоздатності.

Як зазначено [10], подальший стійкий розвиток світової аквакультури можливий лише за умови забезпечення недорогого джерела білків та підвищення рівня доступності поживних компонентів у кормі. Сучасні прогресивні підходи до виробництва продукції рибництва на основі концепції ІМТА (Integrated multitrophic aquaculture systems) мають на меті знизити рівень негативного впливу на навколишнє середовище та одночасно підвищити ефективність використання кормових ресурсів [11]. Оскільки одним з раціональних методів видалення з оборотної води найбільш токсичних для риб сполук Нітрогену – амоній-йону є асиміляція рослинами, серед перших модифікацій ІМТА виникли системи аквапоніки, які забезпечували вирощування рослинної продукції в схожих до систем гідропоніки умовах. Основними ж відмінностями систем аквапоніки від гідропоніки є їх інтеграція з водним контуром для вирощування рибницької продукції [12]. Досвід вирощування найбільш популярних для УЗВ об'єктів – тилляпій та кларієвого сома в умовах інтегрованих комплексів підтверджує можливість зниження вмісту сполук Нітрогену до допустимих показників за рахунок аси-

міляції рослинами [13-15]. Водночас, основними обмежуючими аспектами функціонування аквапоніки в межах замкнутого контуру водопостачання є відмінності у потребі сільськогосподарських культур у поживних елементах та вимогах риб щодо фізико-хімічних показників води. Для забезпечення ефективного культивування обох груп в межах замкнутого водного контуру необхідно попередити надходження шкідливих для риб сполук з аквапоніки у басейни.

Метою даної роботи є обґрунтування доцільності використання вищих водних рослин у процесах видалення з оборотної води УЗВ сполук Нітрогену, а також аналіз переваг і недоліків даного методу з точки зору концепції ІМТА.

Результати дослідження. Очевидними перевагами видалення сполук Нітрогену з оборотної води у системі аквапоніки порівняно з традиційною технологією нітри-денітрифікації, є трансформація вказаних забруднень у додаткову продукцію без утворення надмірної кількості твердих відходів. Вирощування рослинницької продукції при очищенні забрудненої води УЗВ дає можливість суттєво знизити витрати на відновлення її якості, але одночасно потребує забезпечення сприятливих умов для культивування сільськогосподарських рослин у аквапоніці. При запровадженні ефективної схеми видалення сполук Нітрогену з води проблемні питання щодо його лімітуючих концентрацій в оборотній воді будуть зняті. Водночас, необхідною умовою для забезпечення цього процесу є внесення у воду необхідних для збалансованого живлення рослин мікро- та макроелементів. З метою зниження ризику надходження токсичних для риб сполук у оборотну воду з системи аквапоніки нами запропоновано створити відокремлений контур, у який можна вводити необхідні для рослин добрива. Нестабільна потреба у основних поживних елементах, пов'язана періодичністю росту та плодоношення однорічних рослин, негативно відображується на очисній потужності системи аквапоніки за сполуками Нітрогену. Дані проблемні аспекти неможливо вирішити за рахунок технічних заходів,

тому вони мають бути враховані у процесі проектування інтегрованих комплексів. Оскільки внаслідок періодичного зниження очисної потужності системи аквапоніки необхідним є збільшення частки підживлювальної води, таке господарство буде характеризуватись пропорційним зростанням витрат на водопідготовку. Одним з раціональних варіантів зниження коливання очисної потужності фітокомплексу є організація одночасного вирощування культур на різних стадіях розвитку у окремо розташованих спорудах, що особливо доцільно запроваджувати на господарствах з значними обсягами виробництва.

Склад забруднень оборотної води УЗВ можна охарактеризувати як достатньо збалансований для розвитку більшості водних рослин, – на відміну від плодкових сільськогосподарських культур, вони потребуватимуть значно менше сполук Калію. Очевидно, що водні та повітряно-водні рослини краще пристосовані до зростання у зануреному або напівзануреному стані, тоді як для забезпечення росту рослин аквапоніки необхідно забезпечувати додаткові умови. Отже, у порівнянні із системами аквапоніки, фітореактор із вищими водними рослинами характеризується рядом технологічних переваг:

- у фітореакторі можна підтримувати визначену біомасу очисних агентів і, відповідно, забезпечувати роботу споруди при стабільній асиміляційній потужності за Нітрогеном, тоді як при вирощуванні томатів чи інших плодово-ягідних культур їх очисна потужність змінюється внаслідок зміни біомаси впродовж вегетації;
- плаваючі водні рослини знаходяться безпосередньо у водному середовищі (у забрудненій воді, або на її поверхні), тому видаляють забруднення не тільки за рахунок кореневого всмоктування;
- фітореактор працює безперервно, – видалення надлишкової біомаси відбувається вручну або автоматизовано без зупинки споруди, тоді як вирощування рослин в аквапоніці характеризується циклічністю, адже після завершення плодоношення необхідно висаджувати молоді рослини;

- практично весь приріст біомаси рослин-очисних агентів можна згодувати риbam, таким чином вирішується проблема утилізації значної частини побічних продуктів, що утворюються у процесі відновлення якості забрудненої води; процес вирощування однорічних культурних рослин передбачає утворення біомаси пагонів або листя, яку потрібно вилучати і неможливо використати для харчових або кормових цілей (наприклад, пасльонові);
- фізико-хімічні показники забрудненої у басейнах води дозволяють після попереднього видалення основної маси нерозчинених сполук ефективно культивувати у ній плаваючі водні рослини; для забезпечення росту та плодоношення більшості культур аквапоніки у воду необхідно вносити додаткові макро- і мікроелементи, забезпечувати стабілізацію рН;
- робота фітореактора у складі очисних споруд не вимагатиме додаткового обслуговуючого персоналу, тоді як для системи аквапоніки з вирощуванням культурних рослин такий персонал зі знанням основ рослинництва і особливостей гідропоніки є обов'язковим;
- в межах комбінованого фітореактора можна ефективно поєднати асиміляцію сполук Нітрогену з видаленням розчинених органічних сполук, що дозволить зекономити площу під очисні споруди в межах ІМТА.

Ряскові як найперспективніші для культивування група вільноплаваючих вищих водних рослин, характеризуються найменшими серед усіх рослин розмірами, що також дозволяє ефективно культивувати їх у штучних умовах. Основними рисами, що обґрунтовують доцільність використання в якості очисних агентів саме цієї систематичної групи є швидкі темпи росту, невибагливість до умов водного середовища, висока кормова цінність фітомаси. Розмноження вегетативним способом також суттєво спрощує культивування ряскових у фітореакторі порівняно з іншими вищими водними рослинами. Таким чином, ряскові виявляються найзручнішим технологічним об'єктом для культивування у штучних

умовах, зокрема – для видалення з оборотної води УЗВ сполук Нітрогену та Фосфору. У порівнянні з зануреними рослинами, що можуть бути використані у процесах очищення оборотної води, ряскові значно швидше подвоюють біомасу. Окрім того, жодна з інших груп рослин, окрім представників ряскових, не може бути згодована риbam без попередньої обробки (видалення коренів, подрібнення біомаси, змішування у тістоподібний комбікорм).

Успішний досвід вирощування сільськогосподарських культур у інтегрованій з сучасними УЗВ системі, підтверджує перспективи вирощування в аналогічних умовах представників декоративних повітряно-водних рослин, здатних інтенсивно розвиватись у повітряному середовищі. У таких системах вилучення сполук нітрогену та Фосфору відбуватиметься за рахунок кореневого живлення рослин. Наявність стійкого попиту на продукцію декоративної аквакультури, відсутність у необхідності забезпечення сертифікації, обов'язкової для харчової продукції, простота вирощування та висока рентабельність дозволяють розглядати такий напрямок як один з перспективних для малопотужних УЗВ. Особливості культивування досліджених груп рослин в ІМТА представлені у таблиці 1.

Вибір методів очищення води від сполук нітрогену в умовах УЗВ має ґрунтуватись на основі багатьох чинників, найвагомішими з яких є профіль та потужність господарства, характерні особливості водозабезпечення, ефективність реалізації вирощеної в умовах аквапоніки продукції. Необхідно зазначити, що створення системи аквапоніки на базі малопотужних рибницьких УЗВ є нераціональним економічної точки зору. Вирощування продукції рослинництва в умовах ІМТА з метою подальшої реалізації потребуватиме відповідної сертифікації. У разі, якщо вирощена продукція ряскових буде згодована риbam, у підприємства не виникатимуть проблеми ані з логістикою, ані з ефективним збутом продукції. У даному аспекті вагомим виявляється й вибір продукції аквапоніки, адже сезонне зниження цін на овочеву та плодово-ягідну продукцію негативно позначатиметься на

ефективності діяльності такого інтегрованого комплексу.

Таблиця 1 - Порівняльна характеристика умов культивування різних груп рослин

Параметри при культивуванні	Занурені водні рослини	Плаваючі водні рослини	Повітряно-водні рослини	Рослини гідропоніки
Щільність посадки, кг/м ²	2-4	4-6 (10)	2-10	2-10
Час подвоєння біомаси, діб	8-10	2-4 (5)	5-8	10-15
Використання біомаси	-	Підгодівля риб (добриво)	Декоративна аквакультура	Харчові продукти
Проблемні аспекти	Інтенсивне обростання поверхні	Значні площі під споруди	Обмежені можливості реалізації	Різні види якості води

При відносно великій потужності рибницького комплексу доцільність створення системи аквапоніки зростає, що пов'язано з класичними перевагами крупних виробництв (можливістю зниження собівартості вирощеної продукції, розширенням асортименту, більш ефективним вирішенням задач логістики). Обмежені можливості згодувати окремим видам риб (лососевим та осетровим) надлишкову біомасу плаваючих рослин також можуть стати додатковим аргументом на перевагу системи аквапоніки.

Висновки. Використання в процесах очищення оборотної води УЗВ від сполук Нітрогену вищих водних рослин, що мають кормову цінність, відповідає основним засадам концепції інтегрованої мультитрофічної аквакультури та забезпечує ефективну конверсію у білкові сполуки незасвоєних рибами компонентів комбікормів. Перевагами даного методу у порівнянні з системою аквапоніки є стабільна очисна потужність споруд та можливість безвідходного використання приросту біомаси рослин. При обмежених потребах в кормі рослинного походження в межах УЗВ ефективність використання водних рослин в якості очисних агентів знижується.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Villaverde S. Nitrifying biofilm acclimation to free ammonia in submerged biofilters, Start-up influence/ S. Villaverde, F. Fdz-Polanco, P.A. García. – Water Res, 2000. – №34. – P. 602-610.
2. Michaud L. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters/ L. Michaud, J.P. Blancheton, V. Bruni, R. Piedrahita. – Aquacultural Engineering, 2006. 34. – P. 224-233.
3. Ling J. Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters/ J. Ling, S. Chen. – Aquac. Eng, 2005. – №33. – P. 150-162.
4. van Rijn J. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications/ J. van Rijn, Y. Tal, H. J. Schreier. – Aquacult. Eng., 2006. – №34. – P. 364-376.
5. Lee P.G., Denitrification in aquaculture systems: an example of fuzzy logic control problem/ P.G. Lee, R.N. Lea, E. Dohmann, W. Prebilsky. – Aquacult. Eng, 2000. – №23. – P. 37-59.
6. Aboutboul Y., Anaerobic treatment of intensive fish culture effluents: volatile fatty acid mediated denitrification/ Y. Aboutboul, R. Arbib, J. van Rijn. – Aquaculture, 1995. – №133. – P. 21-32.
7. Саблій Л.А. Очищення стічних вод від сполук азоту. Науковий вісник будівництва / Л.А. Саблій, В.С. Жукова. – Х.: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2011. – Вип. 63. – С. 431-435.
8. Саблій Л.А. Анаеробно-аеробне очищення стічних вод від органічних забруднень/ Л.А. Саблій, С.Д. Бойчук. – Науковий вісник будівництва. – Х.: ХНУБА ХОТВ АБУ, 2012. – Вип. 70. – С. 476-482.
9. Tal Y. Anaerobic ammonium-oxidizing (Anammox) bacteria and associated activity in fixed-film biofilters of a marine recirculating aquaculture system/ Y. Tal, J.E.M. Watts, H.J. Schreier. – Appl. Environ. Microbiol, 2006. – №72. – P. 2896-2904.
10. Crab R. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production/ R. Crab, Y. Avnimelech, T. Defoirdt, P. Bossier. – Aquaculture, 2007. – №270. – P. 1-14.
11. Turcios Ariel E. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents – What Can We Learn from the Past for the Future?/ Ariel E. Turcios, J. Papenbrock – Sustainability. – 2014. – Vol. 6. – P. 836-856.
12. Rakocy J.E. Aquaponics – Integrating Fish and Plant Culture/ J.E. Rakocy. – Wiley-Blackwell: Hoboken. – USA, NJ, 2012. – P. 344-386.
13. Watten B.J. Tropical production of tilapia (*Sarotherodon aurea*) and tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in a small-scale recirculating water system/ B.J. Watten, R.L. Busch. – *Aquaculture*, 1984. – №41. – P. 271-283.
14. Sikawa D.C. The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) by using hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) pond water: potentials and constraints/ D.C. Sikawa, A. Yakupitiyage – *Agric Water Manag*, 2010. – №97. – P. 1317-1325.
15. Rakocy J.E. Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system/ J.E. Rakocy, R.C. Shultz, D.S. Bailey, E.S. Thoman. – *Acta Horti*, 2004. – №648. – P. 63–69.

Кононцев С. В., Саблій Л.А., Козарь М.Ю., Гроховская Ю.Р. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДАЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА РАСТЕНИЯМИ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ МУЛЬТИТРОФИЧЕСКОЙ АКВАКУЛЬТУРЕ. В работе обоснована целесообразность выращивания в условиях интегрированной мультитрофической аквакультуры водных растений с целью очистки оборотной воды УЗВ от соединений азота. Растения усваивают основные загрязняющие вещества и трансформируют их в собственную биомассу. Выявлены преимущества и недостатки альтернативных методов удаления растворённых метаболитов рыб.

Ключевые слова: биологическая очистка воды, УЗВ, интегрированная мультитрофическая аквакультура.

Konontsev S. V., Sabliy L.A., Kozar M.Yu., Grokhovska Yu.R. EFFICIENCY OF NITROGEN COMPOUNDS REMOVAL BY PLANTS IN INTEGRATED MULTITROPHIC AQUACULTURE. The expediency of aquatic plants cultivation in conditions of integrated multi-trophic aquaculture for the circulating water treatment in RAS was grounded. Plants absorb main pollutants and transform them into their own biomass. Advantages and disadvantages of alternative methods for the removal of dissolved fish metabolites were identified.

Keywords: biological water treatment, RAS, integrated multi trophic aquaculture.