

Польовий В. М., д.с.-г.н., професор, Майборода Х. А., аспірантка
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Півне, v.m.poloviy@nuwm.edu.ua, h.a.maiboroda@nuwm.edu.ua)

АКВАПОНІКА ЯК ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ ПРОДУКТІВ

Глобальні екологічні, соціальні та економічні проблеми, які виникають у сучасному суспільстві обумовлюють необхідність нових і вдосконалених рішень в області виробництва і споживання продовольства та використання водних ресурсів [6]. Виробництво продовольства в таких умовах вимагає інноваційних технологій, що виходять за рамки традиційних аграрних методів. Прогресивним способом ведення господарської діяльності, який вражає своїми високими результатами є аквапоніка – сучасна технологія, що є гібридним поєднанням аквакультури (тобто технологічної системи штучного розведення риби та/або водних тварин) з гідропонікою (безсубстратною технологічною системою вирощування культурних рослин у водному середовищі). Внаслідок такого гібридного поєднання утворюється нова симбіотична система, яка є одночасно як середовищем для отримання продукції рибництва, так і плодоовочевої продукції.

Це стійка система, яка може поєднувати характеристики традиційної аквакультури разом із характеристиками сучасної гідропонної культури. Вони є двома основними елементами, які служать для вирощування водних тварин під час вирощування рослин. Відходи рибного господарства, які утворюються в процесі виробництва, можуть накопичуватися у воді та використовуватися в закритій системі.

Хоча води багаті на токсичні стоки, вони можуть бути небезпечними для певних тварин. Ключовим є те, що ці стоки є важливою частиною для росту та розвитку рослин.

В цілому аквапоніка є досить цікавою та перспективною технологією, проте вона потребує подальшого вивчення та розробки обґрунтованих рекомендацій та принципів виробництва продукції в системі, тому на сьогодні вона мало поширена у виробництві. Впро-

вадженням та подальшою розробкою аквапоніки активно займаються вчені та фахівці США, ряду розвинених країн Європи (Великобританія, Німеччина, Данія тощо). Аквапоніку вважають чи не однією з найперспективніших технологій вирощування сільськогосподарських культур у закритому ґрунті для країн Близького Сходу та Африки, які мають дуже посушливі кліматичні умови поряд із значним дефіцитом якісної прісної води для задоволення потреб житлово-комунального та водогосподарського комплексу.

Ключові слова: аквапоніка; сучасна технологія; екологічно чиста продукція; аквакультура; гідропоніка; безсубстратна технологічна система.

Вступ. Технології в сільському господарстві та виробництві надзвичайно швидко покращились. Гідропонне вирощування почалося коли рослини вирощувались без будь-якого типу субстрату. Ще у далекому 3–4 столітті до нашого часу, коли люди почали використовувати воду з річок для зрошення земель, яка була насичена органічними та мінеральними елементами – продуктами життєдіяльності водних організмів. Так зародилася аквапоніка – система зрошувального землеробства, яка разом вирощує рибу та рослини [1]. Рослини засвоюють розчинені у воді відходи життєдіяльності риб, і в більшості випадків, вони фільтрують воду, щоб забезпечити рециркуляцію води в системі. Для цього використовували воду з великою кількістю розчинених поживних речовин.

Постановка проблеми. Незважаючи на визнання парламентом Європейського союзу (ЄС) одного з «десяти технологій, які можуть змінити наше життя» [7], дослідження в області запровадження аквапоніки в Україні все ще недостатні. Про це свідчить кількість рецензованих публікацій з аквапоніки в Google та Web of Science. В цьому відношенні аквапоніку можна вважати сучасною технологією і новою науковою темою, яка розвивається і потребує ретельного дослідження.

За допомогою технології аквапоніки можуть бути вирощені майже всі види риб: лососевих, осетрових, сома тощо. Серед рослин, вирощених за аквапонною технологією – насамперед зелень: петрушка, кріп, базилік, шальвія, розмарин, кінза, м'ята, меліса, салат. Можливо також вирощування овочевих культур, наприклад, томатів, а також брокколі, зеленої квасолі, баклажанів, шпинату, огірків, полуниці, суниці, багато різновидів бобових, кольрабі, болгарського

перцю, цибулі і багато іншого.

В основі виробництва – використання природних процесів життєдіяльності прісноводних тварин (риб, креветок) в якості живильного середовища для виробництва рослин. В ході росту рослини споживають необхідні їм продукти виділень живих організмів – хімічні речовини (азотисті, калійні, фосфорні сполуки, вуглекислий газ і ін.), розчинені у воді, і – при цьому, природним шляхом очищують і збагачують її киснем. В процесі виробництва відпадає потреба у використанні різних хімічних добрив та домішок, зі складною системою їх дозування і зберігання: процес хімізації, переробки і очищення відбувається природним шляхом і в замкнутому циклі [8]. Таким чином, аквапоніка імітує природне середовище.

В екосистемах, що використовують аквапоніку, можна встановити характерну лише для природи рівновагу, при цьому екологічні ферми є ефективними з точки зору витрат на виробництво продукції і обсягів врожаю і цілком можуть змагатися з традиційними сільськогосподарськими об'єктами, що роблять ставку на перевірені технології, традиційні конструкції (наприклад, теплиці з полікарбонату) і звичайні добрива. У аквапоніці не використовуються гербіциди і пестициди, так як вони згубні для бактерій і тварин. Природним чином в аквапоніці економляться кошти на закупівлі азотних і фосфоровмісних добрив. Детрит – тверді відходи життєдіяльності риб – стає в аквапоніці ефективним добривом. Якщо вирощені рослини або частина їх згодовується риbam, аквапоніка дає можливість заощадити на закупівлях корму для них.

Аквапоніка використовує виключно екологічно чисті методи боротьби з шкідниками і хворобами, тому що, в іншому разі, це може негативно позначитися на здоров'ї риби. Однак очевидно, що екологічний вплив аквапоніки може бути покращено за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, розроблення методів збору врожаю в денний час, щоб уникнути використання електричної енергії, використання попередньо очищеної або переробленої води або дощової води, а також поліпшення кліматичного контролю.

В Україні аквапоніка у промисловому масштабі – велика рідкість. Проте вже зараз українська компанія Aquafarm успішно займається вирощуванням екологічно чистих овочів та зелені за цією технологією (рисунок) [9]. Крім якісної овочевої продукції Aquafarm пропонує споживачу рибу (сома, тилапію). Компанія отримала пози-

тивний досвід впровадження інноваційної технології та у перспективі планує розширення виробництва [5].



Рисунок. Аквапонічна ферма у Василькові Київської області

Такі інтегровані фермерські господарства дозволяють скоротити споживання води на 90% у порівнянні з традиційним сільським господарством.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історичний шлях сучасної аквапоніки розпочався ще у стародавні часи [11], що підтверджує загальновідомий вислів, що все нове — це добре забуте старе. Перші системи, подібні до сучасної аквапоніки, були у ацтеків, які вирощували культурні рослини на попередньо закріплених чінампах (невеликих плавучих островах) [3]. У Південному Китаї, Таїланді, Індонезії ще з давніх-давен вирощували рис із повним затопленням полів, де паралельно розводили окремі види риб [10]. Вже тоді люди розуміли переваги одночасного вирощування риби та рослинницької продукції [12].

Зокрема, вагомий внесок у розробку та розвиток аквапоніки як самостійної технології зробив доктор Марк МакМартрі [2] та його колеги з Університету штату Північна Кароліна. Згодом, починаючи з 90-х років минулого століття, натхненні першими успіхами, американські вчені серйозніше взялися за розробку гібридної технології. Починаючи з 1979 року, д-р Джеймс Ракосі та його колеги з Університету Віргінських островів досліджували та розробляли використання глибоководних гідропонних грядок у великомасштабній системі аквапоніки [13]. Інші інститути зосередили свої дослідження на системах «припливів і відпливів» (також відомих як «повінь і дренаж»), які частково базувалися на оригінальних ідеях, розроблених в Університеті штату Північна Кароліна, але грубі середовища (такі як гравій або керамзит) замінили пісок, а дзвонові сифони забезпечили

цикл зрошення припливів і течій [14]. Такі системи також відомі як «системи Speganeo», оскільки вони базуються на ідеях, розроблених у 1990-х роках Томом і Полою Сперанео, власниками ферми аквапоніки в Міссурі [15].

Наразі цілий ряд наукових установ аграрного профілю США займається всебічним вивченням та удосконаленням аквапонних систем та технологій для отримання плодоовочевої продукції та продукції рибництва.

Мета та завдання. Метою статті є аналіз технології вирощування екологічно чистих продуктів. Так, якщо за традиційної аквакультури екскременти та продукти життєдіяльності риби та інших водних організмів накопичуються у воді, що з часом призводить до зростання токсичності останньої, то за аквапоніки забруднена вода подається до гідропонної системи, де очищується спеціалізованими штамми корисних бактерій за рахунок переробки ними продуктів життєдіяльності на різноманітні поживні речовини для рослин (нітриту, нітрати тощо). Після цього очищена таким чином вода знову подається до танкерів із водною біотою, і таким чином створюється замкнута система, здатна до ефективного екологічно безпечного самоочищення [4].

Перед авторами постало завдання з'ясувати звідки прийшла ідея створення такої гібридної штучної екосистеми та визначити головні недоліки та переваги аквапоніки.

Аквапоніка вважається однією з найперспективніших сучасних агротехнологій отримання екологічно чистої продукції.

Аквапонні системи вже зараз відрізняються широким розмахом. Вони різняться за своїми конструктивними особливостями, розмірами, складністю та комплексністю, набором культивованих організмів.

Аквапоніка потребує декількох компонентів та систем, щоб мати змогу налагодити одночасне виробництво. Основні елементи:

- племінний бак: відноситься до місця, де риба харчується та розвивається. Це можна розглядати як невелике середовище існування;

- видалення твердих речовин: це одиниця, яка використовується для виведення всієї їжі, яка не потрапляє в організм риби, та для групування найдрібніших відкладень. Завдяки цій системі на поверхні води створюється біоплівка;

- біофільтр: як і в інших водних середовищах, потрібні бактерії, які можуть нітрифікувати доквілля. Бактерії відповідають за перетворення аміаку в нітрати, які засвоюються рослинами як поживні речовини;

- гідропонні підсистеми: це частина системи, де рослини ростуть завдяки поглинанню поживних речовин, які є у воді. Оскільки субстрату не існує, саме вода повинна підтримувати біодоступність поживних речовин;

- відстійник: це найнижча частина гідропонної системи. Це частина, де вода перекачується назад до вирощувальних резервуарів і забезпечує постійний потік.

Щоб мати можливість займатися аквапонікою, потрібен дуже важливий елемент. Вся справа в нітрифікації. Нітрифікація - це аеробне перетворення аміаку в нітрати. Нітрати відповідають за зменшення токсичності води для риб. Крім того, отримані нітрати рослина виводить і використовує для її живлення. Риби можуть постійно виділяти аміак як продукт їх метаболізму.

Більшу частину цього аміаку потрібно фільтрувати, оскільки його висока концентрація може вбити рибу. Це змушує аквапоніку використовувати переваги здатності бактерій перетворювати їх в інші азотисті компоненти.

Головними перевагами аквапоніки є:

- висока екологічна чистота виробництва плодоовочевої продукції, оскільки застосування агрохімікатів у системі мінімальні;

- можливість вирощування широкого спектру овочевих та лікарських культурних рослин;

- отримання одразу кількох видів продукції — рослинницької та рибної;

- висока екологічна ефективність використання води;

- ефективне використання земельної площі;

- висока продуктивність як аквакультури, так і гідропоніки;

- риба, вирощена у закритій штучній системі, характеризується високими показниками токсико-екологічної безпеки, оскільки не містить патогенів та паразитів, небезпечних для людини;

- вирощування риби та інших водних організмів здійснюється під суворим санітарно-гігієнічним контролем і повністю виключає застосування гормональних препаратів та антибіотиків.

Поряд із сильними сторонами технологія має певні недоліки, а саме:

- неможливо вирощувати бульбо- та коренеплідні культури;
- високі витрати на первинний монтаж та підтримання системи у функціональному стані;
- високі витрати енергії;
- потреба в якісних кормах для водних тварин та риби;
- потреба у висококваліфікованих технічних кадрах, а також у спеціалістах не тільки агрономічного, а й екологічного та рибогосподарського напрямку;
- недостатня вивченість усіх агротехнологічних аспектів вирощування різних культур;
- висока комплексність і складність біологічних взаємозв'язків між різними групами біологічних організмів.

Найбільший у світі проект з промислової аквапоніки відбувається у Китаї. Він має більше 4 гектарів і використовує нові технології в поєднанні зі старим бамбуком. Застосовується для експериментів з вирощування рису у ставках та забезпечує основу для нарощування всіх традиційних земельних культур.

Висновки та рекомендації. В даний час, в епоху енергозбереження та екологічних пріоритетів, аквапоніка отримала новий розвиток. На Заході є чимало ферм, в яких вирощуються екологічно чисті продукти методом аквапоніки, і навіть зняті фільми.

Кілька рекомендацій аби аквапоніка була прибутковою справою та для отримання екологічно чистої продукції:

- ретельно обирати акваріум, адже це найважливіший компонент будь-якої аквапонної установки. Рекомендується віддати перевагу круглим ємностям з плоским або конічним дном, оскільки в них легше підтримувати чистоту;
- забезпечити належну аерацію і циркуляцію води. Це означає, що потрібно використовувати водний і повітряний насоси, які забезпечать високі рівні вмісту розчиненого кисню у воді і рух води в системі: це необхідно для підтримки здоров'я тварин, бактерій і рослин (якщо є можливість можливо розглянути варіант використання вітрової або фотоелектричної енергії);
- підтримувати хорошу якість води (рівень розчиненого кисню (5 мг/дм³), рН (6–7), температура (18–30° С), загальний вміст азоту) за допомогою звичайних тест-систем;
- не перевантажувати ємності (рекомендована щільність посадки – 20 кг/1000 дм³);

- уникати переогодовування і видаляти з системи всі недоїдені залишки. Відходи і залишки корму дуже шкідливі для водних організмів, оскільки можуть піддатися гниттю в системі. Гниючий корм може викликати хвороби і поглинати весь розчинений у воді кисень.

Також, відповідно до дослідження, яке включало 208 аквапонічних підприємств у Сполучених Штатах, середня вартість інвестицій становила 5000–10000 доларів США, 10% підприємств повідомили про річний дохід понад 50000 доларів США, що робить використання цієї системи прибутковим [16].

1. Лавренко С. О., Кутіщев П. С., Лавренко Н. М., Максимов М. В. Аквапоніка – розумне поєднання рибництва та рослинництва в контексті екологічної безпеки. *Водні біоресурси та аквакультура*. Херсон : Херсонський державний аграрний університет, 2019. С. 91–100. **2.** McMurtry M. R., Nelson P. V., Sanders D. C. (1988). Aqua-Vegeticulture Systems. International Ag-Sieve. Archived from the original on June 19, 2012. Retrieved April 24, 2013. **3.** Boutwelluc Juanita (December 15, 2007). Aztecs' aquaponics revamped. Napa Valley Register. Archived from the original on December 20, 2013. Retrieved April 24, 2013. **4.** Польовий В. М., Колесник Т. М., Гілевич А. М., Колесник А. С. Продукти життєдіяльності аквакультури як ресурс поживних елементів для рослин модуля гідропоніки в системах аквапоніки. *Науково-інноваційний супровід збалансованого природокористування : матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Україна, м. Рівне, 4–5 листопада 2021 р.)*. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2021. С. 34–36. **5.** Інформаційний ресурс. URL: <https://aquafarm.com.ua> (дата звернення: 30.07.2022). **6.** United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables; Working Paper No. ESA/P/WP.241; United Nations: New York, NY, USA, 2015. **7.** Van Woensel L., Archer G., Panades-Estruch L., Vrscaj D. Ten Technologies Which Could Change Our Lives; European Union: Brussels, Switzerland, 2015. **8.** Junge R., König B., Villarroel M., Komives T., Jijakli M. H. Strategic points in aquaponics. *Water* 2017, 9, P. 182. **9.** Українці вирощують рибу та овочі за допомогою аквапоніки. URL: <https://agroportal.ua/news/eksklyuzivny/ukraintsy-vyrashchivayut-rybu-i-ovoshchi-s-pomoshchyu-akvaponiki> (дата звернення: 30.07.2022). **10.** Integrated Agriculture-aquaculture: A Primer, Issue 407. FAO. 2001. ISBN 9251045992. Archived from the original on 2018-05-09. **11.** Tomita-Yokotani K., Anilir S., Katayama N., Hashimoto H., Yamashita M. Space agriculture for habitation on mars and sustainable civilization on earth. *Recent Advances in Space Technologies*. 2009. P. 68–69. **12.** Carassius carassius. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Fisheries and Aquaculture Department. Archived from the original on January 1, 2013. Retrieved April 24, 2013.

13. Rakocy James E. Aquaculture – Aquaponic Systems. *University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station*. Archived from the original on 4 March 2013. Retrieved 11 March 2013. **14.** Fox Bradley K., Howerton Robert, Tamaru Clyde (June 2010). Construction of Automatic Bell Siphons for Backyard Aquaponic Systems (PDF). University of Hawai'i at Mānoa Department of Molecular Biosciences and Bioengineering. Archived (PDF) from the original on 16 August 2013. Retrieved 12 March 2013. **15.** Aquaponics – Integration of Hydroponics with Aquaculture. ATTRA Sustainable Agriculture Program. Archived from the original on 2019-10-03. Retrieved 2020-07-14.

REFERENCES:

1. Lavrenko S. O., Kutishchev P. S., Lavrenko N. M., Maksymov M. V. Akvaponica – rozumne poiednannia rybnystva ta roslynnytstva v konteksti ekolohichnoi bezpeky. *Vodni bioresursy ta akvakultura*. Kherson : Khersonskiy derzhavnyi ahrarnyi universytet, 2019. S. 91–100. **2.** McMurtry M. R., Nelson P. V., Sanders D. C. (1988). Aqua-Vegeticulture Systems. International Ag-Sieve. Archived from the original on June 19, 2012. Retrieved April 24, 2013. **3.** Boutwell Juanita (December 15, 2007). Aztecs aquaponics revamped. Napa Valley Register. Archived from the original on December 20, 2013. Retrieved April 24, 2013. **4.** Polovyi V. M., Kolesnyk T. M., Hilevych A. M., Kolesnyk A. S. Produkty zhyttiediialnosti akvakultury yak resurs pozhyvnykh elementiv dlia roslyn modulia hidroponiky v systemakh akvaponyky. *Naukovo-innovatsiinyi su-provid zbalansovanoho pryrodokorystuvannia : materialy II Mizhnarodnoi nauko-vo-praktychnoi internet-konferentsii (Ukraina, m. Rivne, 4–5 lystopada 2021 r.)*. [Elektronne vydannia]. Rivne : NUVHP, 2021. S. 34–36. **5.** Informatsiinyi resurs. URL: <https://aquafarm.com.ua> (data zvernennia: 30.07.2022). **6.** United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables; Working Paper No. ESA/P/WP.241; United Nations: New York, NY, USA, 2015. **7.** Van Woensel L., Archer G., Panades-Estruch L., Vrscaj D. Ten Technologies Which Could Change Our Lives; European Union: Brussels, Switzerland, 2015. **8.** Junge R., König B., Villarroel M., Komives T., Jijakli M. H. Strategic points in aquaponics. *Water* 2017, 9, P. 182. **9.** Ukraintsi vyroshchuiut rybu ta ovochi za dopomohoiu akvaponyky. URL: <https://agroportal.ua/news/eksklyuzivnyy/ukraintsy-vyrashchivayut-rybu-i-ovoshchi-s-pomoshchyu-akvaponyky> (data zvernennia: 30.07.2022). **10.** Integrated Agriculture-aquaculture: A Primer, Issue 407. FAO. 2001. ISBN 9251045992. Archived from the original on 2018-05-09. **11.** Tomita-Yokotani K., Anilir S., Katayama N., Hashimoto H., Yamashita M. Space agriculture for habitation on mars and sustainable civilization on earth. *Recent Advances in Space Technologies*. 2009. P. 68–69. **12.** *Carassius carassius*. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Fisheries and Aquaculture Department. Ar-

chived from the original on January 1, 2013. Retrieved April 24, 2013. **13.** Rakocy James E. Aquaculture – Aquaponic Systems. *University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station*. Archived from the original on 4 March 2013. Retrieved 11 March 2013. **14.** Fox Bradley K., Howerton Robert, Tamaru Clyde (June 2010). Construction of Automatic Bell Siphons for Backyard Aquaponic Systems (PDF). University of Hawai'i at Mānoa Department of Molecular Biosciences and Bioengineering. Archived (PDF) from the original on 16 August 2013. Retrieved 12 March 2013. **15.** Aquaponics – Integration of Hydroponics with Aquaculture. ATTRA Sustainable Agriculture Program. Archived from the original on 2019-10-03. Retrieved 2020-07-14.

Polovyi V. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Maiboroda H. A., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

AQUAPONICS AS AN INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR GROWING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTS

Global environmental, social and economic problems that arise in modern society determine the need for new and improved solutions in the field of food production and consumption and the use of water resources [6]. Food production in such conditions requires innovative technologies that go beyond traditional agricultural methods. Aquaponics is a progressive way of conducting economic activity that impresses with its high results – a modern technology that is a hybrid combination of aquaculture (technological system of artificial breeding of fish and / or aquatic animals) with hydroponics (substrate-free technological system of growing cultivated plants in the aquatic environment). As a result of such a hybrid combination, a new symbiotic system is formed, which is both an environment for the production of fishery products and fruits and vegetables.

It is a sustainable system that can combine the characteristics of traditional aquaculture together with the characteristics of modern hydroponic culture. They are the two main elements used to grow aquatic animals while growing plants. Fisheries waste is generated in the production process and can accumulate in water and be used in closed systems that circulate in traditional aquaculture systems.

Although the waters are rich in toxic effluents, they can be dangerous to certain animals. The key is that these drains are an im-

portant part of plant growth and development. It is necessary to control the level of concentration of these effluents.

In general, aquaponics is a rather interesting and promising technology, however, it requires further study and development of sound recommendations and principles of production of products in the system, therefore, today it is not widely used in production. The introduction and further development of aquaponics are actively engaged in by scientists and specialists of the USA, a number of developed European countries (Great Britain, Germany, Denmark, etc.). Aquaponics is considered to be one of the most promising technologies for growing agricultural crops in closed soil for the countries of the Middle East and Africa, which have very arid climatic conditions along with a significant shortage of high-quality fresh water to meet the needs of the housing, communal and water management complex.

***Keywords:* aquaponics; modern technology; environmentally friendly products; aquaculture; hydroponics; substrateless technological system.**