

SYSTEM ANALYSIS AND CONTROL STRUCTURE OF AQUAPONIC SYSTEMS

R. Zaloznyi, N. Zaiets

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

Aquaponic system
System analysis
Graph model
Path matrix
Block diagram

Article history:

Received 08.01.2024
Received in revised form
23.01.2024
Accepted 24.01.2024

Corresponding author:

R. Zaloznyi

E-mail:

blackblackgreygrey@gmail.
com

Citation: Р. В. Залозний,
Н. А. Заєць (2024). Систем-
ний аналіз і структура ке-
рування аквапонними си-
стемами. *Наукові праці*
НУХТ, 30(1), 7—16.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-1-4

ABSTRACT

The article is devoted to aspects of system analysis of aquaponic systems, in particular, the construction of a graph model. Aquaponics is a complex, integrated system of plant growing and aquaculture, so using systems analysis to identify interactions and relationships between its elements contributes to the development of an effective management system.

Aquaponic system is a closed loop with a lot of variables. A graph model was developed to identify key elements and the relationships between them. The use of a graph model made it possible to construct a path matrix and make conclusions about the complexity of the system from the point of view of system analysis.

A graph model and a block diagram that allows to consider a complex aquaponic system as a discrete one is presented in the article. This approach ensures further optimization of individual technological parameters of the system's operation, which include: temperature, lighting level, oxygen level, impurity concentration, pH and ammonia ion ratio.

A block diagram of the aquaponic system was constructed, which made it possible to consider the complex system as a collection of individual elements. The construction of a graph model and path matrices leads to simplifying the management process and increasing the level of control over each component of the system; carrying out diagnostics and identifying possible failures separately for subsystems and the complex as a whole, which helps to identify problems in a timely manner and avoid spreading to other parts of the system; optimizing the use of resources to ensure optimal efficiency of the entire complex.

Using a systems approach and effective management of aquaponic systems improves their productivity and sustainability, making them attractive for use in sustainable agriculture and aquaculture.

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І СТРУКТУРА КЕРУВАННЯ АКВАПОННИМИ СИСТЕМАМИ

Р. В. Залозний, Н. А. Засць

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Стаття присвячена аспектам системного аналізу аквапонних систем, зокрема побудові графової моделі. Аквапоніка являє собою складну інтегровану систему вирощування рослин та аквакультури, тому використання системного аналізу для виявлення взаємовпливу та зв'язків між її елементами сприяє можливості розробки ефективної системи керування.

Особливість аквапонних систем полягає в тому, що вони є замкненими циклами з великою кількістю змінних. Для ідентифікації ключових елементів і взаємозв'язків між ними було розроблено графову модель. Використання графової моделі забезпечило можливість побудови матриці шляхів і зробити висновки про складність системи з точки зору системного аналізу.

У статті представлено графову модель і структурну схему, які дають змогу розглянути комплексну аквапонну систему як дискретну. Такий підхід забезпечує подальшу оптимізацію окремих технологічних параметрів функціонування системи, до яких можна віднести: температуру, рівень освітлення, кисню, концентрації домішок, рН і відношення йонів аміаку.

Побудовано структурну схему аквапонної системи, що дає змогу розглядати комплексну систему як сукупність окремих елементів. Побудова графової моделі та матриць шляхів сприяє спрощенню процесу управління і підвищенню рівня контролю над кожною складовою системи; здійсненню діагностики та виявленню можливих відмов окремо для підсистем і комплексу загалом, що допомагає вчасно виявляти проблеми та уникати їх поширення на інші частини системи; оптимізації використання ресурсів для забезпечення оптимальної ефективності всього комплексу.

Використання системного підходу та ефективного керування аквапонними системами підвищує їх продуктивність та стійкість, що робить їх привабливими для використання у сталому сільському господарстві та аквакультурі.

Ключові слова: аквапонна система, системний аналіз, графова модель, матриця шляхів, структурна схема.

Постановка проблеми. Аквапоніка стає все більш популярною та важливою для сталого розвитку сільського господарства та виробництва продуктів харчування. При дослідженні та розробці аквапонних систем важливу роль відіграє системний аналіз, оскільки аквапоніка об'єднує аквакультуру, гідропоніку та циркуляцію води, що створює складну взаємодію між живими організмами, рослинами, водою, добривами та іншими елементами системи. Системний аналіз дає змогу виявити взаємозв'язки та залежності між елементами системи, які можуть бути оптимізовані, щоб підвищити продуктивність та ефективність технологічного процесу, а також виявити потенційні проблеми, причини втрати продуктивності та запропонувати можливі шляхи вирішення цих проблем. Системний аналіз сприяє

прийняттю обґрунтованих рішень щодо управління аквапонною системою, дає змогу оцінити вплив різних факторів на систему, провести сценарний аналіз і зробити прогнози щодо розвитку системи. Оскільки аквапоніка є відносно новою галуззю, яка постійно розвивається та удосконалюється, використання системного аналізу допомагає ідентифікувати можливості для інновацій, виявляти потенційні напрямки розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі дослідження аквакультури та гідропонних об'єктів, а також аквапоніки загалом як комплексного поєднання вищевказаних систем підтверджують, що побудова математичної моделі та проведення системного аналізу є першим кроком на шляху до надійної й ефективної системи керування технологічним процесом.

Більшість праць з досліджуваної тематики присвячена системам керування, що включають у себе системи з використанням Інтернету речей. Так, у (Purwalaksana, Tambunan, & Hutaauruk, 2022; Dawa, Tibon, & Lausa, 2022; Bakar, Nor, Kadiran, & Misnan, 2022) впроваджено систему моніторингу технологічних параметрів у реальному часі, що забезпечило економічність аквапоніки.

Найбільш вагомим параметром в умовах аквапонних систем є гідрохімічні параметри. У (Abbasi, Martinez, & Ahmad, 2021; Taħa, та ін., 2022) проведено огляд основних технологічних аспектів аквапоніки, що разом із впровадженням технології Інтернету речей забезпечує якісне виробництво, а також визначено загальні діапазони підтримання таких параметрів, як рівень рН, температура, освітленість, лужність тощо для більшості рослин і гідробіонтів.

Підтримка оптимальних параметрів для рослин та риби, також впливає на їхнє здоров'я. У (Karimanzira, & Rauschenbach, 2021; Krastanova, Sirakov, Ivanova, & Yarkov, 2022) представлені результати впливу добрив на життя гідробіонтів.

У статті (Pattillo, Cline, Hager, Roy, & Hanson, 2022) описані результати опитувань і визначено фактори, які впливають на дослідження та виробництво. Це проблеми організації та менеджменту, екологічні аспекти та кліматичні особливості регіону, переймання досвіду та загальний доступ до результатів роботи і досліджень, пошук інвестицій, економічний ефект і собівартість, вибір видів живих організмів для аквапоніки та боротьба зі шкідниками і хворобами, людський фактор та інші проблемні аспекти.

Проведений аналіз результатів досліджень свідчить про те, що головною метою наукових зусиль є об'єднання всіх вивчених аспектів з однією загальною метою — досягнення економічної доцільності та збереження енергії. Основний акцент робиться на тому, як оптимізація використання енергії може призвести до зменшення витрат на виробництво та, відповідно, зниження собівартості продукції. Це відкриває перспективи для створення більш доступних продуктів і подолання проблем з доступом до харчових ресурсів у всьому світі.

Мета дослідження: провести системний аналіз і побудувати графову модель структури аквапонної системи.

Матеріали і методи. Системний аналіз дає змогу визначити основні взаємозв'язки в технологічному процесі (Ладанюк, Заєць, & Власенко, 2016). Ефективним інструментом для визначення складності системи є використання графової теорії.

У (Попович, & Ковальчук, 2007; Diestel, 2005) описано основні принципи побудови графів і методика досліджень. Графові моделі дають змогу зобразити складну структуру системи у зрозумілій та зручній формі, яка полегшує розуміння взаємозв'язків та взаємодії об'єктів. Застосовуючи алгоритми графового аналізу, можна виявити ключові елементи, шляхи сполучення, визначати вплив об'єктів на систему тощо. У свою чергу, це дає змогу прогнозувати поведінку системи та виконувати оптимізацію параметрів.

Створення графової моделі можливе лише при ретельному дослідженні структури аквапонних систем. Їхні основні параметри представлені у працях (Taha та ін., 2022; Abbasi, Martinez, & Ahmad, 2021; Sallenave, 2016; Güzel, & Parug, 2013; Ondruska, How, Netolický, Masa, & Teng, 2022).

Загалом, в аквапонних системах можна виділити три основні групи підсистеми, навколо яких і здійснюється функціонування технологічного процесу. Це система аквакультури, система гідропоніки та система керування.

Математичну модель системи керування технологічним процесом можна отримати за допомогою графів. Загалом, під графом розуміють певну множину точок M , які називаються вершинами, і множину непересічних кривих — ребер R . Графова модель аквапоніки є досить актуальним інструментом, оскільки надає можливість візуалізувати й аналізувати зв'язки між різними елементами системи. Оскільки аквапоніка поєднує в собі аквакультуру (вирощування водних організмів) та гідропоніку (вирощування рослин у водному середовищі без ґрунту), управління й оптимізація цієї складної системи може бути викликом.

Графова модель дає змогу відобразити структуру аквапонної системи, виявити залежності між її компонентами, ідентифікувати ключові функціональні елементи та зв'язки між ними, завдяки чому можна проводити аналіз ефективності системи, розробляти стратегії оптимізації, виявляти можливі проблеми та вдосконалювати структуру аквапонічної системи.

Крім того, графова модель може бути використана для комунікації та спільної роботи між фахівцями з аквапоніки, забезпечуючи їхню взаємодію та обмін ідеями з покращення системи. Це візуальне зображення структури системи не лише сприяє розумінню всіх її компонентів, але й створює платформу для обміну ідеями та розробки стратегій щодо вдосконалення функціонування системи.

Викладення основних результатів дослідження. Для системного аналізу аквапоніки використаємо теорію графів як один з методів математичного опису зв'язків між підсистемами. Графові моделі поєднують у собі характеристики графічного та множинного представлення, а також формують допоміжні матриці, які зручно використовувати для аналізу, синтезу й управління.

При дослідженні та системному аналізі технологічних процесів важливою є побудова структурної схеми процесу. На рис. 1 представлена структурна схема аквапонної системи.

Схема включає в себе елементи аквапонної системи, які описані далі, при побудові графової моделі. У системі виділені основні частини: система керування, резервуар з рибою та резервуар з рослинами. Означення базових сигналів представлено таким чином: $L(T)$ — освітлення, $H(T)$ — вологість повітря у резервуарі з рослинами, $WLp(T)$ — рівень рідини у резервуарі з рослинами, $Ta(T)$ — температура повітря в резервуарі з рослинами, $Tr(T)$ — температура води у резервуарі

з рослинами, $O(T)$ — рівень кисню в резервуарі з рослинами, $Wlf(T)$ — рівень води у резервуарі з рибою, $PH(T)$ — рівень рН у резервуарі з рибою, $Tf(T)$ — температура води у резервуарі з рибою, $EC(T)$ — електропровідність рідини на виході резервуару з рибою, що характеризує наявність поживних речовин.

Також у схемі індексами позначені відповідні рівні системи: вхідний сигнал відповідного параметра позначено індексом «1», сигнал контролера на виконавчий механізм позначено «2», вплив виконавчого механізму на об'єкт керування задано «3», зворотний зв'язок кожного параметра системи позначено індексом «4», вихідний стан об'єкта керування — «вих».

Аквапонний комплекс — це складна система, що включає в себе такі елементи:

- 1 — датчик рівня освітленості;
- 2 — датчик кисню;
- 3 — датчик вологості повітря;
- 4 — датчик рівня води рослини;
- 5 — датчик рівня води риби;
- 6 — датчик температури води;
- 7 — датчик температури повітря;
- 8 — датчик провідності води;
- 9 — датчик рН;
- 10 — система штучного освітлення рослин;
- 11 — аератор;
- 12 — система подачі корму;
- 13 — насос прямий;
- 14 — фільтр відходів;
- 15 — біофільтр;
- 16 — насос зворотний;
- 17 — насос зовнішній;
- 18 — підігрів води;
- 19 — підігрів повітря;
- 20 — система подачі додаткових мінералів;
- 21 — зволожувач повітря;
- 22 — резервуар з рибою;
- 23 — система автоматичного керування технологічним процесом;
- 24 — резервуар з рослинами.

Кожна виділена підсистема є важливою складовою аквапоніки. Аналіз цих підсистем сприятиме отриманню більш повного розуміння самого процесу та можливості його регулювання. Шляхом проведення технологічного й структурного аналізу був складений граф структури аквапонної системи (рис. 2), де функціональні елементи є вершинами, а зв'язки між ними позначаються дугами.

Для подальшого визначення основних взаємозв'язків між елементами графа важливо отримати матрицю шляхів.

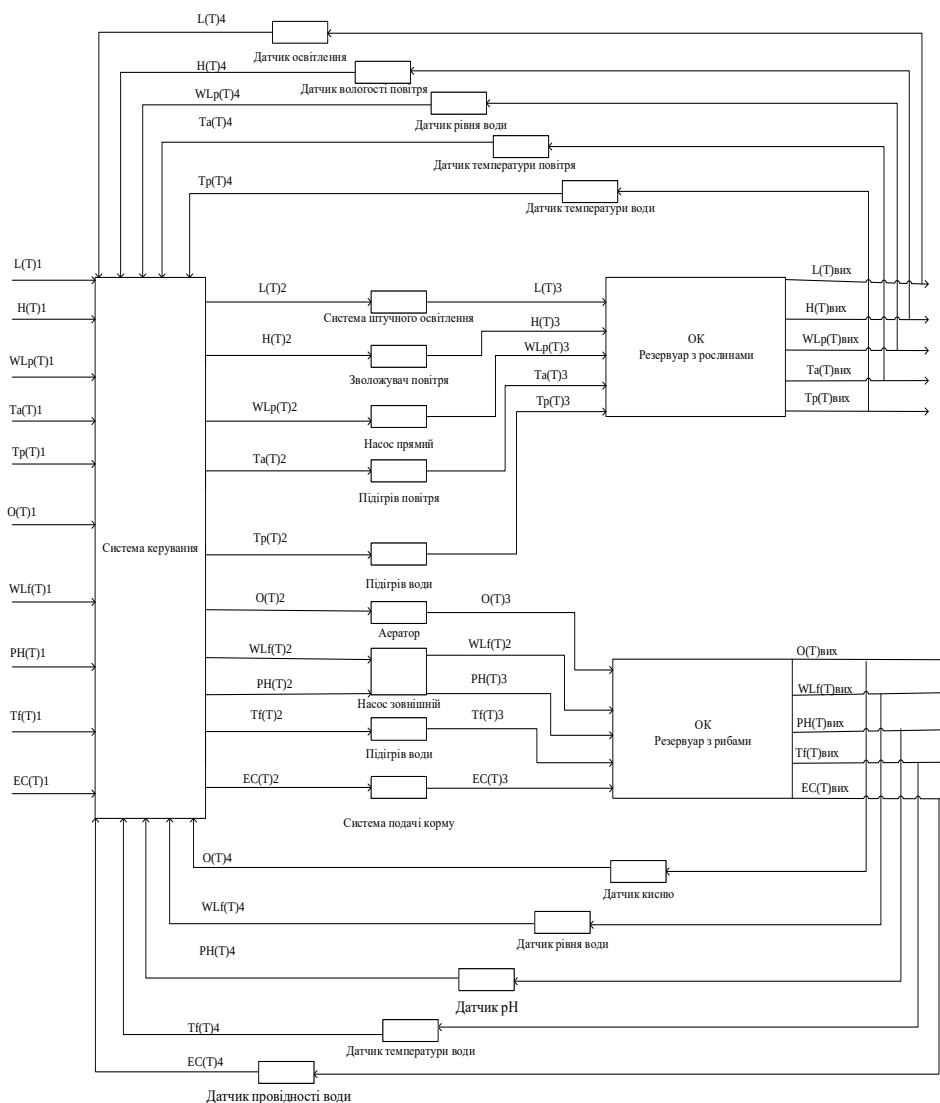


Рис. 1. Структурна схема аквапонної системи

Матриця шляхів створюється квадратною через відповідність кількості елементів. Якщо на графі є шлях з вершини i до вершини j , то на перетині i -го рядка та j -го стовпця ставиться 1, у протилежному випадку — 0.

Оскільки аквапоніка є замкненою системою, то при побудові матриці шляхів недоцільно враховувати вплив системи керування на об'єкт дослідження.

На основі матриці P або графа будується допоміжна матриця S . За допомогою якої можна виділити комплекси та підсистеми аквапоніки. При розгляді графа в основі побудови допоміжної матриці лежить зворотність зв'язків між об'єктами.

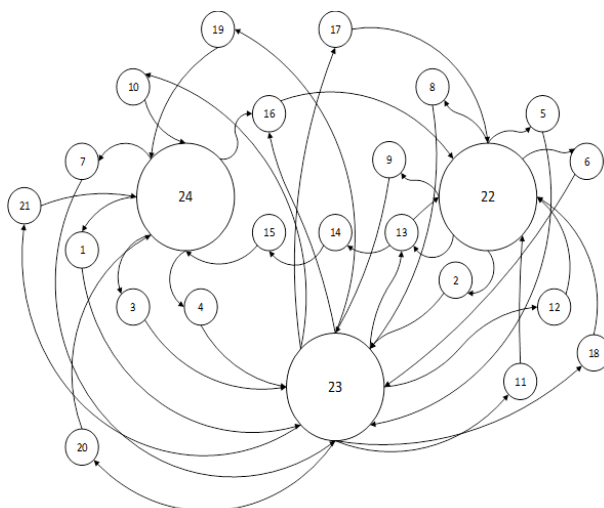


Рис. 2. Графова модель структури аквапонної системи

Таблиця 1. Матриця шляхів Р

Номер вершини графа, i	Номер вершини графа, j																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	22	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	

При розгляді матриці шляхів Р допоміжну матрицю S (рис. 2) можна побудувати за формулою 1:

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } p_{ij} = p_{ji} = 1 \\ 0, \text{ в протилежному випадку} \end{cases} \quad (1)$$

Таблиця 2. Допоміжна матриця S

		Номер вершини графа, j																							
Номер вершини графа, i		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Ненульові елементи допоміжної матриці S_{ij} показують вершини, які входять у комплекс. Отже, у складі аквапонної системи можна виділити двадцять одну окрему підсистему та три комплекси: 22 — резервуар з рибою, 23 — система керування, 24 — резервуар з рослинами. Окремі підсистеми, як видно з графа (рис. 2), є незалежними компонентами аквапоніки. Відповідно, підтримання їх параметрів потребує незалежного керування, що ускладнює сам процес, але забезпечує більшу стабільність системи, а з практичної точки зору спростує реалізацію системи керування. Після проведення аналізу графової моделі структури аквапонної системи, матриці шляхів та допоміжної матриці можна зробити висновок, що аквапонна система потребує враховувати вплив окремих елементів підсистеми на ре-

жим роботи всього комплексу, взаємозв'язок між резервуаром з рибою та резервуаром з рослинами, функціонування компонентів, що є складовими частинами обох підсистем і системи керування.

Враховуючи, що 22 та 24 (рис. 2) можуть функціонувати незалежно, саме система керування має компенсувати взаємні збурення та окремі флуктуації.

Висновки

У результаті дослідження було створено графову модель, побудовано структурну схему та матрицю шляхів P з допоміжною матрицею S , що дало змогу провести системний аналіз аквапонної системи як об'єкта керування.

Аналіз дає змогу зробити висновки, що досліджуваній об'єкт є складною системою, яка включає 21 підсистему, комплекс, що включає резервуар з рибою, комплекс, що включає резервуар з рослинами та систему керування. Аналізуючи граф та матриці шляхів, можна реалізувати і практичні аспекти керування, зокрема:

- спростити процес управління та забезпечити кращий контроль над кожною частиною системи;
- проводити аналіз діагностики та виявлення можливих відмов окремо для цих підсистем і комплексу, що допоможе вчасно виявляти проблеми й уникати їх поширення на інші частини системи;
- оптимізувати ресурси для забезпечення оптимального функціонування всього комплексу.

Подальші дослідження аквапоніки передбачають розробку системи керування, що забезпечить оптимальні параметри управління системою та дасть змогу отримати баланс між впливами всіх підсистем на загальний режим функціонування. Системний аналіз аквапонних систем надає можливість визначити основні кроки для забезпечення енергетичної ефективності виробництва: ідентифікація елементів системи, поетапні витрати енергії, оцінка продуктивності, оптимізація, моніторинг систем та управління ними, забезпечення системного підходу.

Література

Ладнюк, А. П., Заєць, Н. А., Власенко, Л. О. (2016). *Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережесві структури, адаптація, діагностика та прогнозування)*: монографія. Київ: видавництво Ліра-К.

Попович, М. Г., Ковальчук, О. В. (2007). *Теорія автоматичного керування*: підручник. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ: Либідь.

Abbasi, R., Martinez, P., Ahmad, R. (2021). An ontology model to support the automated design of aquaponic grow beds. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/352067397_An_ontology_model_to_support_the_automated_design_of_aquaponic_grow_beds.

Bakar, Z. A., Nor, Z., Kadiran, K. A., Misnan, M. F. (2022). Smart Plant Monitoring System Using Aquaponics Production Technological with Arduino Development Environment (IDE) and SMS Alert: A Prototype. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/365840530_Smart_Plant_Monitoring_System_Using_Aquaponics_Production_Technological_with_Arduino_Development_Environment_IDE_and_SMS_Alert_A_Prototype.

Dawa, M., Tibon, M. R., Lausa, S. M. (2022). Internet of things (IoT) based aquaponics management system adaptive to climate change. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/364792727_Internet_of_things_IoT_based_aquaponics_management_system_adaptive_to_climate_change.

- Diestel R. (2005). Graph T., Electronic Edition. NY: Springer-Verlag.
- Güzel, Ş., Parug, Ş. (2013). A Sustainable Production Model: Aquaponic System. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/338604789_A_Sustainable_Production_Model_Aquaponic_System.
- Karimanzira, D., Rauschenbach, T. (2021). An intelligent management system for aquaponics. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/350632213_An_intelligent_management_system_for_aquaponics.
- Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova, S., Yarkov, D. (2022). Aquaponic systems: biological and technological parameters. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/360427130_Aquaponic_systems_biological_and_technological_parameters.
- Ondruska, V., How, B. S., Netolický, M., Masa, V., Teng, S. Y. (2022). Resource optimisation in aquaponics facility via process monitoring and graph-theoretical approach. Взято з: <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2022.04.003>.
- Pattillo, D. A., Cline, D. J., Hager, J. V., Roy, L. A., Hanson, T. R. (2022). Challenges Experienced by Aquaponic Hobbyists, Producers, and Educators. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/366437698_Challenges_Experienced_by_Aquaponic_Hobbyists_Producers_and_Educators.
- Purwalaksana, A. Z., Tambunan, I. H., Hutaauruk, A. R. (2022). Automation and Monitoring for Aquaponic System Based on NodeMcu, Journal of Technical Engineering: Piston Vol. 5/ No. 2, 72—82.
- Sallenave, R. (2016). Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems Взято з: https://pubs.nmsu.edu/_circulars/CR680/.
- Sunardi, A., Suud, F. I., Agus, N. W., Gunawan, I. (2018). IoT Application on Aquaponics System Energy Optimization, The 2nd International Conference on Energy Sciences (ICES), Bandung, Indonesia, *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1772.
- Taha, M. F., El Masry, G., Gouda, M., Zhou, L., Liang, N., Abdalla, A., Rousseau, D., Qiu, Z. (2022). Recent Advances of Smart Systems and Internet of Things (IoT) for Aquaponics Automation: A Comprehensive Overview. Взято з: https://www.researchgate.net/publication/362425402_Recent_Advances_of_Smart_Systems_and_Internet_of_Things_IoT_for_Aquaponics_Automation_A_Comprehensive_Overview.