

Information systems research

УДК 681.518.22

doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.4.07>

І. В. Григоренко, С. І. Кондрашов, С. М. Григоренко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ СЕРЕДОВИЩА ШТУЧНОЇ ЕКОСИСТЕМИ АПАРАТОМ FUZZY-LOGIC

Анотація. В роботі розглянуто вирішення науково-практичної задачі розробки та дослідження системи контролю параметрів середовища штучної екосистеми, створення структурної та принципової електричної схеми системи, складання алгоритму її роботи. Дослідження полягає у статистичній обробці результатів прямих багаторазових вимірювань рівню розчинного кисню, рН, температури у акваріумі штучної екосистеми, аналізі похибок та сумарної стандартної невизначеності результатів вимірювань, побудові системи з нечіткою логікою для визначення впливу параметрів водного середовища на якість води у акваріумі. Система дає можливість вимірювати освітленість до 45000 Лк, температуру повітря у діапазоні від 12 до 42 0С, температуру води у діапазоні від 15 до 28 0С, рівень рН від 5 до 9, рівень розчиненого кисню від 5 до 10 мг/л, має датчик наближення, має змогу вмикати, при необхідності, обігрівача, аерацію води, додаткові джерела світла. Похибка вимірювань по кожному з каналів не перевищує 2,5 %. Необхідність створення системи контролю виникла у зв'язку з тим, що є потреба забезпечення природного розвитку рослин та риб в умовах штучної екосистеми, яка імітує середовище максимально схоже із природним. Для того, щоб екосистема виконувала свої функції потрібен своєчасний контроль вказаних параметрів та швидка реакція на вихід параметрів за критичні значення. Ця задача може бути виконана тільки завдяки створенню системи контролю.

Ключові слова: екосистема; вимірювання; похибка; невизначеність; нечітка логіка.

Вступ

Для того щоб наблизити людей до живої природи екзотичних країн Світу, можна створювати куточки живої природи у школі, на підприємстві, установі. Штучна екосистема, що є наочним і різнобічним прикладом тваринного й рослинного миру, допоможе учням у формуванні нової культури взаємин із природою, навколишнім середовищем, а робітникам дають змогу морально відпочити спостерігаючи за живою природою. Такий відпочинок плідна впливає на відновлення працездатності людей.

Штучна екосистема допомагає прилучити дітей з талантом до науково-дослідної роботи, до проектування проектів, виконанню робіт пов'язаних із творчістю. Доглядаючи за рослинами, учні пізнають не тільки їхньої особливості будови, але й вчать правильно доглядати за ними. Для допомоги школярам у підтримці куточку живої природи у гарному стані потрібна автоматизована система контролю основних параметрів мікроклімату.

Впровадження такої системи дозволить підтримувати життєдіяльність рослин та риб, забезпечувати комфортні умови їх проживання, а також можливість своєчасно реагувати на виходи параметрів, що контролюються за межі критичних діапазонів.

З метою визначення впливу параметрів водного середовища на якість води в акваріумі штучної екосистеми запропоновано побудувати евристичний аналізатор за допомогою інтерфейсу користувача системи fuzzy-logic, який є додатком програми MatLab.

Для визначення класу точності вимірювальних каналів штучної екосистеми поставлена задача статистичної обробки результатів прямих багаторазових вимірювань по трьом каналам: рівня розчинного

кисню, рівня рН та температури води. Проводиться оцінювання сумарної стандартної невизначеності результатів вимірювань.

Аналіз основних досліджень і публікацій. У роботі [1] проведено розробку системи контролю параметрів середовища у акваріумі, що призначена для контролю рівня рН, вмісту розчиненого кисню у воді, а також температури води в акваріумі, розроблено структурну схему системи контролю параметрів середовища в акваріумі на базі Arduino nano 3.0. Однак, штучна екосистема складається не тільки з акваріума, але й з ділянки суші, на якій ростуть рослини. Залишається не вирішеним питання контролю та стеження за мікрокліматом усєї екосистеми. Визначення оптимальних параметрів середовища для життєдіяльності риб та рослин також є не вирішеним та актуальним завданням. У роботі [2] запропоновано структурну схему системи контролю параметрів середовища у шкільному живому куточку на базі Arduino nano 3.0.

Використання нечіткої логіки для аналізу та дослідження технологічних процесів розглянуто у роботах провідних світових вчених [3 – 5]. У роботах [6, 7] запропоновано використання нечіткої логіки для контролю якості товарів та послуг. Використаємо також систему fuzzy-logic для визначення впливу параметрів водного середовища на якість води у акваріумі, що є частиною штучної екосистеми.

Основний матеріал

На рис. 1 представлено варіант побудови структурної схеми системи контролю параметрів мікроклімату штучної екосистеми.

Системи контролю параметрів контролю параметрів середовища штучної екосистеми на базі Arduino nano 3.0 [8] має три канали вимірювання

параметрів середовища у акваріумі. Перший канал вимірює рівень рН води. Другий канал вимірює температуру води. Третій канал – рівень розчиненого кисню. Для вимірювання параметрів повітряного середовища використовуються наступні канали: канал вимірювання рівню освітленості, канал вимірювання температури повітря та канал визначення наближення до екосистеми спостерігачів.

До складу структурної схеми входять такі блоки: ПВП1 – датчик вимірювання рівня рН, ПВП2 – датчик вимірювання температури, ПВП3 – датчик вимірювання розчиненого кисню у воді, ПВП4 – ПВП6 датчики вимірювання рівня освітленості, температури повітря, наближення до екосистеми. ЦВП – цифровий відліковий пристрій використовується для представлення інформації оператору. Arduino nano 3.0. працює завдяки інтегрованому програмному середовищу (IDE), що дає змогу писати, компілювати програми, а також дає змогу завантажувати їх в апаратуру.

Система життєзабезпечення складається із нагрівача і аератора води, а також системи освітлення приміщення. Блок реле призначений для вмикання / вимикання нагрівача та аератора води і системи освітлення приміщення. Блок живлення – допоміжний пристрій, що забезпечує живлення усіх компонентів вимірювача. Arduino nano 3.0. здатний передавати данні по параметрам, що контролюються до персональної електронно-обчислювальної машини по USB Mini – B [2, 8].

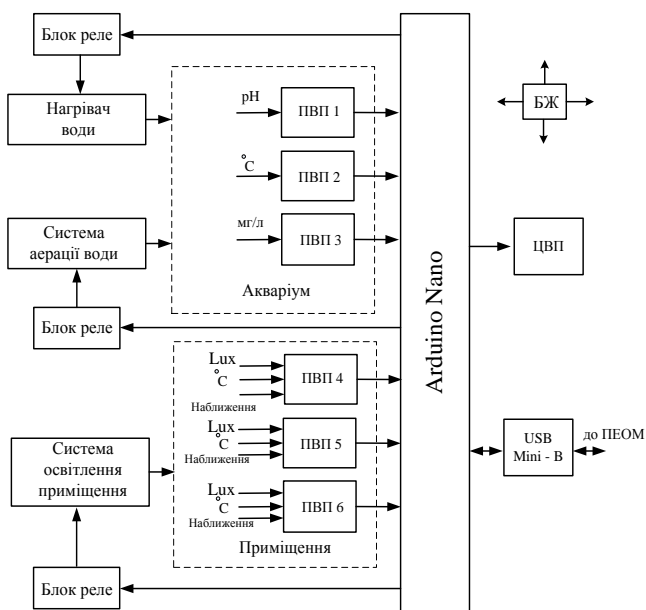


Рис. 1. Структурна схема системи контролю

Принципова електрична схема системи контролю параметрів середовища штучної екосистеми наведена на рис. 2.

Датчики контролю параметрів середовища у приміщенні, а саме – рівня освітленості приміщення, температури повітря, наближення представлені мікросхемами DD1 – DD3 (MAX44005EDT). Датчики рівню рН CPS31D, рівню розчиненого кисню COS41, температури у акваріумі ТЕМП-01 підключаються до роз’єднувача X2, X3, X4 відповідно. Живлення до

схеми надходить через роз’єднувач X5. Вихідні сигнали у вигляді напруги з датчика рівню розчиненого кисню у аналоговій формі надходить на шину Arduino Nano 3.0 (DD4). DD4 має у своєму складі мікроконтролер АТmega328 з убудованим 8-канальним 10-розрядним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП).

Сигнали з датчиків рівню рН, температури води ТЕМП-01 та датчиків DD1 – DD3 надходять до Arduino Nano 3.0 (DD4) у вигляді коду.

Arduino Nano 3.0 (DD3) здійснює обробку результату вимірювання і передає готовий результат вимірювання на ЦВП HD44780 (HG1).

Транзистори VT1, VT2 та VT3 необхідні для управління роботою реле SSR-25DA.

Для того, щоб визначити сумарну стандартну невизначеність результатів вимірювань параметрів водного середовища штучної екосистеми було проведено обробку результатів прямих багаторазових вимірювань з датчиків контролю рівня розчинного кисню, рівня рН води та температури. Для перевірки гіпотези про закон розподілу результатів вимірювань було використано складений критерій. Результати спостережень уважаються незалежними й рівноточними (за умовами експерименту). У загальному випадку вони можуть містити систематичні й випадкову складові похибки вимірів. Зазначимо довірчу ймовірність $P = 0,95$ (або рівень значимості $\alpha = 0,05$) результатів вимірів.

На рис. 3- 5 представлено результати спостережень за зміною рівня розчинного кисню, рівня рН води та температури відповідно. У всіх трьох випадках підтверджено гіпотезу про нормальність закону розподілу результатів вимірювань.

Оскільки за умовами експерименту довірча ймовірність $P = 0,95$, то використаємо для визначення границі довірчого інтервалу формулу

$$\Delta_d = \pm 2\hat{\sigma}_\Delta, \tag{1}$$

де $\hat{\sigma}_\Delta$ – незміщена оцінка середньоквадратичного відхилення результатів спостережень.

У такому випадку проведемо розрахунки границі довірчого інтервалу випадкових похибок, що отримані при вимірювання рівню розчинного кисню, рН та температури у акваріумі штучної екосистеми.

Виконаємо розрахунок відносної похибки вимірювання по кожному з каналів за формулою

$$\delta_X = \pm \frac{\Delta_X}{\bar{X}} \cdot 100\%; \tag{2}$$

$$\delta_O = \pm \frac{\Delta_O}{\bar{O}} \cdot 100\% = \pm \frac{0,15}{8,13} \cdot 100\% = 1,8\%;$$

$$\delta_{pH} = \pm \frac{\Delta_{pH}}{\bar{pH}} \cdot 100\% = \pm \frac{0,19}{7,42} \cdot 100\% = 2,5\% .;$$

$$\delta_t = \pm \frac{\Delta_t}{\bar{t}} \cdot 100\% = \pm \frac{0,4}{24,8} \cdot 100\% = 1,6\% .$$

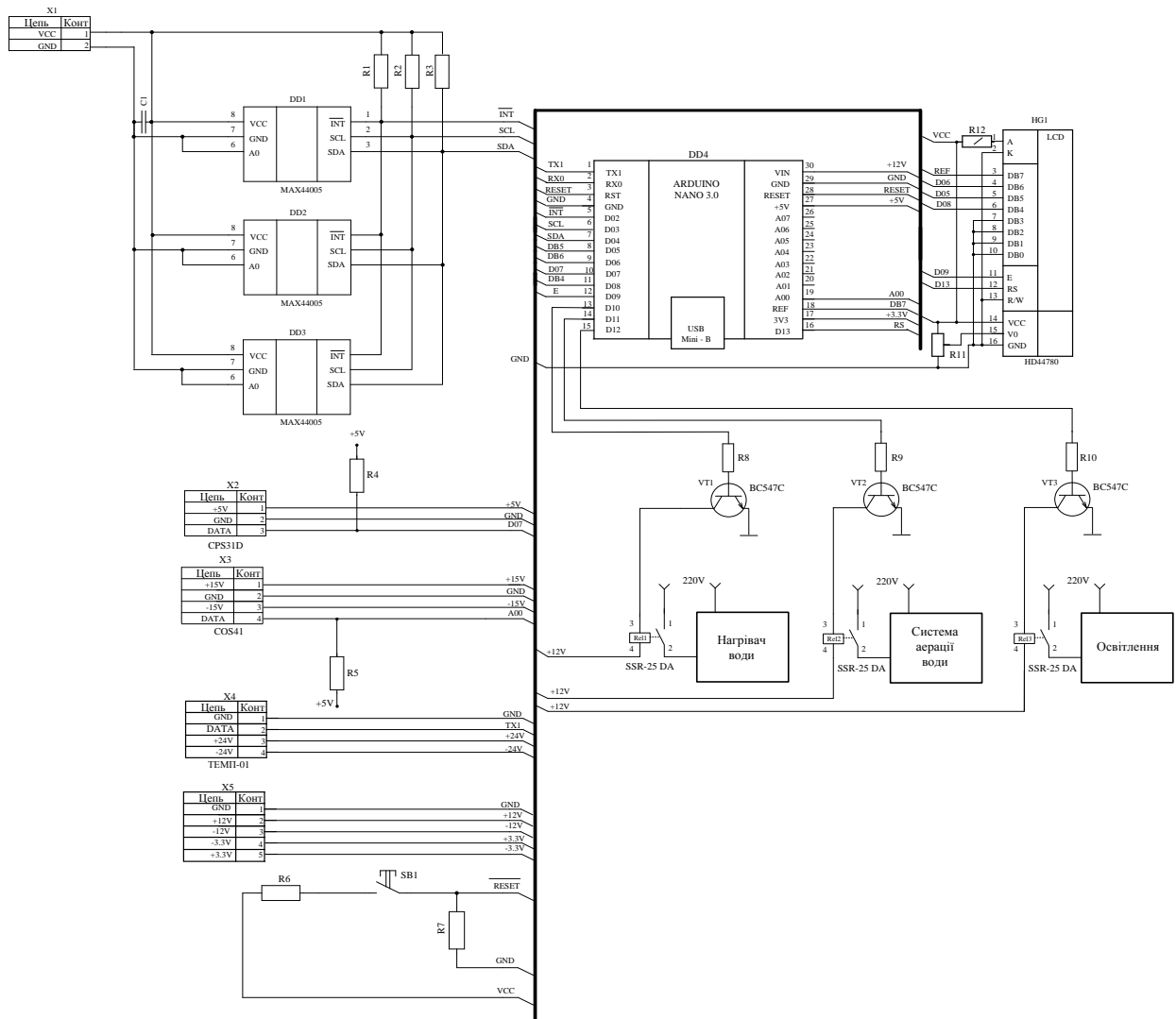


Рис. 2. Схема електрична принципова системи контролю

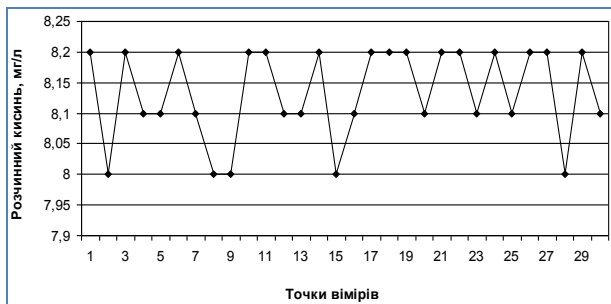


Рис. 3. Результати спостережень за зміною рівня розчинного кисню

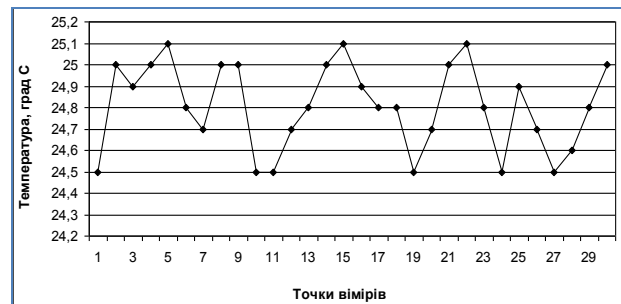


Рис. 5. Результати спостережень за зміною температури

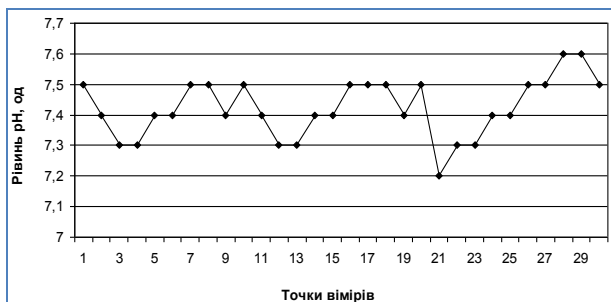


Рис. 4. Результати спостережень за зміною рівня pH води

Згідно з (1) напишемо формули для визначення границі довірчого інтервалу випадкових похибок

$$\Delta O = \pm 2\hat{\sigma}_O = \pm 2 \cdot 0,076 = \pm 0,15 \text{ мг/л};$$

$$\Delta pH = \pm 2\hat{\sigma}_{pH} = \pm 2 \cdot 0,096 = \pm 0,19 \text{ од. pH};$$

$$\Delta t = \pm 2\hat{\sigma}_t = \pm 2 \cdot 0,2 = \pm 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таким чином, жодна з відносних похибок по каналам вимірювання не перевищує встановлену у технічному завданні 2,5%.

Стандартна невизначеність вимірювань типу А вхідної величини x_i розраховується за формулою [9, 10]:

$$u_A(\bar{x}_i) = \sqrt{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2 / (n_i(n_i - 1))}, \quad (3)$$

де n_i – кількість спостережень проведених при вимірюванні x_i .

Стандартна невизначеність вимірювань типу А вхідних величин – рівень розчинного кисню, рівень рН води, температура води за формулою (3)

$$u_A(\bar{O}_i) = 0,014 \text{ мг/л.}$$

$$u_A(p\bar{H}_i) = 0,018 \text{ од рН.}$$

$$u_A(\bar{t}_i) = 0,037 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Стандартна невизначеність типу В при нормальному законі розподілу оцінюється за формулою [9, 10]:

$$u_B(x) = \frac{b-a}{6}, \quad (4)$$

де a і b – ліва та права межі розподілу відповідно.

Стандартна невизначеність вимірювань типу В вхідних величин – рівень розчинного кисню, рівень рН води, температура води за формулою (4)

$$u_B(O) = 0,025 \text{ мг/л.}$$

$$u_B(pH) = 0,032 \text{ од рН.}$$

$$u_B(t) = 0,067 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Сумарна стандартна невизначеність вихідної величини у матиме такий вигляд [9,10]

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)}. \quad (5)$$

Виконаємо розрахунок по кожному з вимірювальних каналів:

$$u_c(O) = \sqrt{(u_A(\bar{O}_i))^2 + (u_B(O))^2} = 0,28 \text{ мг/л;}$$

$$u_c(pH) = \sqrt{(u_A(p\bar{H}_i))^2 + (u_B(pH))^2} = 0,039 \text{ од рН;}$$

$$u_c(t) = \sqrt{(u_A(\bar{t}_i))^2 + (u_B(t))^2} = 0,08 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Для побудови евристичного аналізатора використаємо інтерфейс системи fuzzy-logic, що є додатком програми MatLab. У моделі створюємо три входи і один вихід. У якості першого входу обираємо показник – рівень розчинного кисню. У якості другого входу – рівень рН води. Третій вхід це температура води у акваріу-

мі. У якості вихідної величини обираємо якість води у акваріумі (максимально придатна для риб та рослин) (рис. 6).

Задаємо функції належності для обраної вхідних змінних. Для рівня розчинного кисню встановимо діапазон у якому змінюється функція (від 5 до 10 мг/л). Задаємо тип функції належності та визначений розподіл Гауса для трьох вхідних величин. Для рівень рН води встановимо діапазон від 5 до 9 од. рН. Для температура води встановимо діапазон від 15 до 25 $^\circ\text{C}$. Задаємо функцію належності для обраної вихідної змінної – якість води. Діапазон у якому змінюється функція «Якість» встановлюємо від 1 до 10 відносних одиниць. Для змінної «Якість» обираємо трикутний закон розподілу. Задаємо правила, за якими буде діяти модель.

Якість характеризується такими параметрами як рівень розчинного кисню, рівень рН та температура води. У вікні «правила» складемо правила, які характеризують якість.

Наприклад, якщо рівень розчинного кисню «min», рівень рН «min», та температура «min», то якість води «погана».

Поверхні відгуку при трьох можливих сполученнях параметрів, що впливають на якість води зображені на рис. 7.

При виборі методу або комплексу методів НК конкретних деталей або вузлів необхідно враховувати наступні основні чинники: характер (вид) дефекту і його розташування, чутливість методу контролю, умови роботи деталей і ТУ на виріб, матеріал деталі, стан і шорсткість поверхні, форму і розмір деталі, стан і шорсткість поверхні, форму і розмір деталі, зони контролю, доступність деталі і зони контролю, умови контролю [1 –3].

Висновки

1. У роботі представлено структурну та електричну принципову схеми системи контролю параметрів середовища штучної екосистеми.

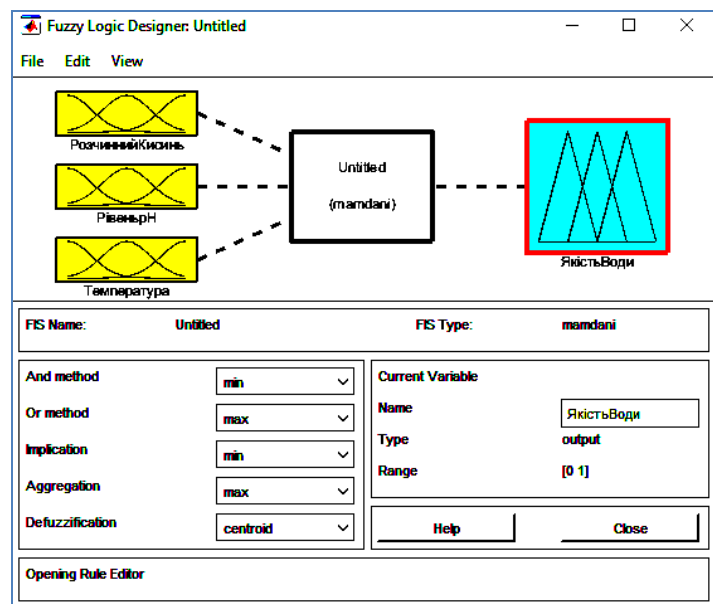


Рис. 6. Визначення вхідних та вихідних параметрів

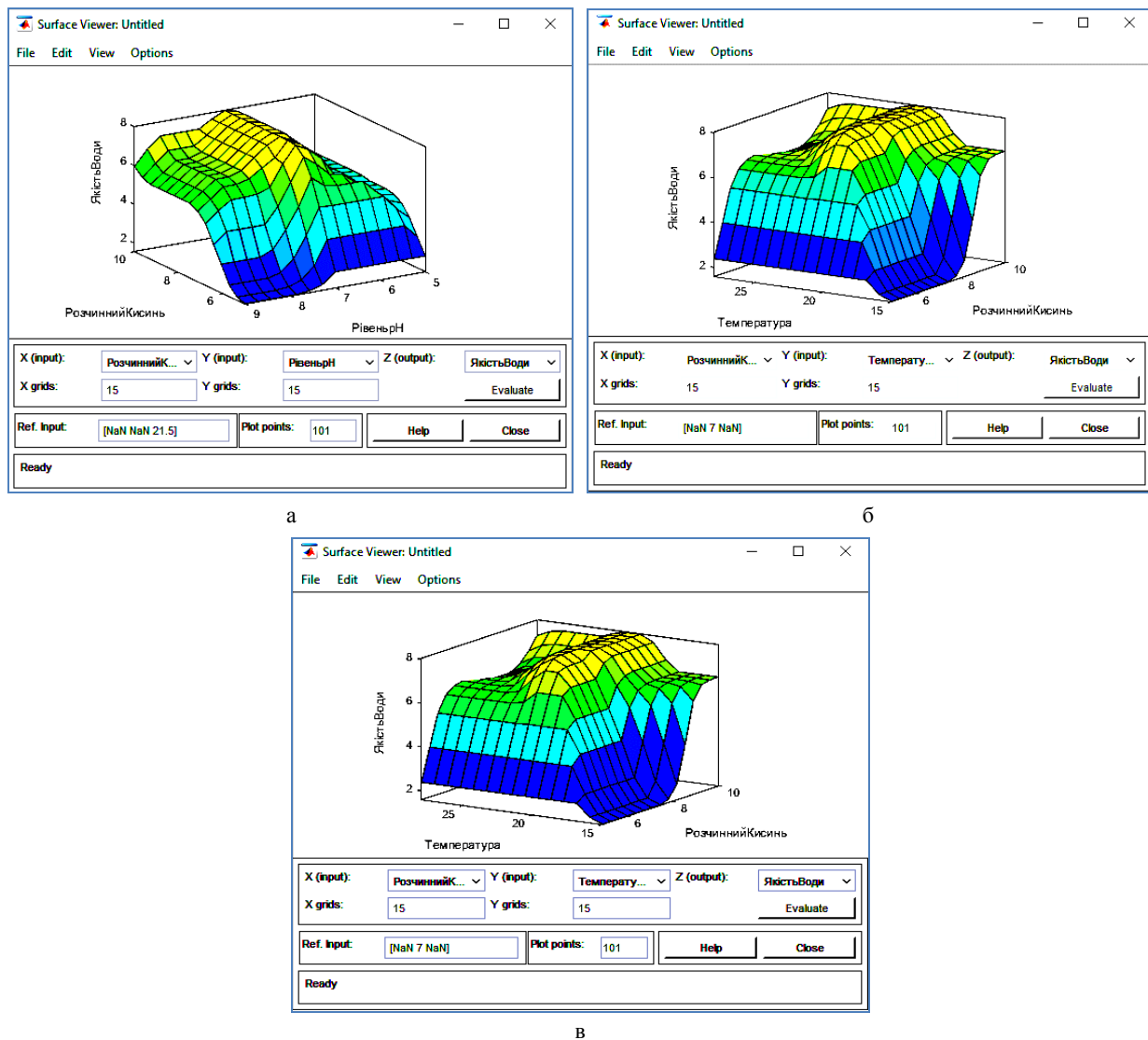


Рис. 7. Поверхні відгуку при трьох можливих сполученнях параметрів

2. На підставі даних, отриманих із результатів натурних вимірювань параметрів водного середовища штучної екосистеми вдалося провести розрахунки стандартних невизначеностей по типам А та В, та сумарної стандартної невизначеності. Отримані значення невизначеності задовольняють умовам технічного завдання.

3. Побудовано систему з нечіткою логікою, яка надала можливість встановити який саме вплив на

якість води штучної екосистеми оказують рівень розчинного кисню, рівень рН та температура. Встановлено, що підтримка параметрів технологічного процесу у середині робочого діапазону дає можливість отримати найвищу якість води штучної екосистеми.

Оптимальна якість води буде коли рівень розчинного кисню дорівнює 8,13 мг/л, рівень рН – 7,42 %, температура – 24,8 °С.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ (REFERENCES)

1. Григоренко І. В. Розробка системи контролю параметрів середовища в акваріумі [Development of a system for monitoring the parameters of the environment in the aquarium]. *Метрологія та прилади* [Metrologiya ta priladi]. Харків, 2019. №1 (75). С. 66-71.
2. Григоренко І. В. Системи контролю параметрів середовища у шкільному живому куточку [Control systems of environment parameters in school living space]. *XXVIII Міжнар. наук. – практ. конф.: Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*. Том 2. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. С. 12.
3. Zadeh L. A. Fuzzy logic – computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 1996. Vol. 4, Issue 2. P. 103-111.
4. Larsen H.L., Yager R.R. A framework for fuzzy recognition technology. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. Part C (Applications and Reviews). 2000. Vol. 30, Issue 1. P. 65-76.
5. Sankar Ganesh S., Bhargav Reddy N., Arulmozhivarman P. Forecasting air quality index based on Mamdani fuzzy inference system. *2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI)*, 11–12 May 2017, Tirunelveli, India.
6. Ціделко В. Інформаційні технології на базі нечіткої логіки (FUZZY LOGIC) [Information technologies based on fuzzy logic (FUZZY LOGIC)]. *Вимрювальна техніка та метрологія*: 36. наук. праць НУ «Львівська політехніка». Львів, 2001. № 58. С. 3–15.

7. Hrihorenko I. Application of user interface Fuzzy Logic Toolbox for quality control of products and services. *Сучасні інформаційні системи [Advanced information system]*. Vol. 3, No. 4. P. 118–125. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.18>
8. Arduino Nano 3.0. URL: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>.
9. ДСТУ ISO/TS 21749:2013 (ISO/TS 21749:2005, IDT) Національний стандарт України. Невизначеність вимірювання в метрологічній практиці. Повторні вимірювання та ієрархічні експерименти. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=62233
10. Захаров И. П. Неопределённость измерений для чайников и начальников [Measurement uncertainty for dummies and bosses]: учеб. Пособие. Харьков, 2015. 52 с.

Received (Надійшла) 27.08.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.10.2021

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

- Григоренко Ігор Володимирович** – кандидат технічних наук, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;
Ihor Hryhorenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Department of Information and Measuring Technologies and Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;
 e-mail: grigmaestro@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4905-3053>.
- Кондрашов Сергій Іванович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;
Serhii Kondrashov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information and Measuring Technologies and Systems National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» Kharkiv, Ukraine;
 e-mail: Serhii.Kondrashov@khp.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5191-8562>
- Григоренко Світлана Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю і діагностики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна;
Svitlana Hryhorenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Department of Computer and Radio-Electronic Control Systems and Diagnostics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;
 e-mail: sngloba@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5375-9534>.

Разработка и исследование системы контроля параметров среды искусственной экосистемы аппаратом fuzzy-logic

И. В. Григоренко, С. И. Кондрашов, С. Н. Григоренко

Аннотация. В работе рассмотрено решение научно-практической задачи разработки и исследования системы контроля параметров среды искусственной экосистемы, создание структурной и принципиальной электрической схемы системы, составление алгоритма ее работы. Исследования заключается в статистической обработке результатов прямых многократных измерений уровня растворенного кислорода, pH, температуры в аквариуме искусственной экосистемы, анализе погрешностей и суммарной стандартной неопределенности результатов измерений, построении системы с нечеткой логикой для определения влияния параметров водной среды на качество воды в аквариуме. Система даёт возможность измерять освещенность до 45000 Лк, температуру воздуха в диапазоне от 12 до 42 0С, температуру воды в диапазоне от 15 до 28 0С, уровень pH от 5 до 9, уровень растворенного кислорода от 5 до 10 мг / л, имеет датчик приближения и возможность включать, при необходимости, обогрев, аэрацию воды, дополнительные источники света. Погрешность измерений по каждому из каналов не превышает 2,5%.

Ключевые слова: экосистема, измерения, погрешность, неопределённость, контроль, нечёткая логика.

Development and research of the parameters control system of the artificial ecosystem environment by the fuzzy-logic system

Ihor Hryhorenko, Serhii Kondrashov, Svitlana Hryhorenko

Abstract. The paper considers the solution of scientific and practical problem of development and research of control system of parameters of environment of artificial ecosystem, creation of structural and basic electric scheme of system, drawing up of algorithm of its work. The study consists of statistical processing of the results of direct repeated measurements of soluble oxygen level, pH, temperature in the aquarium of the artificial ecosystem, analysis of errors and total standard uncertainty of measurement results, construction of a system with fuzzy logic to determine the impact of aquatic parameters on aquarium water quality. The system makes it possible to measure illuminance up to 45,000 lux, air temperature in the range from 12 to 42 0C, water temperature in the range from 15 to 28 0C, pH level from 5 to 9, dissolved oxygen level from 5 to 10 mg / l, has a proximity sensor, has the ability to turn on, if necessary, heating, water aeration, additional light sources. The measurement error on each of the channels does not exceed 2.5%. The need to create a control system arose due to the fact that there is a need to ensure the natural development of plants and fish in an artificial ecosystem that mimics the environment as close as possible to the natural one. In order for the ecosystem to perform its functions, it is necessary to timely control these parameters and respond quickly to the parameters exceeding the critical values. This task can be accomplished only by creating a control system. In order to bring people closer to the wildlife of exotic countries of the world, you can create corners of wildlife at school, enterprise, institution. An artificial ecosystem, which is a clear and versatile example of wildlife, will help students in the formation of a new culture of relationships with nature, the environment, and allow workers to relax morally by observing wildlife. Such a fruitful rest affects the recovery of people. The artificial ecosystem helps to involve children with talent in research work, in designing projects, performing works related to creativity.

Keywords: ecosystem, measurements, error, uncertainty, fuzzy logic.