

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТУ В ЕКСПОЗИЦІЙНИХ МОДУЛЯХ КИЇВСЬКОГО ЗООПАРКУ

Валерій Здоренко, Dr.Sc., проф, Басалюк М.О., PhD Student

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.

Мороз-Пархоменко О. Ю.

Київський зоологічний парк загальнодержавного значення

e-mail: m.basaliuk@gmail.com

e-mail: alzd123@meta.ua

e-mail: oksmoroz.kiev.zoo@gmail.com

Анотація

Ця робота присвячена розробці єдиної системи контролю параметрів мікроклімату в тераріумах Київського зоопарку. У співробітництві з представниками зоопарку було ознайомлено та проаналізовано наявні методи та прилади штучного створення мікроклімату в експозиційних модулях. Розглянуто проблематику цього процесу, визначені основні параметри умов утримання тварин, такі як температура повітря або води, вологість, освітленість та рівень ультрафіолетового випромінювання. Для проведення експериментальних дослідів було обрано 6 експозиційних модулів. За результатами дослідження та ознайомлення було розроблено структурну схему інформаційно-вимірювальної системи контролю мікроклімату для першого модуля, названо принцип роботи системи та її функціонал. Були обрані необхідні сенсори, задовольняючі поставлені задачі, а також названі необхідні виконавчі прилади для даного експозиційного модуля. В заключенні було названо сильні та слабкі сторони даної системи.

Ключові слова

Інформаційно-вимірювальна система, мікроклімат, температура, вологість, рівень ультрафіолетового випромінювання, тераріум, експериментальний експозиційний модуль.

1. Вступ

Засновником та власником Київського зоопарку є територіальна громада міста Києва, від імені якої виступає Київська міська рада. Зоопарк створено 21 березня 1909 року Київським товариством любителів природи з метою формування експозиції рідкісних, екзотичних та місцевих тварин, збереження їх генофонду, вивчення дикої фауни і розроблення наукових основ розведення її представників у штучно створених умовах, організації екологічної та освітньо-виховної роботи. Постановою Ради Міністрів УРСР від 22 липня 1983 року № 311 "Про класифікацію і мережу територій та об'єктів природно-заповідного фонду Української РСР" зоопарк віднесено до складу об'єктів природно-заповідного фонду загальнодержавного значення [1].

На території зоопарку виділяють такі зони: експозиційна - призначена для стаціонарного утримання тварин і використання їх у культурно-пізнавальних цілях; наукова - призначена для проведення науково-дослідної роботи і відвідування цієї зони дозволяється в порядку, встановленому адміністрацією зоопарку; рекреаційна - призначена для організації відпочинку та обслуговування відвідувачів зоопарку; господарська - призначена для розміщення допоміжних господарських об'єктів [2].

Головне призначення зоопарку – збереження біорізноманіття диких тварин. В тому числі і таких примхливих до умов існування як рептилії та земноводні. Для цих тварин необхідно створювати свої окремі тераріуми, в яких підтримується певний мікроклімат, притаманний до регіону проживання цих тварин у природі [4]. Тому вдосконалення методів керування параметрами температури, вологості та ультрафіолетового (УФ) випромінювання в тераріумах є нагальною необхідністю. Розробка інформаційно-вимірювальних систем з метою організації контролю оптимального рівня параметрів середовища (температури, вологості та УФ випромінювання) для стаціонарного утримання тварин є потребою для комплексного керування приладами у місцях утримання тварин в неволі, що дозволить підвищити їх фізичне та психічне благополуччя [3].

2. Недоліки

Важливим аспектом створення мікроклімату в тераріумах є постійна підтримка його параметрів на оптимальних рівнях, до яких зазвичай входять температура, вологість, освітленість, рівень ультрафіолетового

випромінювання. Для ефективної роботи та здорового життя тварини необхідно постійно слідкувати за правильною роботою приладів у тераріумі, які забезпечують створення мікроклімату, а також їх регулювання в залежності від зміни часу та стану середовища, в середині та зовні.

3. Мета

Метою цієї статті є розробка автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи, яка би виконувала функції моніторингу та контролю параметрів мікроклімату у тераріумі на належному рівні та з необхідною точністю, без постійного прямого втручання людини.

4. Огляд експозиційного модуля та постановка проблематики

Під час ознайомлення з існуючими приладами, які здійснюють контроль параметрів середовища в експозиційних модулях павільйону «Острів звірів» Київського зоопарку було визначено 6 експериментальних експозиційних модулів (ЕЕМ) (рис. 1).

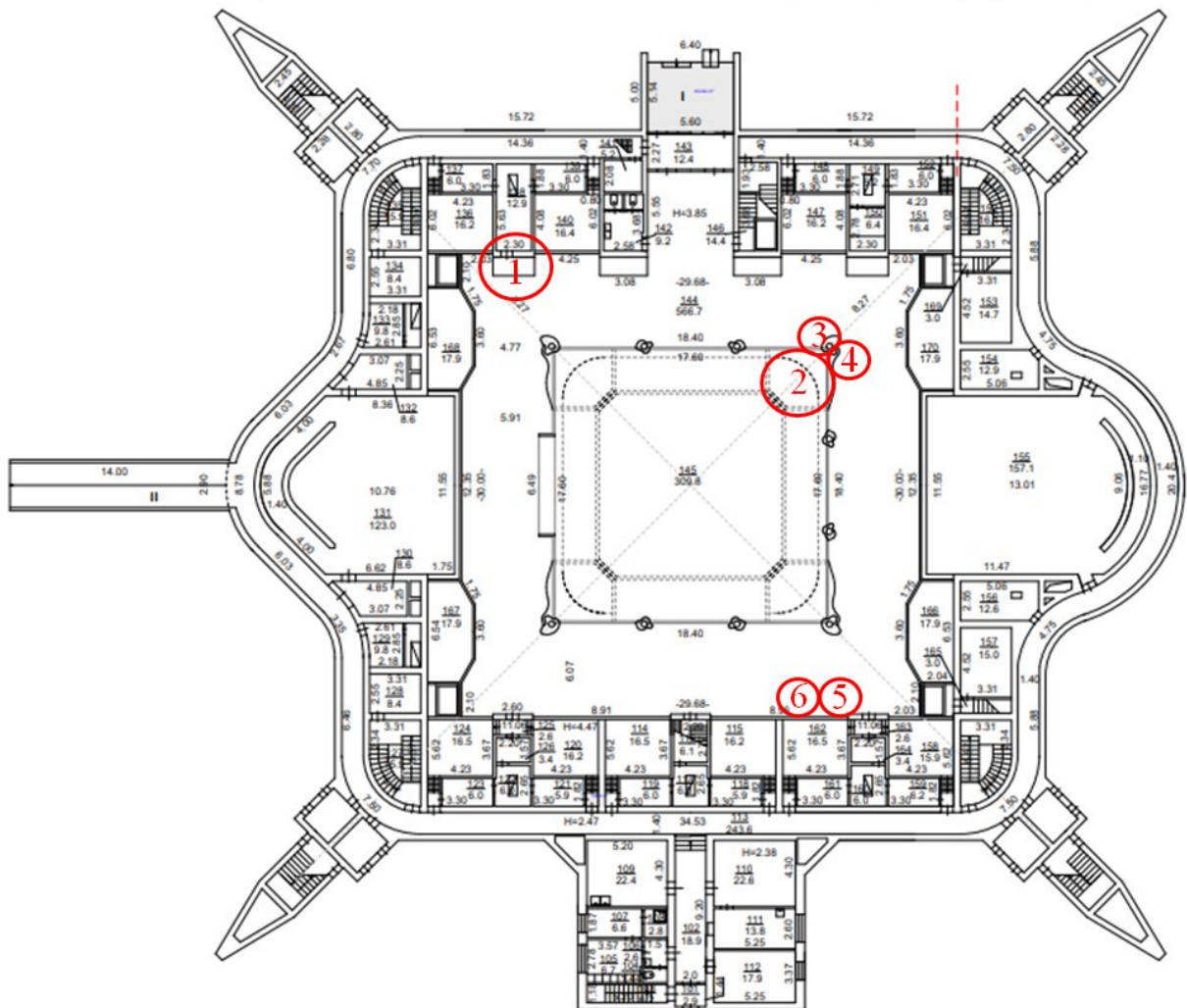


Рисунок 1 – Розташування ЕЕМ (№№1 – 6) у павільйоні «Острів звірів»

- 1 - ЕЕМ 1 Агама водяна та риби ктенопоми;
- 2 - ЕЕМ 2 Крилан нільський;
- 3 - ЕЕМ 3 Скорпіон імператорський;
- 4 - ЕЕМ 4 Павук голубий;
- 5 - ЕЕМ 5 Хамелеон єменський;
- 6 - ЕЕМ 6 Гекон Бойвіна.

Для розробки інформаційно-вимірювальної системи було обрано перший експозиційний модуль (ЕЕМ 1), в якому утримуються разом агама водяна та риби ктенопоми (рис. 2). Агама водяна веде напівдеревний - напівводний спосіб життя, активна вдень. Добре плаває, у разі небезпеки стрибає або просто падає з гілок у воду, при необхідності може пірнати та залишатися під водою до 20 хв. Харчується комахами та дрібними хребтними. У неволі поїдають також фруктово-овочеві суміші [5]. Риби ктенопоми мешкають в прісній повільно текучій воді з помірною фільтрацією.



Рисунок 2 – Загальний вигляд першого експериментального експозиційного модуля (ЕЕМ 1) «Агама водяна та риби ктенопоми»

Для першого експериментального модуля визначені оптимуми основних параметрів середовища при спільному експонуванні агами водяної та риби ктенопоми (ЕЕМ 1), а саме:

- Оптимуми температури: агама водяна – 28-30°C день / 22-24°C ніч; риба ктенопома – 24-28°C;
- Оптимуми вологості повітря: агама водяна – 80-90%;
- Світлове випромінювання: оптимуми для живих рослин модуля – 5000-6500 К, 400-600 нм; оптимуми для тварин модуля – 4000-6500 К, 280-320 нм;
- Оптимальний повітрообмін: для тераріуму з рептиліями об'ємом повітря 5,15 м³ оптимальний повітрообмін складає 15,45 м³/год.

5. Математична модель

Як об'єкт контролю та керування параметрами мікроклімату у тераріумі має просторово розподілені параметри, оскільки вологість $\varphi = \varphi(t, x, y, z)$ і температура $T = T(t, x, y, z)$ внутрішнього повітряного середовища залежить не тільки від часу t , а й від просторових координат x, y, z точки, в яких вони вимірюються.

Розроблено математичну модель, яка описує динаміку зміни температури повітря в тераріумі від керуючих впливів. Зазначена модель представлена у вигляді диференціального рівняння та передавальної функції. При розробці даної моделі розглядався тераріум, що обігрівається за допомогою двох обігрівачів, розташованих у його торцях (рис. 3).

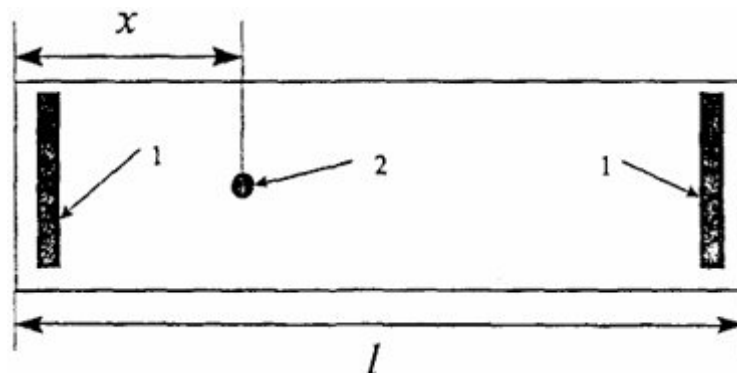


Рисунок 3. Система обігріву тераріуму. 1 – обігрівач; 2 – датчик температури.

Температура повітря у тераріумі $T(x, t)$ задовольняє рівняння теплопровідності

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + f_T(x, t),$$

де a – коефіцієнт температуропровідності повітря з урахуванням конвекції; $f_T(x,t)$ щільність температурних джерел у точці з координатою x на момент часу t .

Рівняння (1) вирішується за наступних граничних умов:

$$T(0,t) = T(l,t) = q(t), \quad (2)$$

де $q(t)$ – керуючий вплив, а l – довжина тераріуму.

З урахуванням рівностей (1), (2) для передавальної функції каналу управління температурою $T(x,t)$ було отримано такий аналітичний вираз:

$$W_{qT}(\chi, p) = \frac{e^{\chi\sqrt{p}} - e^{-\chi\sqrt{p}} + e^{(1-\chi)\sqrt{p}} - e^{-(1-\chi)\sqrt{p}}}{e^{\sqrt{p}} - e^{-\sqrt{p}}}, \quad (3)$$

де p – безрозмірна комплексна змінна; $\chi = x/l$.

На підставі отриманої моделі (3) розроблено метод визначення оптимального розташування та мінімальної кількості сенсорів температури повітря в тераріумі.

Описуваний метод розроблений виходячи з наступних міркувань. Нехай $T_{зд}$ – сигнал завдання температури у тераріумі, тоді завдання управління полем температур $T(t, x, y, z)$ сформулюємо у вигляді наступної вимоги:

$$\max |T_{зд} - T(t, x, y, z)| = \min, \quad (4)$$

де x, y, z просторові координати точки тераріуму, де виконується вимога (4); t – час.

У цьому дослідженні будемо розглядати найпростішу одно зв'язкову систему керування з одним регулятором температури, параметри налаштування якого визначимо таким чином, щоб виконувалася вимога

$$|T_{зд} - T(t, x_\mu, y_\mu, z_\mu)| = \min, \quad (5)$$

причому координати x_μ, y_μ, z_μ вибираються так, щоб забезпечити виконання вимоги

$$|T_{зд} - T(t, x_\mu, y_\mu, z_\mu)| = \max |T_{зд} - T(t, x, y, z)|. \quad (6)$$

Отже, на підставі вимоги (6) визначається критична точка з координатами x_μ, y_μ, z_μ , в якій відхилення температури $T(t, x, y, z)$ від заданого значення $T_{зд}$ максимальне. У свою чергу, виконання вимоги (5) дозволяє це відхилення мінімізувати. В результаті забезпечується виконання вимоги (4).

У критичній точці з координатами x_μ, y_μ, z_μ слід розміщувати сенсор температури, оскільки це забезпечує задану якість керування температурою в усьому об'ємі тераріуму.

Дослідження показали, що канал керування температурою повітря в тераріумі $q(t) \rightarrow T(t, x_\mu, y_\mu, z_\mu)$ є найбільш інерційним у порівнянні з іншими каналами керування, і тому для нього виконується умова (6). Отже, при налаштуванні регулятора температури таким чином, щоб виконувалась умова (5), у всіх інших точках тераріуму забезпечується вища якість керування температурою повітря, ніж у критичній точці.

Розроблений метод дозволяє аналізувати залежність динамічних характеристик каналу керування температурою повітря в тераріумі від місця розташування сенсорів контролю температури. Описаний метод дає змогу не лише правильно вибрати місце розміщення датчиків температури повітря, а й мінімізувати їхню кількість без погіршення якості керування температурою. За допомогою запропонованого методу вдалося встановити достатність лише одного сенсора температури в розглянутому випадку контролю і керування температурою повітря в тераріумі. Інформація від датчиків температури, розміщених в інших місцях, буде надлишковою. Встановлено, що динамічні характеристики каналу керування вологістю повітря в тераріумі є аналогічними динамічним характеристикам каналу керування температурою зазначеного повітря. Тому в цій роботі для визначення місця розташування та мінімальної кількості сенсорів вологості повітря застосовано розглянутий вище метод аналізу. На основі зазначеного методу встановлено, що для якісного керування вологістю повітря в досліджуваному тераріумі достатньо одного датчика вологості, місце розташування якого забезпечує найбільшу інерційність каналу керування вологістю повітря в тераріумі.

6. Розробка системи

Рептилії та амфібії є холоднокровними тваринами, тому для нормального функціонування їхнього організму необхідне середовище з температурними градієнтами – окремими теплими та холодними ділянками. Щоб уникнути перегріву чи переохолодження, потрібно постійно вимірювати температуру в обох зонах тераріуму. Крім того, для синтезу вітаміну D3 кожному виду рептилій потрібне ультрафіолетове випромінювання певної довжини хвилі, що забезпечується спеціальною УФ лампою. З часом її випромінювання може знижуватися, хоча це й важко помітити неозброєним оком, тому необхідно регулярно перевіряти її інтенсивність та справність. Відтак виникає потреба у створенні системи, яка б одночасно контролювала температуру та вологість у різних зонах тераріуму, а також рівень УФ випромінювання лампи [6-9].

Згідно цих характеристик параметрів середовища розроблена схема інформаційно-виміральної системи автоматизованого керування приладами в ЕЕМ 1 «Агама водяна та риби ктенопоми» (рис. 4).

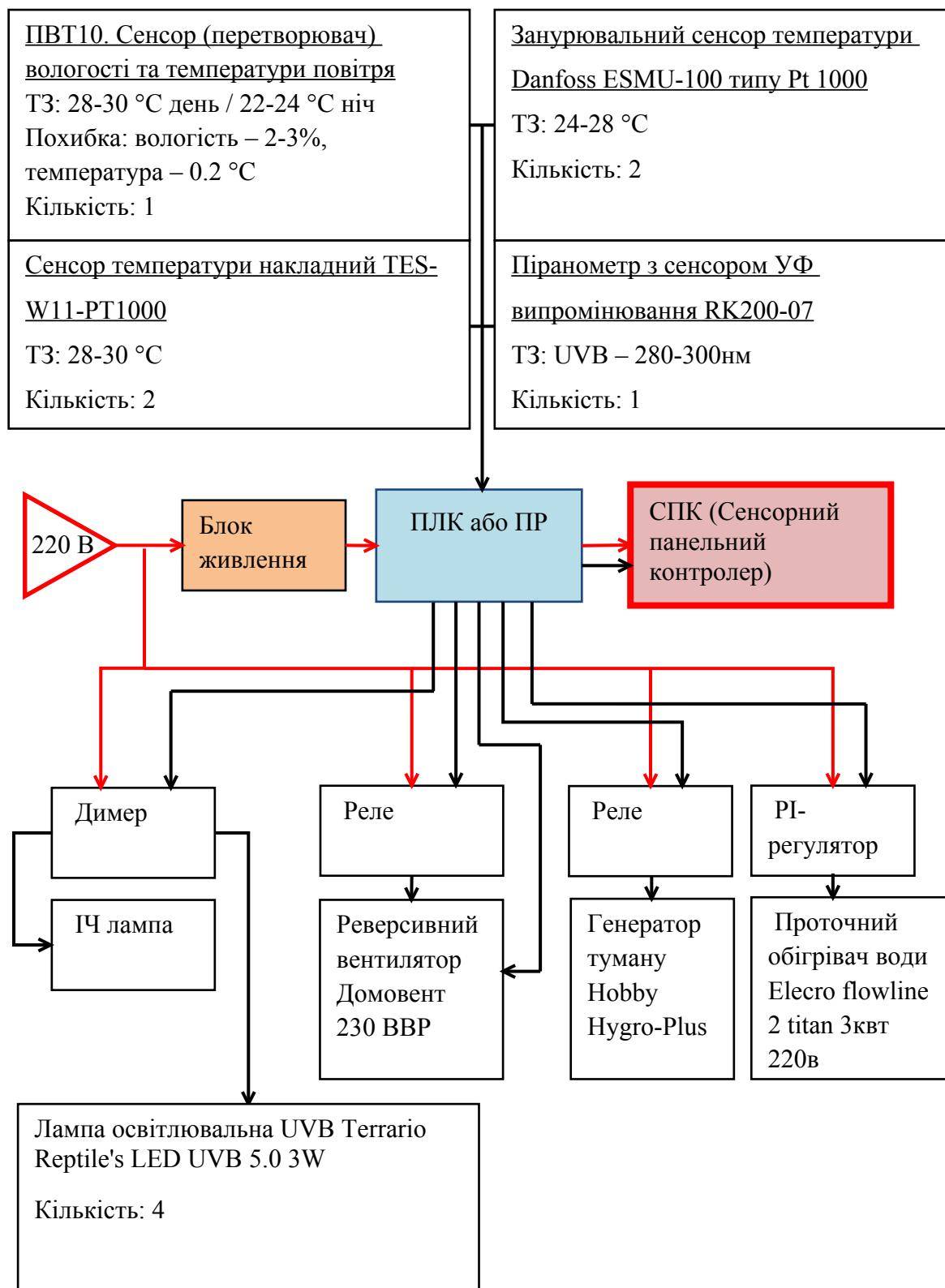


Рисунок 4 – Схема керування приладами в ЕЕМ1 «Агама водяна та риби ктенопоми»

Для контролю температури та вологості повітря використовується сенсор ПВТ10, який перетворює вхідні параметри в два уніфіковані вихідні сигнали струму 4...20 мА або напруги 0...10 В. Для контролю температури поверхні використовується сенсор накладний TES-W11-PT1000. Температура води вимірюється занурюваними сенсорами ESMU-100 від фірми Danfoss. Крім того в системі передбачено контроль за довжиною ультрафіолетової хвилі завдяки сенсору RK200-07 з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 мА.

Шафа контролера є найважливішим елементом системи контролю. У даній шафі розміщений програмований логічний контролер (ПЛК), або по бажанню програмоване реле (ПР). Контролер здійснює управління роботою системи контролю та виведення даних на зовнішні споживачі інформації. Сенсорний панельний контролер (СПК) дозволяє під'єднати до нього одразу декілька контролерів задля виведення інформації про стан мікроклімату в інших тераріумах, що дозволить розширити систему і на інші модулі.

Система контролю працює наступним чином: сигнали з сенсорів, що характеризують величину контролюваного

параметра, надходять на вхідні модулі контролера, де здійснюється їх перетворення та масштабування. З вхідних модулів перетворені сигнали зчитуються контролером для подальшого їхнього логічного аналізу. З зазначеного аналізу контролер видає інформаційні сигнали на вихідні модулі, які в свою чергу задають параметри на виконуючі прилади [10, 11].

Ця система виконує такі функції: контроль та управління виконавчими приладами в тераріумі; збирання, оброблення та подання достовірної оперативної інформації зовнішнім системам; створення архівів даних про історію технологічного процесу та їх подання у зручних для аналізу формах (текст, графіки, гістограми тощо).

В результаті аналізу описуваної системи можна відзначити, що її перевагами є великі можливості зі збирання, аналізу, обробки, оперативного подання та архівації інформації про параметри мікроклімату, а також автоматизований контроль виконавчих приладів всередині тераріуму без постійного втручання співробітників зоопарку.

Недоліками системи є залежність надійної її роботи від великого обсягу вхідної інформації, слабо розвинені можливості адаптації в умовах змін параметрів об'єкта контролю, що не прогнозуються.

7. Висновки

У даній роботі розроблено інформаційно-вимірювальну систему контролю параметрів мікроклімату для експозиційного модуля з агамою водяною та рибами ктенопомами в Київському зоопарку. Система охоплює сенсори температури, вологості та ультрафіолетового випромінювання, а також керуючі пристрої, що забезпечують підтримання оптимальних умов. Запропоновано математичну модель динаміки температурного поля тераріуму, яка дозволила визначити критичні точки для розміщення сенсорів і оптимізувати їхню кількість. Перевагами розробленої системи є висока точність вимірювань, автоматизація процесу контролю, можливість архівування даних і масштабованість на інші модулі. Недоліками є залежність від якості вхідної інформації та обмежені можливості адаптації при різких змінах зовнішніх умов. У цілому, система може суттєво покращити умови утримання тварин та знизити навантаження на персонал зоопарку.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що фінансових чи інших потенційних конфліктів щодо цієї роботи немає.

Список літератури

- [1] В. В. Ковалинський, Історія Київського зоопарку, 2009.
- [2] М. Шквиря, К. Трантін, ред., Київський зоопарк: розбудова наукового потенціалу, 2021.
- [3] Положення про Київський зоологічний парк загальнодержавного значення, Наказ Мінекології № 119, 13.04.2018.
- [4] C. Jayasundara et al., "IoT Based Smart Monitoring System for Terrarium," in Proc. Int. Conf. on Smart Computing and Systems Engineering, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICSCS.2022.00034>.
- [5] McKeown S. The General Care and Maintenance of Green Water Dragons. Advanced Vivarium Systems, 1997.
- [6] Асоціація зоологічних установ України (АЗУ), "Тераріум як невід'ємна складова сучасного зоопарку," Збірник АЗУ, 2023. [Online]. Available: <https://azu.org.ua/works/zbirnik-terarium-yak-nevid%D1%94mna-skladova-suchasnogo-zooparku>.
- [7] M. Schmidt et al., "Design and Implementation of Smart Terrarium Systems", Sensors, vol. 21, no. 11, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3871>.
- [8] M. Lee and H. Kim, "Ultraviolet Light Monitoring for Reptile Enclosures Using Embedded Systems," Applied Sciences, vol. 11, no. 15, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app11156988>.
- [9] R. Sharma and A. Kumar, "IoT based Environment Monitoring in Reptile Habitats," International Journal of Advanced Computer Science, vol. 10, no. 5, pp. 92–97, 2020.
- [10] О. Й. Штіффон, П. В. Новіков, В. П. Бунь, "Теорія автоматичного керування: підручник," НТУУ «КПІ», 2020. [Online]. Available: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/2020_theory_auto_control.pdf.
- [11] А. А. Марченко, В. С. Гулій, "Теорія автоматичного керування. Частина 1: Комп'ютерний практикум," НТУУ «КПІ», 2022. [Online]. Available: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52914>.

References

- [1] Kovalynskyi, V. V. The History of Kyiv Zoo, 2009.
- [2] Shkvyrya, M., Trantin, K. (Eds.). Kyiv Zoo: Developing Scientific Potential, 2021.
- [3] Regulation on the Kyiv Zoological Park of National Importance, Order of the Ministry of Ecology No. 119, April 13, 2018.
- [4] C. Jayasundara et al., "IoT Based Smart Monitoring System for Terrarium," in Proc. Int. Conf. on Smart Computing and Systems Engineering, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICSCS.2022.00034>.
- [5] McKeown, S. The General Care and Maintenance of Green Water Dragons, Advanced Vivarium Systems, 1997.
- [6] Association of Zoological Institutions of Ukraine (AZU), "The Terrarium as an Integral Component of the Modern Zoo," AZU Collection, 2023. [Online]. Available: <https://azu.org.ua/works/zbirnik-terarium-yak-nevid%D1%94mna-skladova-suchasnogo-zooparku>.
- [7] Schmidt, M., et al. "Design and Implementation of Smart Terrarium Systems," Sensors, vol. 21, no. 11, 2021.

Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3871>.

[8] M. Lee and H. Kim, "Ultraviolet Light Monitoring for Reptile Enclosures Using Embedded Systems," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 15, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app11156988>.

[9] Sharma, R., Kumar, A. "IoT Based Environment Monitoring in Reptile Habitats," *International Journal of Advanced Computer Science*, vol. 10, no. 5, pp. 92–97, 2020.

[10] O. J. Shtifzon, P. V. Novikov, and V. P. Bun', "Theory of Automatic Control: Textbook," KPI, 2020. [Online]. Available: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/2020_theory_auto_control.pdf.

[11] A. A. Marchenko and V. S. Hulyi, "Theory of Automatic Control. Part 1: Computer Practicum," KPI, 2022. [Online]. Available: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52914>.

Data about authors