

### Лендел Тарас Іванович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6356-1230>

E-mail: [taraslendel@gmail.com](mailto:taraslendel@gmail.com)

### Євтушенко Максим Петрович

аспірант кафедри автоматизації та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1125-1514>

E-mail: [maks202evtyshenko@gmail.com](mailto:maks202evtyshenko@gmail.com)

### Сафіна Ольга Василівна

голова циклової комісії автоматизації технологічних процесів та моніторингу навколишнього середовища, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист,  
ВСП "Київський фаховий коледж міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського"

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4063-5501>

E-mail: [safina.olha@tnu.edu.ua](mailto:safina.olha@tnu.edu.ua)

## ПРОГРАМНО-АПАРATНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДСИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ

**Анотація.** У статті розглянуто питання побудови моделі підсистеми вимірювання технологічних параметрів процесу виробництва біогазу. Вказана підсистема вимірювання виконуватиме збір даних процесу бродіння біосировини (органічної сировини) для інтелектуальної системи керування технологічним процесом виробництва біогазу. При цьому у процесі збору даних зазначатиметься тип використовуваної органічної сировини. Це необхідно для формування керуючої дії в алгоритмі функціонування автоматизованої системи керування виробництвом біогазу. Проаналізовано особливості анаеробного зброджування біомаси та із проведеного аналізу літературних джерел зазначено основні технологічні параметри. Означене впливає на ефективність процесу утворення біогазу. Запропонована модель підсистеми вимірювання, що розглядається як технічний інструмент вимірювання параметрів процесу бродіння органічної сировини, при цьому вказаний підхід реалізується з використанням технологій інтернет речей. Розроблено структуру апаратного забезпечення вимірювальної підсистеми та наведено розрахунки похибок вимірювання інформаційно-вимірювального каналу. Наведено реалізацію технології інтернет речей на базі створеного web-сервера, що функціонує по принципу клієнт-серверної системи за HTTP-запитами. У розробленій моделі підсистеми вимірювання технологічних параметрів передбачено вимірювання у системі реального часу, а також усі дані вимірювання будуть зберігатися в окремий файл до енергонезалежної пам'яті, а саме до картки пам'яті типу micro-SD. Файл вимірюваних даних зберігатиметься в формат CSV, що дозволить опрацьовувати дані через хмарні сервіси або пакет прикладних програм Microsoft Office Excel. Означений підхід дозволить також виконувати систематизацію даних і можливість оперативного коригування, за необхідності, технологічного процесу. Функціональні можливості запропонованої моделі підсистеми вимірювання технологічних параметрів можливо збільшувати завдяки удосконаленню програмного та апаратного забезпечення.

**Ключові слова:** біогаз, анаеробне зброджування, підсистема вимірювання, біореактор, інтернет речей.

**Актуальність.** У сьогоднішній кожна країна формує свою національну безпеку, однією із складових якої є енергетична незалежність та можливість планувати використання енергоресурсів. При цьому сучасний розвиток енергетики характеризується активним впровадженням відновлюваних джерел енергії. Серед різних напрямів відновлювальних джерел енергетики перспективним напрямком є використання технологій виробництва біогазу, що дозволяють переробляти органічні відходи у відновлювану енергію. Біогаз утворюється внаслідок анаеробного зброджування органічної біомаси під дією анаеробних мікроорганізмів [1, 2].

Щодо основних компонентів біогазу, то у його склад входять метан, вуглекислий газ, а також різні домішки водню, сірководню та водяної пари. Ефективність біогазового виробництва значною мірою залежить від параметрів технологічного процесу та властивостей використовуваної органічної сировини [2, 3].

Різноманітність підходів щодо використання різних типів органічної сировини як біоматеріалу для зброджування і виробництва біогазу створює окреме завдання у проведенні досліджень динаміки процесу бродіння, і при цьому отримання значного набору даних [3]. Означений набір даних необхідно виконувати для подальшого формування алгоритмів керування процесом бродіння із врахуванням типу сировини та динаміки проходження процесу. Також збережені дані в подальшому можна використати як базу знань для виконання прогнозування виробництва біогазу з урахуванням типу сировини [4].

Виникає потреба у створенні підсистеми вимірювання технологічних параметрів виробництва біогазу для отримання набору даних, які будуть використані для визначення керуючої дії процесу бродіння..

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Анаеробне зброджування є складним біохімічним процесом, який включає кілька послідовних стадій: гідроліз, ацетогенез та метаногенез. На кожному етапі відбувається перетворення органічних речовин у простіші сполуки, що в кінцевому результаті призводить до утворення метану [2].

Можна виокремити окремі параметри, які визначають ефективність процесу ферментації, а саме: температура, кислотність середовища (рН), концентрація летких жирних кислот та концентрація метану у біогазі [1-3].

Для керування процесом бродіння необхідною умовою є виконання вимірювання технологічних параметрів. Кожен тип сировини, який зброджується, характеризується своєю структурною особливістю. При проектуванні автоматизованих систем керування процесом виробництва біогазу також розглядається визначення якості сировини перед внесенням у біореактор [5].

У сучасних системах автоматизованого керування широко використовуються технології інтернет речей, хмарних технологій, штучного інтелекту та експертних систем підтримки прийняття рішень [6-8].

**Мета дослідження** – створити модель програмно-апаратного забезпечення підсистеми вимірювання технологічних параметрів процесу виробництва біогазу з використанням технології інтернет речей.

**Матеріали і методи дослідження.** Для реалізації моделі програмно-апаратного забезпечення підсистеми вимірювання обрано комплекс технічних засобів Arduino. Це апаратно-програмна платформа з відкритим синтаксисом програмування і використовується для реалізації електронних пристроїв у робототехніці та автоматизації. Програмне забезпечення є безкоштовним та доступним для подальшої модифікації створюваних окремих пристроїв та систем у цілому.

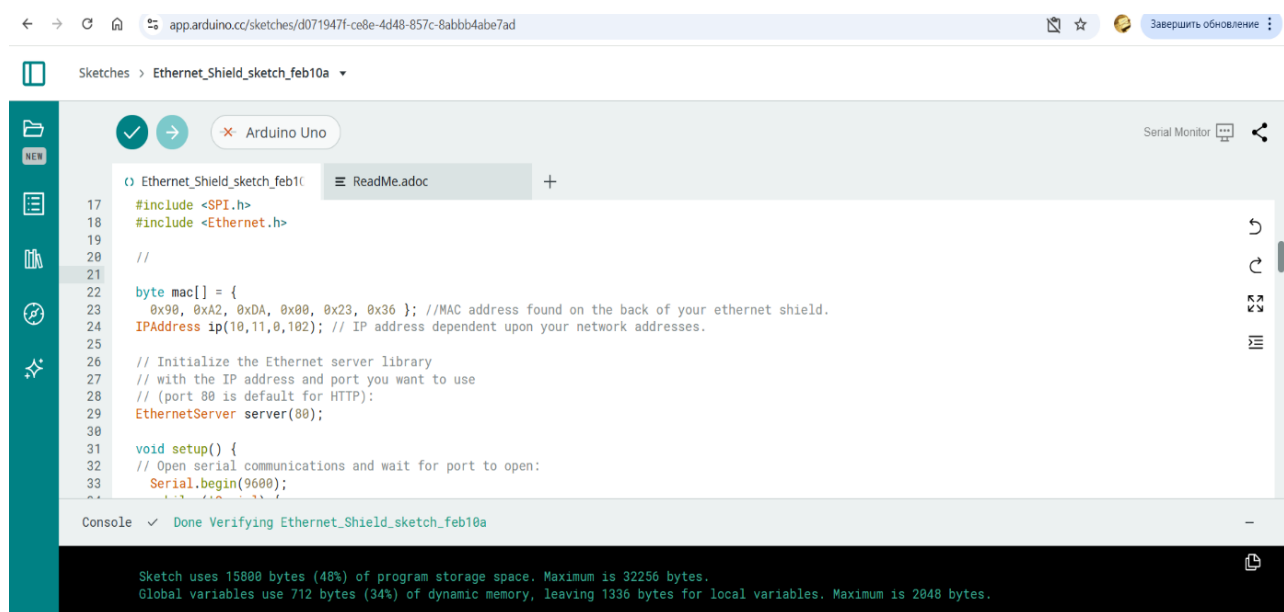
Як керуючий пристрій підсистеми вимірювання розглянуто модель Arduino Mega 2560, що виконана на базі мікроконтролера Atmega2560. Сенсори (сприймаючі елементи) для виконання вимірювання з'єднуються з керуючим пристроєм, до якого також подається живлення згідно з його технічними характеристиками.

Для реалізації технології інтернет речей вказаний керуючий пристрій з'єднано з модулем Ethernet Wiznet W5500, що виконує функцію зв'язку керуючого пристрою через мережеві

протоколи. Ethernet Wiznet W5500 за технічними характеристиками забезпечує мережевий (IP) обмін даними, де підтримується протоколи TCP і UDP. При цьому на зазначеному модулі зв'язку є роз'єм для картки пам'яті типу micro-SD, що використовується для зберігання файлів даних. Arduino Mega 2560 під час функціонування взаємодіє одночасно з модулем Ethernet Wiznet W5500 і з SD-картою за допомогою шини SPI (через роз'єм ICSP). Сенсори для вимірювання технологічних параметрів підключатимуться до керуючого пристрою, який виконує вимірювання.

Технологія інтернет речей реалізовується через створення web-серверу підсистеми вимірювання. Web-сервер створено на базі комплексу технічних засобів Arduino Mega 2560 та Ethernet Wiznet W5500. У процесі свого функціонування виконуватиметься приймання HTTP-запитів від клієнтів. Для з'єднання клієнт використовує веббраузер. Після вказаного запиту клієнти отримують HTTP-відповіді, де буде наведено виміряні технологічні параметри. Усі вимірювання у системі реального часу також будуть записані окремим файлом в micro-SD. Файл даних зберігатиметься в формат CSV, що дозволить опрацьовувати дані через хмарні сервіси або пакет прикладних програм Microsoft Office Excel.

З'єднання користувача з web-сервером виконується через внутрішню мережу та апаратне забезпечення мережевих пристроїв. Для пропонованої підсистеми вимірювання розроблена програма, фрагмент тексту програми наведено на рис. 1. Програмування виконується на мові програмування C++ при використанні продукту Arduino Web Editor (можливе використання програмного компілятора Arduino IDE).



```
17 #include <SPI.h>
18 #include <Ethernet.h>
19 //
20 //
21 //
22 byte mac[] = {
23   0x90, 0xA2, 0xDA, 0x00, 0x23, 0x36 }; //MAC address found on the back of your ethernet shield.
24 IPAddress ip(10,11,0,102); // IP address dependent upon your network addresses.
25 //
26 // Initialize the Ethernet server library
27 // with the IP address and port you want to use
28 // (port 80 is default for HTTP):
29 EthernetServer server(80);
30 //
31 void setup() {
32   // Open serial communications and wait for port to open:
33   Serial.begin(9600);
```

Console Done Verifying Ethernet\_Shield\_sketch\_feb10a

Sketch uses 15800 bytes (48%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.  
Global variables use 712 bytes (34%) of dynamic memory, leaving 1336 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.

Рисунок 1 – Вигляд фрагменту програмного забезпечення

Структурна схема підсистеми вимірювання технологічних параметрів наведена на рис. 2.

**Результати дослідження та їх обговорення.** За результатами випробування користувачі можуть дистанційно отримувати дані вимірювань, а також при цьому всі виконані вимірювання записуються в окремий файл на карту пам'яті. Скріншот випробування моменту вимірювання наведено як сторінку веббраузера (рис. 3).

При цьому загальний алгоритм роботи пропонованої підсистеми наведено на рис. 4. Під час випробування розробки визначили можливість некоректної роботи одночасного функціонування мережевого модуля Ethernet Wiznet W5500 та запису даних на карту пам'яті. Некоректна робота виникає через SPI-конфлікт, тобто використання спільної шини SPI-протоколу в однакові такти часу [9-11]. Тому в загальному алгоритмі роботи передбачено перевірку помилок SD-карти і мережі з'єднання, що забезпечує функціонування апаратної платформи Arduino як web-сервера.

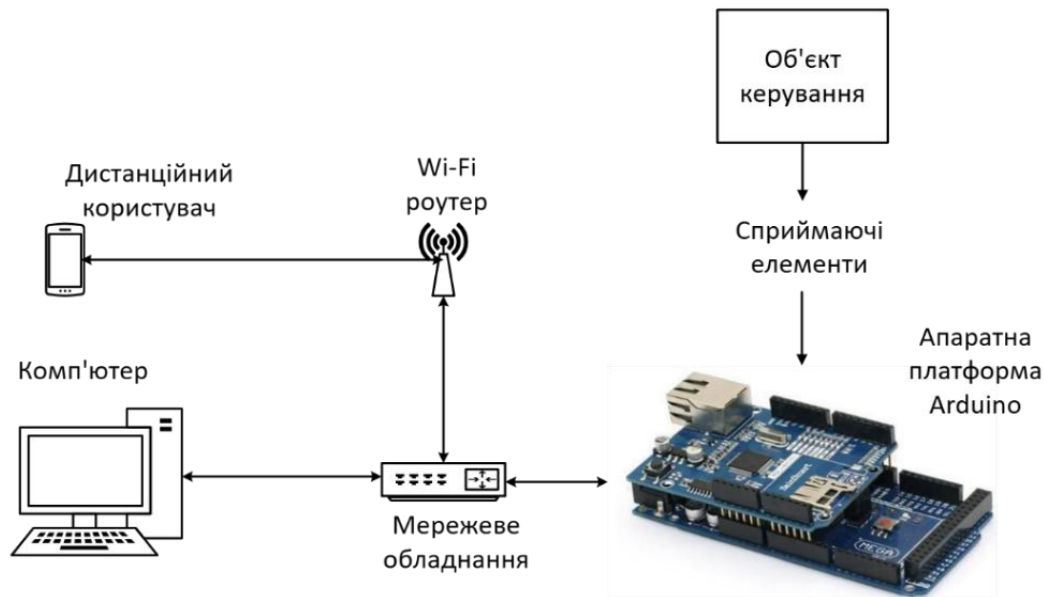


Рисунок 2 – Структурна схема підсистеми вимірювання технологічних параметрів



Рисунок 3 – Випробування підсистеми вимірювання (на прикладі температури)

У вказаному протоколі для означеної системи, що побудована на апаратній платформі Arduino, моделлю Mega 2560 спільно використовуються лінії зв'язку MOSI, MISO, SCK для мережевого модуля та блоку SD-карти. Для цього у окремі такти часу виконується керування лінією сигналів вибору пристрою CS-контакту. У кожен такт часу активним вказується тільки один із SPI-пристроїв, тому неможливо одночасне передавання даних по мережі та запису даних на карту пам'яті. Саме через уникнення конфлікту SPI, кожному пристрою призначається окремий CS-контакт, і в окремий такт часу активним є лише один пристрій. Перед початком роботи всі CS-контакти встановлюються в логічну одиницю, а після завершення обміну SPI-пристроїв обов'язково деактивується. Проте при керуванні тактами часу обміну даними слід чітко встановлювати частоту роботи спільної шини. Збільшення частоти SPI для досягнення більшої швидкодії призводить до спотворення сигналів даних або ж до зростання кількості помилок передачі.

У роботі не нехтуються можливі помилки запису даних на карту пам'яті. Окрім некоректності роботи протоколу SPI помилки запису даних можуть бути спричинені: несумісністю файлової системи, нестабільністю живлення та некоректного формування CSV-рядків, яке може призводити до зміщення колонок даних. При проєктуванні запропонованої підсистеми важливою характеристикою функціонування є точність вимірювання. Для оцінки точності вимірювання необхідно визначити похибки інформаційно-вимірювальних каналів (ІВК) [13, 15]. Розрахунок похибок ІВК виконано згідно з окремою методикою [13, 14].

Проведено оцінку роботи інформаційно-вимірювального каналу на прикладі температури.

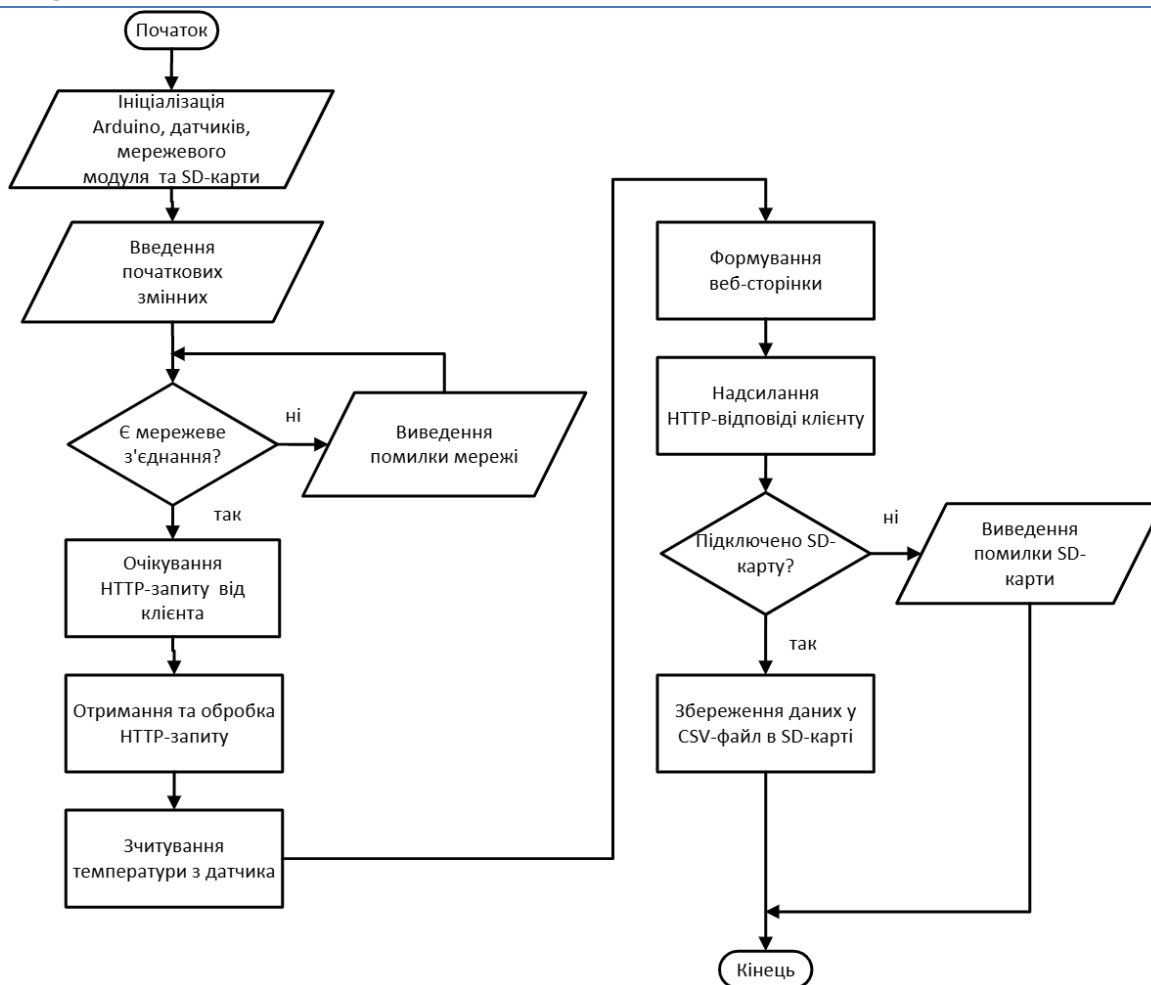


Рисунок 4 – Загальний алгоритм роботи підсистеми на базі web-сервера

Визначено допустиму абсолютну похибку давача інформації DS18B20 водонепроникного:

$$\Delta t_{\text{допд}} = \frac{K_{\text{ТД}} \cdot \text{ДВ}_D}{100} = \frac{0,1(85 - (-10))}{100} = 0,095 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

де  $\Delta t_{\text{допд}}$  – допустима абсолютна похибка давача інформації;  $K_{\text{ТД}}$  – точність давача інформації;  $\text{ДВ}_D$  – діапазон вимірювання за паспортними даними.

Для довірчої ймовірності  $P_D = 0,95$  визначено середньо-квадратичну похибку в абсолютних значеннях за виразом для кожного елемента системи вимірювання

$$\Delta_{0,95} = K_{\text{Н}(0,95)} \sigma, \quad (2)$$

де  $K_{\text{Н}(0,95)} = 1,96$  – коефіцієнт Стюдента під час проведення безперервної кількості вимірювань та довірчої ймовірності  $P_D = 0,95$ ;  $\sigma$  – середньо-квадратична похибка.

З виразу (2) визначено середньо-квадратичну похибку давача інформації  $\sigma_D$ :

$$\sigma_D = \frac{\Delta_{\text{допд}}}{K_{\text{Н}(0,95)}} = \frac{0,095}{1,96} = 0,048 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Визначено допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для ліній зв'язку (ЛЗ):

$$\Delta \theta_{\text{доплз}} = \frac{K_{\text{ТЛЗ}} \cdot t_{\text{вим}}}{100} = \frac{0,4 \cdot 42}{100} = 0,168 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

де  $\Delta t_{\text{ДОПЛЗ}}$  – допустима абсолютна похибка лінії зв'язку;  $K_{\text{ТЛЗ}}$  – точність передачі сигналу лінією зв'язку ( $K_{\text{ТЛЗ}} = 0,4$ );  $t_{\text{ВИМ}}$  – виміряна температура від давача інформації.

$$\sigma_{\text{ЛЗ}} = \frac{\Delta t_{\text{ДОПЛЗ}}}{K_{H(0,95)}} = \frac{0,168}{1,96} = 0,086 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

де  $\sigma_{\text{ЛЗ}}$  – середньо-квадратична похибка ЛЗ.

Допустима абсолютна та середньо-квадратична похибки аналогово-цифрового перетворювача (АЦП):

$$\Delta t_{\text{ДОПАЦП}} = \frac{K_{\text{ТАЦП}} \cdot t_{\text{ВИМ}}}{100} = \frac{0,25 \cdot 42}{100} = 0,105 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (6)$$

$$\sigma_{\text{АЦП}} = \frac{\Delta t_{\text{ДОПАЦП}}}{K_{H(0,95)}} = \frac{0,06}{1,96} = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7)$$

де  $K_{\text{ТАЦП}}$  – точність передачі сигналу АЦП ( $K_{\text{ТАЦП}} = 0,25$ );  $\Delta t_{\text{ДОПАЦП}}$  – абсолютна допустима похибка АЦП;  $\sigma_{\text{АЦП}}$  – середньо-квадратична похибка АЦП.

Визначено допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для блока нормування (БН) мікропроцесорної плати апаратної платформи:

$$\Delta \theta_{\text{ДОПБН}} = \frac{K_{\text{ТБН}} \cdot t_{\text{ВИМ}}}{100} = \frac{0,2 \cdot 42}{100} = 0,084 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (8)$$

$$\sigma_{\text{БН}} = \frac{\Delta \theta_{\text{ДОПБН}}}{K_{H(0,95)}} = \frac{0,084}{1,96} = 0,043 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (9)$$

де  $K_{\text{ТБН}}$  – точність передачі сигналу блоком нормування ( $K_{\text{ТБН}} = 0,2$ );  $\Delta \theta_{\text{ДОПБН}}$  – абсолютна допустима похибка блока нормування;  $\sigma_{\text{БН}}$  – середньо-квадратична похибка блока нормування.

Розрахуємо середньо-квадратичну похибку інформаційно-вимірювального каналу температури [13-15]:

$$\sigma_{\text{ВКт}} = \sqrt{\sigma_{\text{Д}}^2 + \sigma_{\text{ЛЗ}}^2 + \sigma_{\text{АЦП}}^2 + \sigma_{\text{БН}}^2} = \sqrt{0,048^2 + 0,086^2 + 0,05^2 + 0,043^2} = 0,12 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (10)$$

де  $\sigma_{\text{ВКт}}$  – середньо-квадратична похибка інформаційно-вимірювального каналу за температурою.

Визначено допустиму абсолютну похибку інформаційно-вимірювального каналу:

$$\Delta_{\text{ВКт}} = \pm K_{H(0,95)} \sigma_{\text{ВКт}} = \pm 1,96 \cdot 0,12 = 0,2353 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (11)$$

де  $\Delta_{\text{ВКт}}$  – абсолютна похибка інформаційно-вимірювального каналу температури.

Зведена похибка інформаційно-вимірювального каналу дорівнює:

$$\gamma_{\text{ВК}} = \pm \frac{\Delta_{\text{ВКт}}}{t_{\text{ВИМ}}} = \frac{0,2353}{42} = 0,0056 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (12)$$

За виконаною методикою можна визначити похибки інформаційно-вимірювального каналу для всіх інших технологічних параметрів вимірювання, враховуючи паспортні дані давачів інформації кожного параметру.

**Висновки і перспективи.** Запропоновано підсистему вимірювання технологічних параметрів виробництва біогазу на базі комплексу технічних засобів Arduino. У розробленій підсистемі використано технологію інтернет речей для можливості дистанційного виконання вимірювань та передбачено запис даних на карту пам'яті. Виконано випробування моделі

лабораторного стенду підсистеми у лабораторних умовах. Наведена розробка для вимірювання технологічних параметрів може бути використана під час модернізації існуючих систем керування. Визначено допустиму абсолютну похибку та зведену похибку інформаційно-вимірювального каналу за температурою.

### Список використаних джерел

1. Holub, H. A. (Ed.), Kukharets, S. M., Marus, O. A., Pavlenko, M. Yu., Sera, K. M., & Chuba, V. V. (2017). Bioenergy systems in agricultural production: A textbook [Bioenerhetychni systemy v ahrarnomu vyrobnytstvi: Navchalnyi posibnyk]. NUBiP Ukrainy.
2. Skliar, O. H., Skliar, R. V., Boltianskyi, B. V., Syrotiuk, S. V., Korobka, S. V., & Stukalets, I. H. (2024). Analysis of methods of improving the process of processing organic animal waste in methane tanks [Analiz metodiv udoskonalennia protsesu pererobky orhanichnykh vidkhodiv tvarynnystva u metantenkakh]. Scientific Bulletin of Tavria State Agrotechnological University, 14(1). <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-1-6>.
3. Skliar, O.H., Skliar, R.V., & Akulov, V.D. (2024). Ways to increase the energy efficiency of a biogas installation [Shliakhy pidvyshchennia enerhetychnoi efektyvnosti biohazovoi ustanovky]. Proceedings of the Tavria State agrotechnological university, 24(2), 27–36. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-2-3>.
4. Abdurrahman, A. H., Kirom, M. R., & Suhendi, A. (2020). Biogas production volume measurement and Internet of Things based monitoring system. In 2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat) (pp. 213-217). IEEE. <https://doi.org/10.1109/Comnetsat50391.2020.9328948>.
5. Lysenko, V., Lendiel, T., Bolbot, I., & Pavlov, S. (2023). Mobile system for monitoring plant environment parameters for biogas production. Machinery & Energetics, 14(4), 111–120. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.111>.
6. Motornyi, A., & Kabachii, V. (2025). Automation of Household Waste Processing Enterprises: World Experience and Prospects for Ukraine [Avtomatyzatsiia pidpriemstv pererobky pobutovykh vidkhodiv: Svitovyi dosvid ta perspektyvy dlia Ukrainy]. Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute, (4), 8–16. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-181-4-8-16>.
7. Zhou, M., & Zou, Z. (2018). Design of an intelligent control system for rural biogas engineering. In 2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC) (pp. 1636-1639). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IMCEC.2018.8469547>.
8. Onu, P., Mbohwa, C., & Pradhan, A. (2023). Artificial intelligence-based IoT-enabled biogas production. In 2023 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCAD57653.2023.10152349>.
9. Tohoiev, O. R., Puzyrov, S. V., Havrylko, S. M., & Zhulanov, M. O. (2025). Software and hardware complex for organizing voice communication in decentralized mesh networks [Prohramno-aparatnyi kompleks dlia orhanizatsii holosovoho zviazku v detsentralizovanykh mesh-merezhakh]. Methods and Devices of Quality Control, (2)(55), 121–129. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2025-2\(55\)-121-129](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2025-2(55)-121-129).
10. Vozár, M., & Ludas, N. (2025). Application of Arduino microcomputer. In 15th International Scientific Conference on Distance Learning in Applied Informatics: DiVAI 2024 (p. 271). Springer Nature.
11. Rani, D., Kaur, A., Mittal, R., Kaur, A., & Garg, N. (2025). Exploring Arduino board applications in embedded systems: The role of AI, cloud computing, and edge computing. In 2025 3rd International Conference on Communication, Security, and Artificial Intelligence (ICCSAI) (pp. 1730–1734). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSAI64074.2025.11063918>.
12. Raju, S. S., Wu, S., & Wang, N. (2025). Design and implementation of a multi-protocol converter supporting SPI, I2C, and UART interfaces. In 2025 8th International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP) (pp. 677–681). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICSP66564.2025.11338395>.

13. Tsiutsiura, V. D., & Tsiutsiura, S. V. (2003). Metrology and fundamentals of measurements: A textbook [Metrolohiia ta osnovy vymiriuvan: Navchalnyi posibnyk]. Znannia-Pres.
14. Lysenko, V. P., Bolbot, I. M., Lendiel, T. I., & Chernov, I. I. (2014). Prohramno-aparatne zabezpechennia systemy fitomonitorynhu v teplytsi [Hardware and software support of the phytomonitoring system in a greenhouse]. Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, (154), 42–45.
15. Palamar, M. I., Strembitskyi, M. O., & Palamar, A. M. (2019). Design of computerized measurement systems and complexes: A textbook [Proektuvannia kompiuteryzovanykh vymiriuvalnykh system i kompleksiv: Navchalnyi posibnyk]. TNTU.

**Lendiel Taras**

*Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Robotic Systems named by I. Martynenko,*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6356-1230>

E-mail: [taraslendel@gmail.com](mailto:taraslendel@gmail.com)

**Yevtushenko Maksym**

*Postgraduate student, Department of Automation and Robotic Systems named by I. Martynenko,*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8852-0884>

E-mail: [maks202evtyshenko@gmail.com](mailto:maks202evtyshenko@gmail.com)

**Safina Olga**

*Head of the cyclical commission for automation of technological processes and environmental monitoring, specialist of the highest category, teacher-methodologist,*

*VSP "Kyiv Professional College of Urban Economy of the V.I. Vernadsky Tavrichesky National University"*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4063-5501>

E-mail: [safina.olha@tnu.edu.ua](mailto:safina.olha@tnu.edu.ua)

**SOFTWARE AND HARDWARE OF THE SUBSYSTEM FOR MEASURING  
TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE BIOGAS PRODUCTION PROCESS USING  
THE INTERNET OF THINGS**

**Abstract.** The article considers the issue of building a model of a subsystem for measuring technological parameters of the biogas production process. The specified measurement subsystem will collect data on the fermentation process of biomaterials (organic raw materials) for an intelligent control system for the technological process of biogas production. In this case, the type of organic raw materials used will be indicated in the data collection process. This is necessary for forming a control action in the algorithm of the functioning of the automated biogas production control system. The features of anaerobic biomass fermentation are analyzed and the main technological parameters are indicated from the analysis of literary sources. This affects the efficiency of the biogas production process. A model of the measurement subsystem is proposed, which is considered as a technical tool for measuring parameters of the fermentation process of organic raw materials, while the specified approach is implemented using Internet of Things technologies. The structure of the hardware of the measurement subsystem is developed and calculations of measurement errors of the information and measurement channel are given. The implementation of the Internet of Things technology is presented on the basis of the created web server, which operates on the principle of a client-server system using HTTP requests. The developed model of the subsystem for measuring technological parameters provides for measurements in the real-time system, and all measurement data will be stored in a separate file to non-volatile memory, namely to a micro-SD memory card. The measured data file will be stored in CSV format, which will allow data to be processed via cloud services or the Microsoft Office Excel application package. The specified approach will also allow data systematization and the possibility of prompt adjustment, if necessary, of the technological process. The functionality of the proposed model of the subsystem for measuring technological parameters can be increased by improving software and hardware.

**Keywords:** Biogas, Anaerobic Digestion, Measurement Subsystem, Bioreactor, Internet of Things.