

БЕЗПРОВІДНА ПІДСИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Т. І. Лендєл, кандидат технічних наук, доцент

Є. В. Резвін, студент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: taraslendel@gmail.com, evgenijrezvin@gmail.com

Анотація. *Виробництво та енергетичне використання біогазу є одним з важливих секторів відновлювальних джерел енергії.*

На процес отримання біогазу впливає ряд факторів: температура проходження процесу, якість сировини, кислотність середовища зброджування та інші.

Мета дослідження - розробити підсистему моніторингу технологічних параметрів для біоенергетичного комплексу, де передбачити безпроводну передачу виміряних даних.

Реалізовано підсистему моніторингу технологічних параметрів для біоенергетичного комплексу. Розробку виконано на базі комплексу технічних засобів Arduino та передбачено безпроводну передачу виміряних даних на дисплей оператора. Виконано розрахунок відстані, на яку може працювати підсистема моніторингу, для створення зв'язку щодо безпроводної передачі даних. Представлено програмне та апаратне забезпечення вказаної підсистеми моніторингу.

*Проведено розрахунок згасання у вільному просторі та дальності передачі даних, що становлять **73,35 дБ** та **46,294 м** відповідно. Проведено тестування в лабораторних умовах.*

Ключові слова: *моніторинг, біоенергетичний комплекс, інтернет речей, біогаз*

Актуальність. *Виробництво та енергетичне використання біогазу є одним з важливих секторів відновлювальних джерел енергії. Нині світовим регіональним лідером виробництва біогазу є країни ЄС, внесок яких складає близько 39 %. Загальне число біогазових установок у країнах ЄС перевищило 14,5 тисяч одиниць.*

У багатьох сучасних господарствах можливе використання декількох біогазових установок для отримання біогазу. Такі господарства утворюють складні біоенергетичні комплекси. Функціонування кожної біогазової установки

супроводжується роботою автоматизованих систем керування, які за розробленими алгоритмами керування підтримують процес отримання біогазу. При цьому виробництво біогазу для всього біоенергетичного комплексу залежить від кожної окремої біогазової установки. Як приклад, біоенергетичний комплекс агрохолдинку «Астарта-Київ» переробляє 1200 тонн бурякового жому на добу, 225 тонн силосу з листя цукрових буряків та гній свинокомплексу [1] для виробництва близько 150 000 м³ біогазу на добу – еквівалент 75 000 м³ природного газу. Кожна установка працює 24 години на добу 150 днів на рік за для отримання всього об'єму виробленого газу.

На процес отримання біогазу впливає ряд факторів: температура проходження процесу, якість сировини, кислотність середовища зброджування та інші.

Пропонується удосконалити систему автоматизованого керування виробництва біогазу шляхом доповнення підсистемою моніторингу технологічних параметрів, яка проводитиме вимірювання у кожній біогазовій установці та місцях попередньої підготовки сировини зброджування.

Зазначене на основі вимірювань дозволить удосконалити існуючі автоматизовані системи керування для формування керуючої дії. При цьому керуюча дія формуватиметься для кожної установки та забезпечить у подальшому аналіз виробництва біоенергетичного комплексу у цілому [3].

Мета дослідження - розробити підсистему моніторингу технологічних параметрів для біоенергетичного комплексу, де передбачити безпроводну передачу вимірянних даних.

Матеріали і методи дослідження. Виробництво біогазу – а складний процес, що супроводжується значними енерговитратами [2].

Системи керування виробництвом біогазу забезпечуються функціонуванням складних автоматизованих систем, що являють собою комп'ютерно-інтегровані системи керування з можливістю керування через мережеві протоколи, як приклад технології інтернет речей [3, 4]. При цьому наведені системи керування є системами тривалого застосування.

Результати дослідження та їх обговорення. Мнемосхему розробленої підсистеми продемонстровано на рис. 1. Апаратна частина підсистеми включає в себе:

- вимірювальні елементи (датчики температури середовища зброджування, датчики температури повітря, датчики вологості повітря, датчики рівня освітленості);
- елементи передачі даних (модулі бездротової передачі даних);
- керуючий пристрій (мікроконтролер);
- елементи для людино-машинної взаємодії (дисплеї, кнопки).

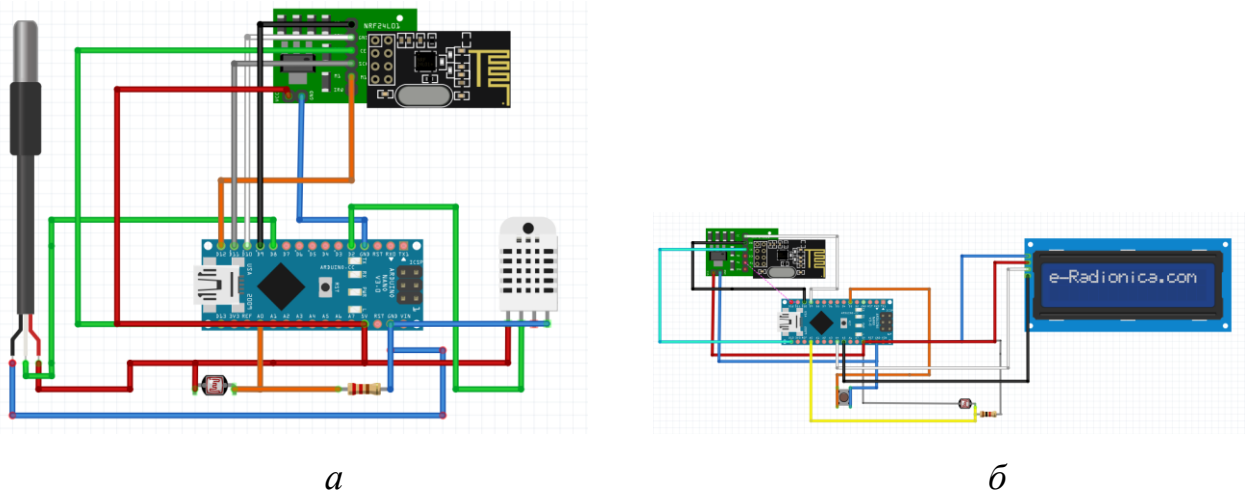


Рис. 1. Мнемосхема підсистеми моніторингу технологічних параметрів:

а - передавач; *б* - приймач

У свою чергу, рішенням проблеми громіздкості обладнання стало використання безпроводного зв'язку безпосередньо між сприймаючими елементами системи моніторингу (СМ) та головним мікроконтролером, який обробляє і виводить інформацію в доступному вигляді.

Функцію мікроконтролерів, які збирають і оброблюють інформацію, виконують програмовані пристрої Arduino Nano R3. Arduino Nano – це повнофункціональний мініатюрний пристрій на базі мікроконтролера ATmega328 з тактовою частотою 16 МГц. Платформа Arduino Nano у своєму складі отримала 22 цифрові контакти (6 з яких можна використати в якості широтно-імпульсної модуляції), 8 аналогових входних контактів, 2 входні контакти для послідовних

інтерфейсів (UART) [5], портом mini-USB, роз'єм SPI-протоколу [6] та кнопкою скидання.

Моніторинг реалізовано за допомогою електричних датчиків, які в залежності від характеру виконання мають різні види вихідних сигналів – аналогові та цифрові. Підібрано відповідні датчики для вимірювання необхідних параметрів:

- температури та вологості повітря (сенсор типу DHT22) [5];
- освітлення (фоторезистор GL5528) [7];
- датчик температури (DS18B20 водонепроникний).

Функція передачі даних від передавачів до приймача реалізована за допомогою модулю бездротового зв'язку nRF24L01 з частотою зв'язку 2,4 ГГц [8].

Комплекс, який було описано вище, програмується в програмному пакеті Arduino IDE [6].

При створенні тексту програми було використано такі бібліотеки:

- `stDHT.h` – бібліотека для керування датчиком DHT22;
- `SPI.h` – бібліотека для активування та використання шини SPI;
- `nRF24L01.h` та `RF24.h` – бібліотеки для підключення та керування модулем nRF24L01;
- `LiquidCrystal_I2C.h` – бібліотека для підключення та керування рідкокристалічними дисплеями через шину I²C [4];
- `microDS18B20.h` – бібліотека для підключення та зчитування даних з датчика DS18B20.

Фрагмент тексту програми продемонстровано в середовищі Arduino IDE на рис. 2.



a

б

Рис. 2. Фрагмент тексту програми в середовищі Arduino IDE:

a - передавач; *б* - приймач

Для розрахунку відстані передачі даних були проведені розрахунки визначення відстані безпроводного зв'язку роботи комплексу та згасання у вільному просторі [10].

Згасання у вільному просторі (free-space path loss – FSPL) – це ослаблення радіоенергії між точками подачі двох антен, яке є результатом поєднання зони захоплення приймальної антени та вільного від перешкод шляху прямої видимості через вільний простір (зазвичай повітря).

Розрахунок здійснюється за такою формулою, яка є похідною від формули передачі Фрііса [10]:

$$\frac{P_r}{P_t} = D_t D_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2, \quad (1)$$

де P_r – потужність радіохвиль, що приймається, дБм; P_t – передавана потужність, дБм; D_t – спрямованість передавальної антени, дБі (децибел ізотропний); D_r – це спрямованість приймальної антени, дБі; λ – довжина хвилі, м; d – відстань між приймальною антеною та антеною передавача, м.

Оскільки, згасання у вільному просторі – це коефіцієнт втрат, який залежить від відстані та довжини хвилі, якщо припустити, що антени є ізотропними і не мають спрямованості, то можна зобразити (1) в такому вигляді:

$$FSPL = 10 \log_{10} \left(\left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \right). \quad (2)$$

де $FSPL$ - згасання у вільному просторі, дБ (децибел) [9].

При цьому довжина хвилі рівна:

$$\lambda = \frac{U}{f}, \quad (3)$$

де U – швидкість розповсюдження радіохвилі ($U = 299\,792\,458$ м/с) [11], f - частота роботи радіомодулю, ГГц.

Відстань між приймальною антеною та антеною передавача буде рівна:

$$d = \frac{4\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{P_t}{P_r D_t D_r}}. \quad (4)$$

Антени є ізотропними, тоді:

$$d = \frac{4\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{P_t}{P_r}}. \quad (5)$$

Згідно з технічним паспортом nRF24L01, $P_r = -85$ дБм (децибел – міліват), $P_t = -18$ дБм, $f = 2.4$ ГГц.

Звідси:

$$\lambda = \frac{299\,792\,458}{2.4 \cdot 10^9} = 0.125 \text{ м.}$$

Тоді:

$$d = \frac{4\pi}{0.125} \sqrt{\frac{-18}{-85}} = 46.294 \text{ м.}$$

Згасання у вільному просторі:

$$FSPL = 10 \log_{10} \left(\left(\frac{4\pi \cdot 46.294}{0.125} \right)^2 \right) = 73.35 \text{ дБ.}$$

Висновки і перспективи. Функціонал розробленої підсистеми дозволяє виміряти означені параметри в біогазових установках та місцях попередньої підготовки сировини для зброджування. У подальшому, за допомогою засобів технології інтернет речей інформація передаватиметься на визначений сервер для оператора та подальшого аналізу виробничого процесу. Розроблено програмно-

апаратне забезпечення підсистеми моніторингу технологічних параметрів для біоенергетичного комплексу, де передбачено безпроводну передачу даних. Проведено розрахунок згасання у вільному просторі та дальності передачі даних, що становлять **73,35 дБ** та **46,294 м** відповідно. Проведено тестування в лабораторних умовах.

Список використаних джерел

1. Інтернет ресурс. Режим доступу: [<https://utc.bio/proektupannya-ta-budivnyctvo-biogazovogo-kompleksu/>]. Дата звернення: 04.09.2023 р.
2. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Чуба В. В., Марус О. А. Виробництво і використання біопалив в агроєкосистемах. Механікотехнологічні основи: монографія. К.: НУБіП України, 2018. 254 с.
3. Здановський, В. Г., Євтушенко, О. В., Сірик, А. О. (2017). Удосконалення інформаційно-керуючої системи енергетичного господарства підприємств на основі інтелектуалізації процесу прийняття рішень. Проблеми охорони праці в Україні, (33), 80-93.
4. Решетюк В. М., Лендел Т. І., Куляк Б. В. Вимірювальний електротехнічний комплекс для моніторингу параметрів біометричного стану рослини та мікроклімату в теплиці [Measuring electrotechnical complex for monitoring the parameters of the biometric state of the plant and the microclimate in the greenhouse.].
5. Nano | Arduino Documentation. Arduino Docs | Arduino Documentation. Режим доступу: <https://docs.arduino.cc/static/ac6db38447a17e4bcb1dc073eab55c9f/A000005-datasheet.pdf> (дата звернення: 16.08.2023).
6. GL5528 Datasheet (Даташит). Радио Лоцман - портал и журнал для разработчиков электроники. URL: <https://www.rlocman.ru/datasheet/data.html?di=632249&/GL5528> (дата звернення: 16.08.2023).
7. Datasheet nRF24L01. uAmper. URL: <https://uamper.com/products/datasheet/nRF24L01.pdf> (дата звернення: 16.08.2023).
8. Free-space path loss - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_path_loss (дата звернення: 16.08.2023).
9. Учасники проєктів Вікімедіа. Згасання у вільному просторі – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Згасання_у_вільному_просторі (дата звернення: 17.08.2023).
10. Учасники проєктів Вікімедіа. Поширення радіохвиль – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Поширення_радіохвиль (дата звернення: 17.08.2023).

References

1. Internet resurs. Available at: <https://utc.bio/proektupannya-ta-budivnyctvo-biogazovogo-kompleksu/>
2. Holub, H. A., Kukharets, S. M., Chuba, V. V., Marus, O. A. (2018). Vyrobnystvo i vykorystannia biopalyv v ahroekosystemakh. Mekhanikotekhnolohichni osnovy:

monohrafiia [Production and use of biofuels in agroecosystems. Mechanotechnological basics]. Kyiv: NUBiP Ukrainy, 254.

3. Zdanovskyi, V. H., Yevtushenko, O. V., Siryk, A. O. (2017). Udoskonalennia informatsiino-keruiuchoi systemy enerhetychnoho hospodarstva pidpriumstv na osnovi intelektualizatsii protsesu pryiniattia rishen [Improvement of the information management system of the energy economy of enterprises based on the intellectualization of the decision-making process]. Problemy okhorony pratsi v Ukraini, (33), 80-93.

4. Reshetiuk, V. M., Lendiel, T. I., Kuliak, B. V. Vymiriuvalnyi elektrotekhnichniy kompleks dlia monitorynhu parametriv biometrychnoho stanu roslyny ta mikroklimatu v teplytsi.

5. Nano | Arduino Documentation. Arduino Docs | Arduino Documentation. Available at: <https://docs.arduino.cc/static/ac6db38447a17e4bcb1dc073eab55c9f/A000005-datasheet.pdf> (дата звернення: 16.08.2023).

6. GL5528 Datasheet. Radio Locsman is a portal and magazine for electronics developers. URL: <https://www.rlocman.ru/datasheet/data.html?di=632249&GL5528>

7. Datasheet nRF24L01. uAmper. URL: <https://uamper.com/products/datasheet/nRF24L01.pdf>

8. Free-space path loss - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_path_loss

9. Wikimedia project participants. Extinction in free space - Wikipedia. Wikipedia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Extinction_in_free_space

10. Wikimedia projects participants. Radio wave propagation - Wikipedia. Wikipedia. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>

WIRELESS SYSTEM FOR MONITORING MICROCLIMATE PARAMETERS BASED ON ARDUINO HARDWARE

E. Rezvin, T. Lendiel

Abstract. *Production and energy use of biogas is one of the important sectors of renewable energy sources.*

The process of obtaining biogas is affected by a number of factors: the temperature of the process, the quality of raw materials, the acidity of the fermentation medium, and others.

The purpose of the study is to develop a subsystem for monitoring technological parameters for the bioenergy complex, where wireless transmission of measured data can be provided.

A subsystem for monitoring technological parameters for the bioenergy complex has been implemented. The development was carried out on the basis of a complex of Arduino technical tools and provided for wireless transmission of measured data to the operator's display. The calculation of the distance at which the monitoring subsystem can work to create a connection for wireless data transmission has been performed. The software and hardware of the specified monitoring subsystem are presented.

Free space attenuation and data transmission range were calculated to be 73.35 dB and 46.294 m, respectively. Testing was carried out in laboratory conditions.

Key words: *monitoring, bioenergy complex, Internet of Things, biogas*