УДК 621.396.6:633.1

**І.С. Лактіонов (канд. техн. наук, доц.), Е.А. Петелін (канд. техн. наук, доц.),
В.А. Лебедєв, С.В. Михайловський**

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України,
кафедра електронної техніки, м. Покровськ, Україна
e-mail: ivan.laktionov@donntu.edu.ua, eduard.petelin@donntu.edu.ua,
vladyslav.lebediev@donntu.edu.ua, mihailovs980702@gmail.com

РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО РАДІОМОНІТОРИНГУ КЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІД ЧАС ВИРОЩУВАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Представлена стаття присвячена розв'язанню актуальної науково-прикладної задачі з підвищення ефективності вирощування зернових культур в Україні шляхом розробки структурно-алгоритмічної організації та впровадження комп'ютеризованої системи радіомоніторингу кліматичних параметрів під час вирощування. В статті проведено аналіз відомих результатів досліджень у предметній області розробки й дослідження комп'ютеризованих вимірювачів кліматичних параметрів під час вирощування зернових культур із використанням бюджетних радіотехнологій. В результаті цього було сформульовано вимоги до апаратної й програмної компонент системи. Обґрунтовано структурну схему комп'ютеризованої системи віддаленого радіомоніторингу кліматичних параметрів під час вирощування зернових культур на базі сучасної серійної компонентної бази та програмного забезпечення. Це дозволило спроектувати та реалізувати макетний зразок даної системи. Проведено експериментальні лабораторні випробування макетного зразка реалізованого комп'ютеризованого вимірювача з кількісним аналізом його функціональних й технологічних параметрів. Виконано оцінку основних характеристик системи та визначено вектор її подальших пріоритетних досліджень.

Ключові слова: комп'ютеризована система, радіомоніторинг, кліматичні параметри, вирощування, точність.

DOI: 10.31474/2075-4272-2019-1-32-121-129

Вступ. Рослинництво відкритого й закритого ґрунту є однією з найбільш розвинених галузей сільського господарства України. В свою чергу, зернові культури є основними продуктами рослинництва та сировиною для багатьох галузей промисловості. Основними зонами виробництва зерна в Україні є степова і лісостепова зони, що виробляють від 40 % до 45 % загального обсягу відповідної продукції. В нашій країні вирощують ряд зернових культур структура посівів, яких має певні відмінності в зонах із різними природними й економічними умовами. З хлібних зернових культур в Україні вирощуються: озима пшениця та жито; круп'яні (просо, гречка та рис); зернофуражні (ячмінь, кукурудза й овес); зернобобові (горох). Проте ефективність вирощування таких культур має сильний корелятивний зв'язок з погодними умовами [1, 2]. Отже, впровадження сучасних засобів комп'ютеризованого радіомоніторингу кліматичних параметрів під час вирощування зернових культур є обов'язковою умовою задля підвищення їх врожайності.

Мета та задачі досліджень. Мета статті полягає в розробці структурної схеми, натурній реалізації й проведенні експериментальних випробувань макетного зразка комп'ютеризованої системи радіомоніторингу кліматичних параметрів під час вирощування зернових культур. Основні завдання досліджень:

– аналіз відомих результатів досліджень у предметній області розробки й дослідження комп'ютеризованих вимірювачів кліматичних параметрів під час вирощування зернових культур із використанням бюджетних радіотехнологій;

– обґрунтування структурної схеми комп'ютеризованої системи віддаленого радіомоніторингу кліматичних параметрів під час вирощування зернових культур на базі сучасної серійної компонентної бази та програмного забезпечення;

– проведення експериментальних досліджень макетного зразка реалізованого комп'ютеризованого вимірювача з кількісним аналізом його функціональних й технологічних параметрів.

Матеріали та методи. Основне завдання розробки полягає в отриманні вимірювальної інформації щодо динаміки температури й вологості навколишнього середовища з метою визначення закономірностей їх впливу на врожайність зернових культур та обґрунтування науково-практичних рекомендацій із поліпшення якості їх вирощування. Для визначення типу технології, яка може бути використана під час побудови досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи, необхідно провести їх порівняльний аналіз. Основні типи існуючих технологій наведено на рис. 1.

Рисунок 1 – Існуючі технології побудови віддалених вимірювальних систем

На підставі проведеного порівняльного аналізу існуючих технологій [3–5] з урахуванням їх техніко-економічних показників у якості базової для побудови комп'ютеризованої системи моніторингу кліматичних параметрів обрано радіоканал ISM діапазону. В основу розроблюваної системи покладено серійний бюджетний радіо модуль nRF24L01, який призначений для прийому й передачі даних за радіоканалом на дозволеному ISM діапазоні радіочастот. Цей модуль обрано з урахуванням апаратно-програмної сумісності з мікропроцесорними платформами через стандартизований інтерфейс SPI.

Також авторами статті запропоновано під час побудови досліджуваної комп'ютеризованої системи радіомоніторингу використовувати топологію типу зірка, яка має централізоване управління та підтримує можливість видалення вузлів без порушення роботи всієї мережі, що є обов'язковим для роботи в польових умовах. Зовнішній вигляд цього модуля наведено на рис. 2, структурну схему – на рис. 3 та основні характеристики представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики радіомодуля nRF24L01

Параметр	Типове значення
Напруга живлення	від 1,9 до 3,6 В
Струм споживання	від 0,9 до 12,3 мА
Частота роботи	2,4 ГГц
Максимальна швидкість передачі даних	2 Мб/с
Максимальна дальність передачі	100 м

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд радіомодуля

Рисунок 2 – Структурна схема радіомодуля

До складу реалізованої системи також входять:

– мікропроцесорний модуль Arduino Uno, який виконується функції агрегації та обробки вимірювальної інформації, а також синхронізації сенсорів та модулів, що входять до складу системи [6];

– цифровий сенсор температури/вологості типу DHT 22, який використовується для on-line моніторингу температури й вологості у вигляді цифрового сигналу. Зовнішній вигляд сенсору наведено на рис. 3, структурну схему – на рис. 4 та основні характеристики представлено в табл. 2.

Рисунок 3 – Зовнішній вигляд сенсора DHT22

Рисунок 4 – Структурна схема сенсора DHT22

Таблиця 2 – Характеристики сенсора DHT22

Параметр	Типове значення
Напруга живлення	від 3,5 до 5.5В
Робочий діапазон температур	від -40 до +80 °C
Максимально споживаний струм	2,5 мА
Абсолютна похибка вимірювання температури	±0.5 °C
Робочий діапазон вологості	від 0 до 100 %
Абсолютна похибка вимірювання вологості	±2 %
Максимальна частота опитування сенсора	0,5 Гц

Під час вирішення поставленої науково-технічної задачі в статті використано: аналітичні методи дослідження; методи комп'ютерного аналізу результатів експериментальних досліджень, виконаних в лабораторних умовах на реальних об'єктах; методи аналізу й синтезу систем комп'ютеризованої системи радіомоніторингу; методика планування і виконання експериментальних досліджень і обробки результатів експерименту.

Результати розробки та досліджень. Загальний алгоритм розробленої системи полягає у безперервному моніторингу температури й вологості повітря під час вирощування зернових культур в умовах відкритого ґрунту, агрегації результатів спостережень на мікропроцесорному пристрої, передачі отриманих результатів на мікроконтролерний пристрій задля віддаленої обробки вимірювальної інформації та локальної індикації результатів вимірювального контролю [7–9]. Структурну схему розробленої комп'ютеризованої системи радіомоніторингу наведено на рис. 5.

Рисунок 5 – Структурна схема розробленої системи радіомоніторингу

Також у результаті проведених досліджень авторами створено макетний зразок комп'ютеризованої системи радіомоніторингу кліматичних параметрів. Принципову схему передачі даних реалізованої системи наведено на рис. 6. Зовнішній вигляд пристроїв передавання та приймання даних наведено на рис. 7а, б, відповідно.

Рисунок 6 – Принципова схема передавача даних

модулем nRF24L0, мА; I_2 – середній струм споживання мікропроцесорною платформою Arduino Uno, мА; I_3 – середній струм споживання сенсором DHT22, мА.

– час роботи автономного джерела живлення знаходиться з виразу:

$$t = \frac{C_{\text{ж}}}{I_{\Sigma}} = \frac{800}{57,8} = 13,5 \text{ год}, \quad (2)$$

де t – час автономної роботи системи, год; $C_{\text{ж}}$ – типове значення електричної ємності джерела живлення, мА·год; I_{Σ} – середнє значення загального споживаного струму, мА.

– відповідно до стандарту 802.15.4 максимальний робочий цикл пристрою не повинен перевищувати 1 % від загального часу роботи, отже, реальне значення витрати енергії може бути розраховане за формулою:

$$E = \frac{I_{\text{РОМ}} - I_{\text{РОР}}}{I_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{(0,091 - 0,0009)}{57,8} \cdot 100 = 0,16 \%, \quad (3)$$

де E – робочий цикл реалізованого пристрою, %; I_{Σ} – середнє значення загального споживаного струму, мА; $I_{\text{РОМ}}$ – середнє значення споживаного струму в режимі очікування мікроконтролера, мА; $I_{\text{РОР}}$ – середнє значення струму в режимі очікування радіомодуля, мА.

– час активної дії пристрою протягом години розраховується за формулою:

$$t_{\text{АКТ}} = \frac{1 \text{ год}}{100 \%} \cdot E = 5,8 \text{ с} \quad (4)$$

де $t_{\text{АКТ}}$ – тривалість активної дії пристрою протягом 1 години, мс; E – робочий цикл реалізованого пристрою, %.

– середній час обміну даними, який було визначено шляхом лабораторних випробувань становить 10 мс. Отже, кількість активних дії може бути обчислена наступним чином:

$$N = \frac{t_{\text{АКТ}}}{\tau} = \frac{5,76}{0,01} = 576, \quad (5)$$

де N – кількість активних дій за період роботи; $t_{\text{АКТ}}$ – тривалість активної дії пристрою протягом 1 год, с; τ – середній час обміну даними, с.

Таким чином, у результаті проведених розрахунків за формулами (1) – (5) встановлено, що реалізована комп'ютеризована система радіомоніторингу кліматичних параметрів під час вирощування зернових культур у середньому може стабільно працювати від 8 до 10 місяців від серійного автономного джерела живлення номіналом 800 мА·год.

Висновки. В наведеній статті представлено результати досліджень із розробки структурної схеми, апаратно-програмної реалізації й експериментальних випробувань макетного зразка комп'ютеризованої системи радіомоніторингу кліматичних параметрів під час вирощування зернових культур. Основними результатами є:

– проведено аналіз відомих результатів досліджень у предметній області розробки й дослідження комп'ютеризованих вимірювачів кліматичних параметрів під час вирощування зернових культур із використанням бюджетних радіотехнологій, що дозволило поставити вимоги до апаратної й програмної компонент системи;

– обґрунтовано структурну схему комп'ютеризованої системи радіомоніторингу кліматичних параметрів під час вирощування зернових культур на базі сучасної серійної

компонентної бази та програмного забезпечення, що дозволило реалізувати макет системи;

– проведено експериментальні лабораторні випробування макетного зразка реалізованого комп'ютеризованого вимірювача з кількісним аналізом його функціональних й технологічних параметрів, що дозволило оцінити основні характеристики системи та визначитись з вектором подальших пріоритетних досліджень.

Перелік використаної літератури

1. Материнська, О.А. Роль виробництва зернових у розвитку АПК України і формуванні продовольчої безпеки / О.А. Материнська // Економіка розвитку. – Харків, 2013. – № 3 (67). – С. 103 – 106.
2. Geomap [Електронний ресурс]: Рослинництво. Електронний підручник. – Режим доступу: <https://geomap.com.ua/ru-g9/925.html>. – Назва з титул. екрана.
3. LoRaWANTM [Електронний ресурс]: A technical overview. – Режим доступу: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>. – Назва з титул. екрана.
4. Григор'єв, В.А. Мережі і системи бездротового доступу / В.А. Григор'єв., О.І. Лагутенко, Ю.А. Распопов. – М.: Екотрендз, 2005. – 381 с.
5. Gaddam, A. Designing a wireless sensors network for monitoring and predicting droughts / A. Gaddam, M. Al-Hrooby, W.F. Esmael // Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology (ICST-2014). – Liverpool, 2014. – P. 210 – 215.
6. Зорі, А.А. Сучасні мікроконтролери. Теорія і практика використання стандартних модулів Arduino / А.А. Зорі, В.П. Тарасюк, О.А. Штепа, 2017. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ». – 226 с.
7. Laktionov, I. Concept of low cost computerized measuring system for microclimate parameters of greenhouses / I. Laktionov, O. Vovna, A. Zori // Bulg. Journal of Agricultural Science. – Sofia, 2017. – Vol. 23 (No 4). – P. 668 – 673.
8. Laktionov, I.S. Planning of remote experimental research on effects of greenhouse microclimate parameters on vegetable crop-producing / I.S. Laktionov, O.V. Vovna, A.A. Zori // Int. J. On Smart Sens. and Int. Systems. – Palmerston North, 2017. – Vol. 10 (4). – P. 845 – 862.
9. Laktionov, I. Improved computer-oriented method for processing of measurement information on greenhouse microclimate // I. Laktionov, O. Vovna, Ye. Bashkov, A. Zori, V. Lebediev // International Journal Bioautomation. – Sofia, 2019. – Vol. 23 (1). – P. 71–86.
10. Builds the smart home [Електронний ресурс]: Розрахунок витрат заряду акумулятора. – Режим доступу: <https://rus.z-wave.me/z-wave-knowledge-base/about-z-wave/configuring-z-wave-battery-powered-devices/detailed-calculation-of-battery-consumption/>. – Назва з титул. екрана.
11. Сенько, В.Ф. Теорія електричних кіл. Практикум: навч. посіб. / В.Ф. Сенько, О.В. Вовна, І.С. Лактіонов. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2018. – 214 с.

References

1. Materynska, O. (2013), «The role of grain crop production in the development of ukrainian agroindustrial complex and food security», *Economics of Development*, no. 3 (67), pp. 103 – 106.
2. Geomap (2019). Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <https://geomap.com.ua/ru-g9/925.html> (Accessed 21 Aug. 2019).
3. LoRaWANTM (2019). Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04> (Accessed 19 Aug. 2019).
4. Grygor'yev, V.A., Lagutenko, O.I., Raspopov, Yu.A. (2005). *Merezhi i systemy bezdrotovoogo dostupu* [Networks and wireless access systems], EcoTrends, Moscow, Russian Federation.
5. Gaddam, A., Al-Hrooby, M., Esmael, W.F. (2014). Designing a wireless sensors network for monitoring and predicting droughts, *Proceedings of the 8th International Conference on Sensing*

Technology (ICST-2014), pp. 210 – 215.

6. Zori, A.A., Tarasyuk, V.P., Shtepa, O.A. (2017). *Suchasni mikrokontrolery. Teoriya i praktyka vykorystannya standartnykh moduliv Arduino* [Modern microcontrollers. Theory and practice of using standard Arduino modules], SHEE «DonNTU», Pokrovs'k, Ukraine.

7. Laktionov, I., Vovna, O., Zori, A. (2017). «Concept of low cost computerized measuring system for microclimate parameters of greenhouses», *Bulg. Journal of Agricultural Science*, vol. 23 (4), pp. 668 – 673.

8. Laktionov, I.S., Vovna, O.V., Zori, A.A. (2017). «Planning of remote experimental research on effects of greenhouse microclimate parameters on vegetable crop-producing», *International Journal On Smart Sensing and Intelligent Systems*, vol. 10 (4), pp. 845 – 862.

9. Laktionov, I., Vovna, O., Bashkov, Ye., Zori, A., Lebediev, V. (2019). «Improved computer-oriented method for processing of measurement information on greenhouse microclimate», *International Journal Bioautomation*, vol. 23 (1), pp. 71 – 86.

10. Builds the smart home (2019). Electronic Resources: finding resources by subject [online], Retrieved from: <https://rus.z-wave.me/z-wave-knowledge-base/about-z-wave/configuring-z-wave-battery-powered-devices/detailed-calculation-of-battery-consumption/> (Accessed 23 Aug. 2019).

11. Senko, V.F., Vovna, O.V., Laktionov, I.S. (2018). *Teoriya elektrychnykh kil. Praktikum: navch. posib.* [The theory of electric circuits. Practice: teaching tool], SHEE «DonNTU», Pokrovs'k, Ukraine.

И.С. Лактионов, Э.А. Петелин, В.А. Лебедев, С.В. Михайловский

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Разработка компьютеризированной системы удаленного радиомониторинга климатических параметров в процессе выращивания зерновых культур. Представленная статья посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи по повышению эффективности выращивания зерновых культур в Украине путем разработки структурно-алгоритмической организации и внедрения компьютеризированной системы радиомониторинга климатических параметров в процессе их выращивания. В статье проведен анализ известных результатов исследований в предметной области разработки и исследования компьютеризированных измерителей климатических параметров в процессе выращивания зерновых культур с использованием бюджетных радиотехнологий. В результате этого были сформулированы требования к аппаратной и программной компонентам системы. Обоснована структурная схема компьютеризированной системы удаленного радиомониторинга климатических параметров во время выращивания зерновых культур на базе современной серийной компонентной базы и программного обеспечения. Это позволило спроектировать и реализовать макетный образец данной системы. Проведены экспериментальные лабораторные испытания макетного образца реализованного компьютеризированного измерителя с количественным анализом его функциональных и технологических параметров. Выполнена оценка основных характеристик системы и определен вектор ее дальнейших приоритетных исследований.

Ключевые слова: компьютеризированная система, радиомониторинг, климатические параметры, выращивание, точность.

I.S. Laktionov, E.A. Petelin, V.A. Lebediev, S.V. Mykhailovskiy

SHEI "Donetsk National Technical University"

Development of the computerized system for remote radio-monitoring of the climatic parameters during crops growing. The presented article is devoted to solving the actual scientific and applied problem. This task is the efficiency improving of grain crops cultivation in Ukraine through the development of the structural and algorithmic organizations and computerized radio-monitoring system introduction into the growing process. An analysis of the known research results in the

subject area of development and research of computerized meters of climatic parameters during the crops growing process using low-cost radio technologies has been carried out in this article. As a result of this, the requirements for the hardware and software components of the computerized system for remote radio-monitoring of the climatic parameters during crops growing have been formulated. The structural diagram of the computerized system for remote radio-monitoring of the climatic parameters has been justified for the crops growing on the basis of modern serial component base and software. This allowed to design and implement a prototype of investigated system. Experimental laboratory tests of the implemented computerized meter prototype with a quantitative analysis of its functional and technological parameters have been carried out. An assessment of the systems' main characteristics has been carried out and the vector of its further priority research has been determined. The priority research of the developed computerized radio-monitoring system is identified in order to increase the productivity of industrial agrarian complexes. The necessity of improving the proposed structural system and confirming the adequacy of its implementation efficiency on yield indicators of crops has been substantiated.

Keywords: computerized system, radio-monitoring, climatic parameters, cultivation, accuracy.

Лактіонов Іван Сергійович, Україна, закінчив ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85301, Україна). Основний напрямок наукової діяльності – прогресивні технології з підвищення ефективності комп'ютеризованих вимірювачів фізико-хімічних параметрів мікроклімату штучних екосистем.

Петелін Едуард Анатолійович, Україна, закінчив Донецький національний технічний університет, доцент кафедри електронної техніки факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна). Основний напрямок наукової діяльності – енергозбереження.

Лебедєв Владислав Андрійович, Україна, закінчив ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», асистент кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85301, Україна). Основний напрямок наукової діяльності – методи та засоби контролю параметрів мікроклімату промислових теплиць; мікропроцесорні технології.

Михайловський Сергій Віталійович, Україна, магістрант кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85301, Україна). Основний напрямок наукової діяльності – методи та засоби моніторингу атмосферних параметрів під час вирощування зернових культур; мікропроцесорні технології.