

**І.С. Лактіонов, к.т.н., доц.
О.В. Вовна, д.т.н., проф.
В.А. Лебедев, асистент
Г.А. Лактіонова, асистент**

Донецький національний технічний університет

Результати розробки та дослідження комп'ютеризованої системи моніторингу кліматичних параметрів для сільськогосподарських об'єктів

Сьогодні більшість країн світу спрямовує вектор науково-практичного розвитку на впровадження сучасних комп'ютерних інформаційно-вимірвальних технологій до аграрного сектору, що позитивно впливає на зростання національної економіки. Одним із найбільш важливих та інформативних етапів вирощування культур на відкритому ґрунті є об'єктивне планування агротехнічних робіт з обліком кліматичних факторів у режимі реального часу. Основна мета статті полягає в обґрунтуванні структурно-алгоритмічної організації комп'ютеризованої системи моніторингу кліматичних параметрів для сільськогосподарських об'єктів під час вирощування зернових культур, що дозволить підвищити ефективність агротехнічних заходів із вирощування культур у польових умовах. У статті було проведено аналіз та логічне узагальнення відомих результатів досліджень у предметній області розробки й впровадження комп'ютеризованих систем моніторингу кліматичних параметрів, що дозволило обґрунтувати перспективні завдання досліджень роботи.

Основними науково-практичними результатами статті є: обґрунтування компонентної бази досліджуваної системи комп'ютеризованого моніторингу з обліком польових умов експлуатації; розробка програмної компоненти досліджуваної системи комп'ютеризованого моніторингу кліматичних параметрів; обґрунтування структурно-алгоритмічної організації системи комп'ютеризованого моніторингу; лабораторні й польові тестування розробленої системи; обґрунтування рекомендацій щодо впровадження до реальних умов експлуатації. Також у наведеній науковій роботі обґрунтовано перспективні напрями досліджень, які спрямовано на досягнення практичного ефекту від впровадження розробленої системи до сільськогосподарських підприємств.

Ключові слова: *комп'ютеризована система; клімат; апаратно-програмне забезпечення; тестування; польові умови.*

Актуальність теми. У теперішній час більшість країн спрямовує вектор наукового розвитку на впровадження сучасних комп'ютерних та інфокомунікаційних технологій до аграрного сектору, що позитивно впливає на зростання національної економіки. Вирощування зернових культур в умовах відкритого ґрунту є однією з найбільш популярних і розвинених галузей сільського господарства України. У свою чергу зернові культури є основними продуктами рослинництва та сировиною для багатьох галузей промисловості. Основними зонами виробництва зерна в Україні є степова та лісостепова зони, що виробляють від 40 до 45 % загального обсягу відповідної продукції. Одним із найбільш впливових етапів вирощування культур на відкритому ґрунті є раціональне планування робіт з обліком кліматичних факторів. Завдяки об'єктивному обґрунтуванню плану агротехнічних робіт сільськогосподарські компанії мають змогу підвищити врожайність і зменшити економічні витрати на догляд за культурами протягом періоду вирощування. Отже, дослідження й впровадження високопрецизійних засобів комп'ютеризованого моніторингу за кліматичними параметрами в режимі реального часу дає змогу аграрним виробництвам використовувати точні дані про погодні умови для планування й корегування технологічних процедур вирощування культур на відкритому ґрунті [1, 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні підходи до вирощування культур є наукоємними та вимагають безперервного вдосконалення апаратно-програмних засобів комп'ютерно-інтегрованого моніторингу за параметрами клімату. Цей факт підтверджується значною кількістю наукових публікацій і технічних розробок у галузі цифровізації й автоматизації сільського господарства. Наприклад, у науковій роботі [3] наведено результати розробки й експлуатації портативної мікропроцесорної метеостанції для екстремальних умов експлуатації. У [4, 5] – основні результати досліджень метеостанцій на базі доступних мікропроцесорних платформ Arduino Uno. У наукових публікаціях [6, 7] представлено результати розробки апаратно-програмних рішень комп'ютеризованих метеостанцій із використанням бюджетних мікропроцесорних пристроїв та інфокомунікаційної технології обміну даними ZigBee. У [8–10] авторами обґрунтовано основні науково-прикладні

положення з побудови та дослідження комп'ютеризованих систем моніторингу й керування технологічними процесами вирощування овочевих культур.

У [11] викладено основні вимоги до ґрунто-кліматичних умов вирощування зернових культур, а також зазначено основні якісні й кількісні характеристики впливу заявлених ґрунто-кліматичних параметрів на врожайність вирощуваних культур.

Таким чином, на підставі проведеного аналізу та логічного узагальнення існуючих результатів досліджень із розробки та впровадження комп'ютеризованих систем моніторингу кліматичних параметрів для сільськогосподарських об'єктів було встановлено, що на сьогодні недостатню увагу приділено вирішенню завдань побудови систем комплексного високопрецизійного моніторингу з можливістю бездротової передачі даних до віддалених об'єктів агрегації й візуалізації вимірювальної інформації. Також з'ясовано, що в більшості наукових робіт автори зауважують значну наукоємність проблем у цій науково-технічній галузі, що обумовлює актуальність проведення досліджень із розробки подібних систем.

Метою статті є проведення досліджень із обґрунтування структурно-алгоритмічної організації комп'ютеризованої системи моніторингу кліматичних параметрів для сільськогосподарських об'єктів під час вирощування зернових культур, що дозволить підвищити ефективність агротехнічних заходів із вирощування культур у польових умовах.

Основні завдання досліджень:

- критичний аналіз та логічне узагальнення відомих результатів досліджень у предметній області розробки й впровадження комп'ютеризованих систем моніторингу кліматичних параметрів;
- обґрунтування компонентної бази досліджуваної системи комп'ютеризованого моніторингу з обліком польових умов експлуатації;
- розробка програмної компоненти досліджуваної системи комп'ютеризованого моніторингу кліматичних параметрів;
- обґрунтування структурно-алгоритмічної організації системи комп'ютеризованого моніторингу;
- проведення натурних випробувань розробленої системи з обґрунтуванням рекомендацій щодо впровадження до реальних умов експлуатації.

Викладення основного матеріалу. У статті спроектовано, реалізовано та експериментально досліджено макетний зразок комп'ютеризованої системи моніторингу кліматичних параметрів для сільськогосподарських об'єктів, призначенням якої є агрегація та передача вимірювальної інформації до віддалених місць її обробки й аналізу.

Розроблена система базується на мікропроцесорній платформі Arduino Mega 2560 та модулі SIM 900, який призначено для бездротового обміну інформацією за технологіями GSM і GPRS [12]. Також до складу системи входить блок сенсорів фізико-хімічних кліматичних параметрів. Основні функціональні й метрологічні характеристики сенсорів наведено у таблиці 1.

Розроблена структурна схема пристрою враховує актуальні вимоги до інформаційно-вимірювальних систем, побудована на сучасній і доступній компонентній базі та хмарних інфокомунікаційних технологіях. Узагальнену структурну схему експериментального зразка системи наведено на рисунку 1.

Принцип дії досліджуваної системи полягає у виконанні наступних операцій:

- підключення бібліотек, що необхідні для роботи сенсорів та модулів;
- налаштування портів та ініціалізація підключених пристроїв, а також налаштування швидкості обміну даними між модулями;
- синхронізоване у часі опитування вимірювальних каналів комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи;
- аналого-цифрове перетворення та первинна цифрова обробка отриманої інформації, а також координація часу;
- відправка даних за технологіями GSM та GPRS.

Таблиця 1

Характеристики використаних сенсорів

Сенсор	Кількість	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювання
Сенсор температури повітря	2	від -40 до +85 °C	±0,5 °C
Сенсор вологості повітря	2	від 0 до 100 %	±3 %
Сенсор атмосферного тиску	2	від 225 до 825 мм рт. ст.	±0,75 мм рт. ст.
Сенсор температури ґрунту	1	від -10 до +85 °C	±0,5 °C
Сенсор вологості ґрунту	3	від 0 до 100 %	±5 %
Сенсор опадів	1	не більше 30 мм/хв	±2 %
Сенсор швидкості вітру	1	від 0 до 30 м/с	±3 %
Сенсор напрямку вітру	1	від 0 до 360 °	±3 %

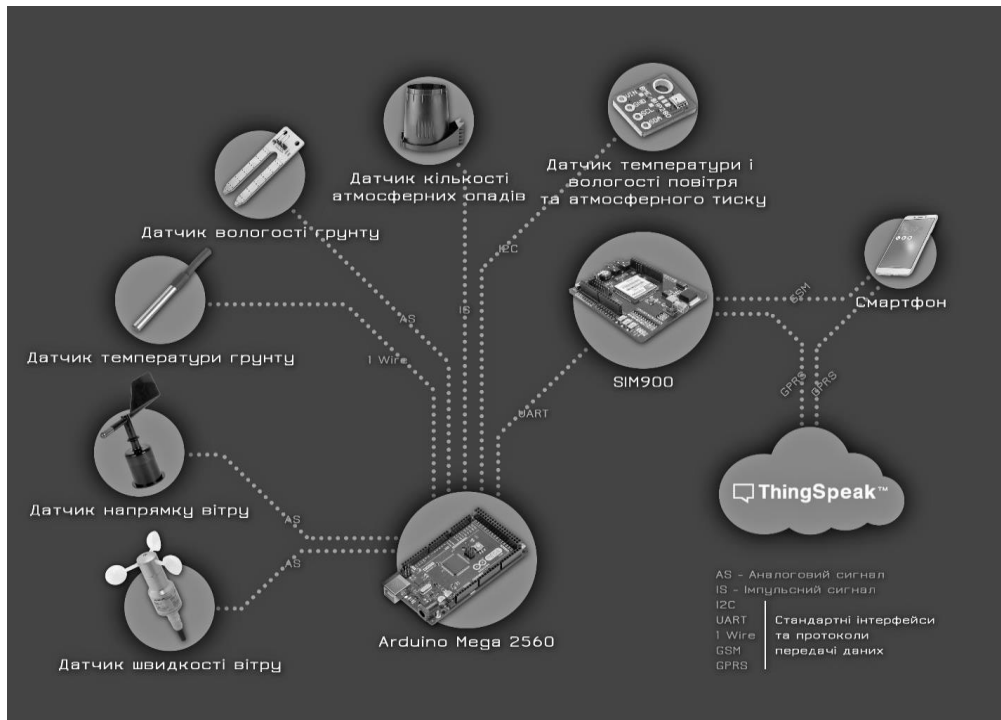


Рис. 1. Структурна схема комп'ютеризованої системи моніторингу кліматичних параметрів

У результаті синтезу програмної компоненти досліджуваної комп'ютеризованої системи було реалізовано скетч головної програми, яка реалізує функції агрегації та передачі інформації за технологіями GSM і GPRS. Блок-схему алгоритму роботи головної програми з відповідними фрагментами коду наведено на рисунку 2.

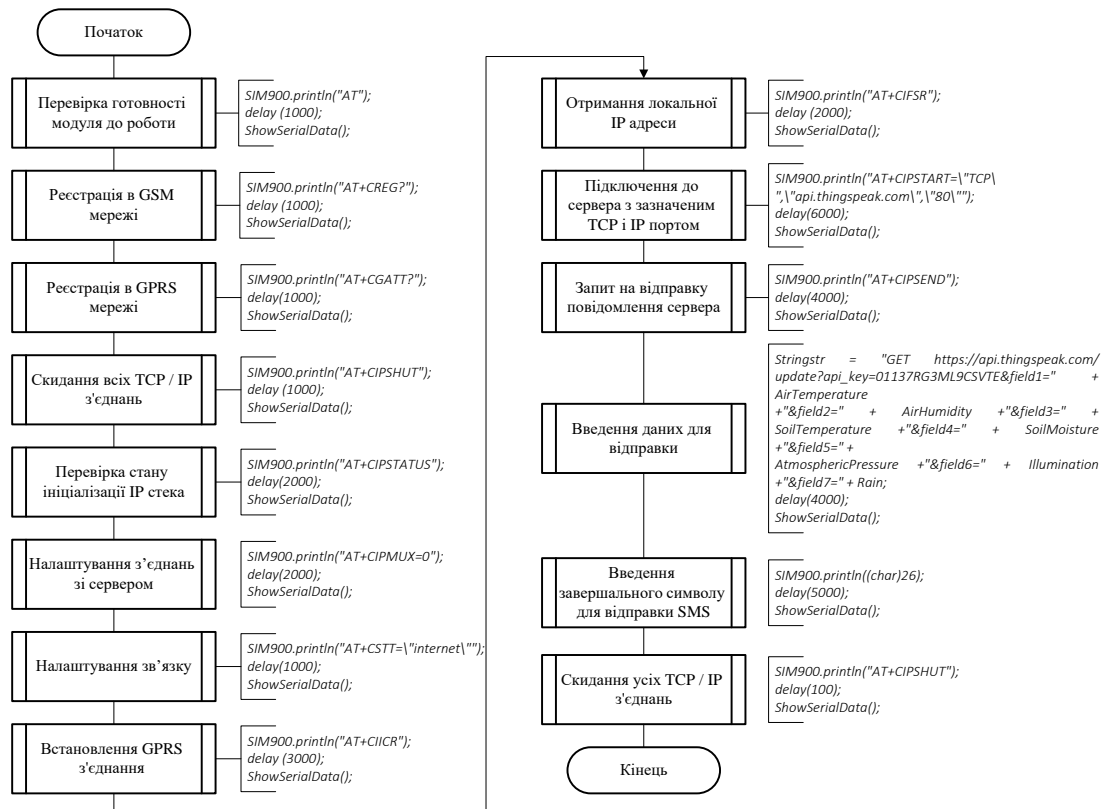


Рис. 2. Блок-схема алгоритму роботи головної програми системи

Під час розробки програмної компоненти системи основну увагу було приділено реалізації функції відправки SMS-повідомлень оператору сільськогосподарської станції, адже від безперервної та надійної роботи такої функції залежить якість планування й виконання агротехнічних робіт. Блок-схему реалізованої функції з фрагментами коду з використанням AT-команд наведено на рисунку 3.

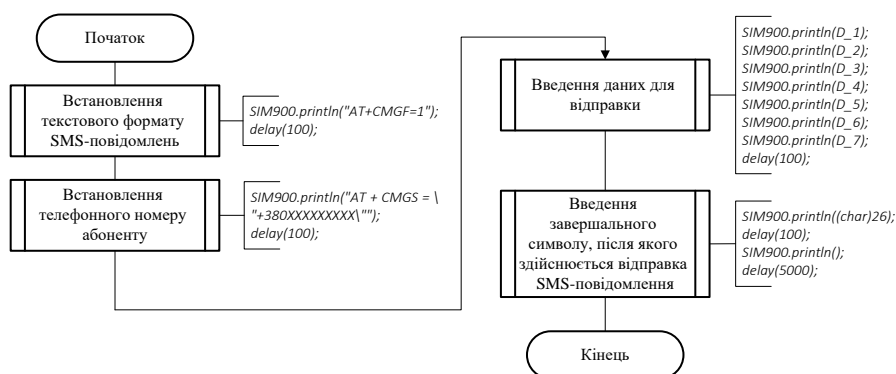


Рис. 3. Блок-схема функції відправлення SMS-повідомлень

Під час тестування розробленого експериментального зразка комп'ютеризованої системи було отримано задовільні результати, які доводять первинну можливість впровадження розробки до польових умов експлуатації.

Результати польових експериментальних досліджень комп'ютеризованої системи моніторингу кліматичних параметрів для сільськогосподарських об'єктів щодо функціональної та метрологічної надійності роботи вузлів і блоків системи за технологією GPRS із використанням сервісу хмарних обчислень IoT ThingSpeak наведено на рисунку 4.

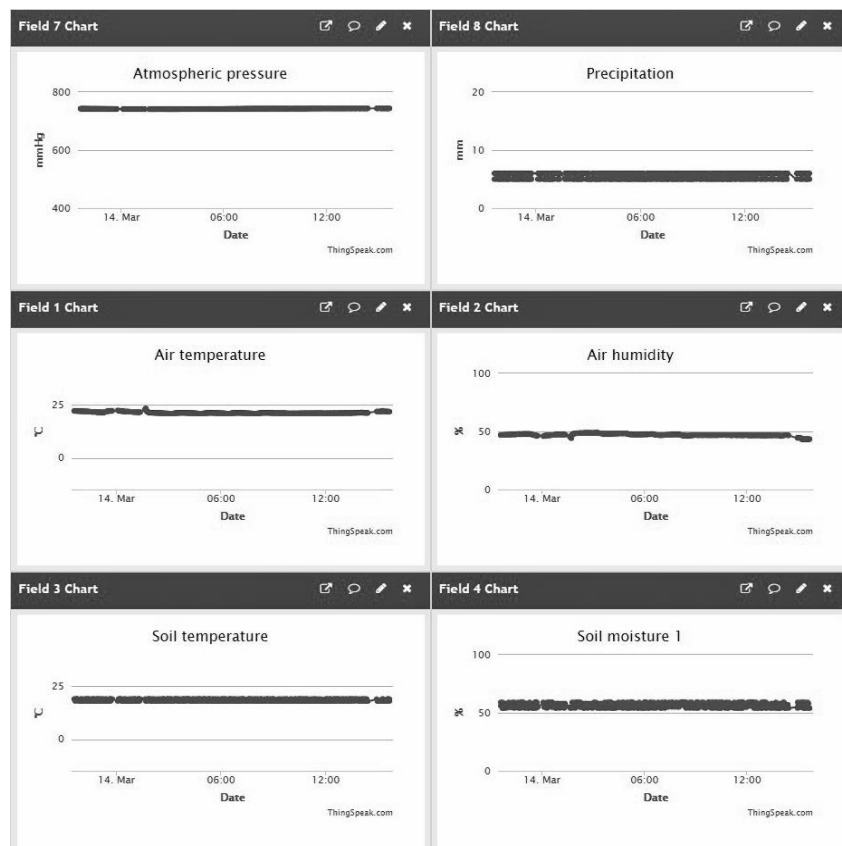


Рис. 4. Результати функціонування системи за технологією GPRS

На рисунку 5 наведено результати випробувань системи в польових умовах щодо бездротового обміну інформацією за технологією GSM.

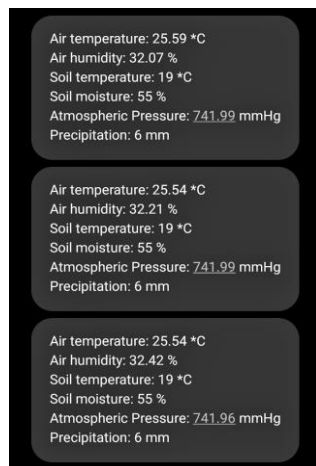


Рис. 5. Результати відправки SMS-повідомлення

Таким чином, на підставі якісного й кількісного аналізу отриманих результатів можна зробити висновок щодо доцільності впровадження розробленої та дослідженої комп'ютеризованої системи моніторингу кліматичних параметрів для сільськогосподарських об'єктів як автономної вимірювальної станції задля реалізації функцій раціонального планування й виконання агротехнічних робіт. З метою подальшого розвитку отриманих результатів досліджень і підтвердження адекватності ефективності впровадження розробки на показники врожайності польових культур виникає необхідність проведення комплексних досліджень щодо метрологічної та функціональної надійності системи в критичних умовах експлуатації.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У статті була досягнута основна мета досліджень, яка полягала в обґрунтуванні структурно-алгоритмічної організації комп'ютеризованої системи моніторингу кліматичних параметрів для сільськогосподарських об'єктів під час вирощування зернових культур, що у перспективі дозволить підвищити ефективність агротехнічних заходів із вирощування культур у польових умовах. Основними науково-практичними результатами статті є: обґрунтування компонентної бази досліджуваної системи комп'ютеризованого моніторингу з обліком польових умов експлуатації; розробка програмної компоненти досліджуваної системи комп'ютеризованого моніторингу кліматичних параметрів; обґрунтування структурно-алгоритмічної організації системи комп'ютеризованого моніторингу; лабораторні й польові тестування розробленої системи; обґрунтування рекомендацій щодо впровадження до реальних умов експлуатації. Перспективними напрямками досліджень розробленої комп'ютеризованої системи вимірювального моніторингу є: адаптація апаратно-програмної реалізації вимірювача до різкої динаміки кліматичних умов експлуатації; оцінка динамічної складової похибки вимірювання кліматичних параметрів; підвищення надійності функціоналу бездротового обміну інформацією; забезпечення автономного живлення системи з використанням енергозберігаючих технологій; прогнозування інвестиційної привабливості впровадження розробленої системи в умови підприємств малого й середнього бізнесу.

Список використаної літератури:

1. *Материнська О.А.* Роль виробництва зернових у розвитку АПК України і формуванні продовольчої безпеки / *О.А. Материнська* // Економіка розвитку. – 2013. – № 3 (67). – С. 103–106.
2. Рослинництво : електронний підручник [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://geomap.com.ua/ru-g9/925.html>.
3. *Netto G.T.* Open-source Automatic Weather Station and Electronic Ablation Station for measuring the impacts of climate change on glaciers / *G.T. Netto, J.Arigony-Neto* // HardwareX. – 2019. – Vol. 5. – P. 1–13.
4. *Mahmood S.N.* Design of Weather Monitoring System Using Arduino Based Database Implementation / *S.N. Mahmood, F.F. Hasan* // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology. – 2017. – Vol. 4 (4). – P. 7109–7117.
5. *Katyal A.* Wireless Arduino Based Weather Station / *A.Katyal, R.Yadav, M.Pandev* // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – 2016. – Vol. 5 (4). – P. 274–276.
6. Arduino based automatic wireless weather station with remote graphical application and alerts / *H.Saini, A.Thakur, S.Ahuja and other* // 3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks. – 2016. – P. 605–609.
7. Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee / *Z.Kh. Hussein, H.J. Hadi, M.R. Abdul-Mutaleb, Y.S. Mezaal* // TELKOMNIKA. – 2020. – Vol. 18 (1). – P. 282–288.
8. Results of simulation and physical modeling of the computerized monitoring and control system for greenhouse microclimate parameters / *I.S. Laktionov, O.V. Vovna, A.A. Zori, V.A. Lebediev* // International Journal On Smart Sensing and Intelligent Systems. – 2018. – Vol. 11 (1). – P. 1–15.

9. 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*. – 2017. – Vol. 23 (4). – P. 668–673.
10. 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 // *International Journal On Smart Sensing and Intelligent Systems*. – 2017. – Vol. 10 (4). – P. 845–862.
11. Вимоги до ґрунто-кліматичних умов зернових культур [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://agromage.com/stat_id.php?id=86.
12. SIM 900 GSM/GPRS [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://simcom.ee/modules/sim900/>.

References:

1. Materyns'ka O.A. (2013), «Rol' vyrobnytstva zernovykh u rozvytku APK Ukrainy i formuvanni prodovol'choi bezpeky», *Ekonomika rozvytku*, No. 3 (67), pp. 103–106.
2. «Roslynnystvo», elektronnyy pidruchnyk, [Online], available at: <https://geomap.com.ua/ru-g9/925.html>
3. Netto, G.T. and Arigony-Neto, J. (2019), «Open-source Automatic Weather Station and Electronic Ablation Station for measuring the impacts of climate change on glaciers», *HardwareX*, Vol. 5, pp. 1–13.
4. Mahmood, S.N. and Hasan, F.F. (2017), «Design of Weather Monitoring System Using Arduino Based Database Implementation», *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, Vol. 4 (4), pp. 7109–7117.
5. Katyal, A., Yadav, R. and Pandev, M. (2016), «Wireless Arduino Based Weather Station», *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 5 (4), pp. 274–276.
6. Saini, H., Thakur, A., Ahuja, S. and other (2016), «Arduino based automatic wireless weather station with remote graphical application and alerts», *3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks*, pp. 605–609.
7. Hussein, Z.Kh., Hadi, H.J., Abdul-Mutaleb, M.R. and Mezaal, Y.S. (2020), «Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee», *TELKOMNIKA*, Vol. 18 (1), pp. 282–288.
8. Laktionov, I.S., Vovna, O.V., Zori, A.A. and Lebediev, V.A. (2018), «Results of simulation and physical modeling of the computerized monitoring and control system for greenhouse microclimate parameters», *International Journal On Smart Sensing and Intelligent Systems*, Vol. 11 (1), pp. 1–15.
9. Laktionov, I., Vovna, O. and 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.
10. Laktionov, I., Vovna, O. and Zori, 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.
11. «Vymohy do ґрунто-кліматичnykh umov zernovykh kultur», [Online], available at: https://agromage.com/stat_id.php?id=86
12. «SIM 900 GSM / GPRS datasheets», [Online], available at: <https://simcom.ee/modules/gsm-gprs/sim900/>

Лактіонов Іван Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України.

Наукові інтереси:

- прогресивні комп'ютеризовані технології моніторингу й керування мікрокліматом теплиць.
<https://orcid.org/0000-0003-4433-7097>.

Вовна Олександр Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України.

Наукові інтереси:

- методи і засоби підвищення точності та швидкодії інформаційно-вимірювальних систем.
<https://orcid.org/0000-0003-4433-7097>.

Лебедєв Владислав Андрійович – асистент кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України.

Наукові інтереси:

- методи та засоби контролю параметрів мікроклімату промислових теплиць.
<https://orcid.org/0000-0002-0399-0981>.

Лактіонова Ганна Анатоліївна – асистент кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України.

Наукові інтереси:

- програмні компоненти комп'ютеризованих засобів вимірювань.
<https://orcid.org/0000-0002-6040-2648>.

Стаття надійшла до редакції 03.04.2020.