

УДК 621.317.2:634.1-13

І.С. Лактіонов, канд. техн. наук  
О.В. Вовна, д-р техн. наук, доц.  
А.А. Зорі, д-р техн. наук, проф.  
ivan.laktionov@donntu.edu.ua  
oleksandr.vovna@donntu.edu.ua  
zori\_aa@mail.ru

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, Україна

## Реалізація комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових теплиць

У статті проведено дослідження з розробки апаратно-програмного забезпечення комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових теплиць. У результаті проведених досліджень обґрунтовано структурно-алгоритмічну організацію системи та поставлено вимоги до метрологічних і технічних характеристик її вимірювальних каналів. Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує можливість віддаленого on-line моніторингу та ручного й автоматичного керування технологічними процесами в теплицях із використанням мобільних пристроїв. Проведено лабораторні випробування розробленої комп'ютеризованої системи на базі сконструйованої фізичної моделі промислової теплиці. Обґрунтовано пріоритетні напрямки подальших теоретичних та експериментальних досліджень системи задля підвищення ефективності штучних екосистем із вирощування овочевої продукції.

**Ключові слова:** комп'ютеризована система, апаратно-програмне забезпечення, моніторинг, керування, теплиця, фізична модель.

### Вступ

Одним із головних факторів, що впливають на розвиток національної економіки на сучасному етапі є рівень продовольчої безпеки країни. На

т  
ану, при якому населення країни в кожен момент часу має фізичний, соціальний та економічний доступ до достатньої кількості якісної продукції харчування, що відповідає їхнім потребам і дозволяє вести активний і здоровий спосіб життя – багато в чому визначається рівнем розвитку національного агропромислового комплексу. При цьому під час розвитку агропромислового сектору, окрім горизонтального масштабування площ, що використовуються задля вирощування с/г культур, існує необхідність у збільшенні ефективності та продуктивності аграрних підприємств із захищеними ґрунтами. Така тенденція обумовлена кліматичними, географічними та структурно-галузевими особливостями розвитку с/г сегменту України в цілому та її окремих регіонів.

Завдяки швидким темпам розвитку інформаційних та інфокомунікаційних технологій, появі нових і бюджетних мікропроцесорних пристроїв моніторингу та керування технологічними процесами з вирощування с/г продукції можна досягти бажаного ефекту підвищення ефективності та продуктивності промислових тепличних комплексів.

Більшість наявних методів та засобів моніторингу та керування мікрокліматом промислових

сьогоднішній день актуальним залишається питання щодо забезпечення потреб населення продукцією вітчизняних сільськогосподарських (с/г) підприємств. Досягнення необхідного с

теплиць характеризуються загальним вагомим недоліком, який полягає у тому, що відомі серійні зразки не реалізують функцій віддаленого вимірювального контролю повного переліку фізико-хімічних параметрів мікроклімату штучних екосистем із необхідними метрологічними характеристиками, що регламентується нормативними документами [1, 2]. Також до недоліків існуючих інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) параметрів мікроклімату промислових теплиць можна віднести наступне:

– відсутність науково-обґрунтованих алгоритмів функціонування комп'ютеризованих систем моніторингу й керування, які мають бути адаптивними до типів та фаз зростання культур;

– відсутність методів, методик та засобів компенсації взаємно дестабілізуючих впливів вимірюваних параметрів мікроклімату теплиць;

– відсутність функції прогнозування динаміки фізико-хімічних параметрів.

Отже, вирішення проблеми модернізації штучних екосистем із захищеними ґрунтами з виробництва продукції рослинництва можна досягти за рахунок розробки, дослідження та впровадження сучасних методів і засобів моніторингу та керування технологічними процесами промисло-

вих теплиць. Рішення даної науково-технічної задачі дозволить розробити науковий підхід щодо обґрунтування агротехнічних заходів із покращення показників темпів і обсягів виробництва с/г тепличної продукції.

### Постановка задачі дослідження

Мета статті полягає у розвитку теоретичних та практичних досліджень із вдосконалення технологічних процесів аграрних підприємств із захищеними ґрунтами за рахунок обґрунтування структурно-алгоритмічної організації та розробки апаратно-програмного забезпечення комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових теплиць.

Задля досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено наступні задачі:

- проаналізовано регламентовані вимоги до метрологічних та функціональних характеристик засобів моніторингу й керування параметрами мікроклімату промислових теплиць;

- проведено аналіз відомих методів і апаратно-програмних рішень із моніторингу й керування параметрами мікроклімату теплиць;

- обґрунтовано структурно-алгоритмічну організацію досліджуваної комп'ютеризованої системи;

- розроблено та реалізовано апаратно-програмне забезпечення ІВС віддаленого моніторингу та керування параметрами мікроклімату теплиць із урахуванням сучасних тенденцій розвитку системотехнічних та інфокомунікаційних технологій;

- реалізовано фізичну модель промислової теплиці та проведено лабораторні випробування розробленого апаратно-програмного забезпечення макетного зразка комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та керування параметрами мікроклімату теплиць;

- обґрунтовано пріоритетні напрямки подальших досліджень із підвищення ефективності й продуктивності об'єктів агропромислового комплексу з захищеними ґрунтами за рахунок використання розробленого вимірювача.

### Розв'язання поставленої задачі досліджень

На підставі результатів проведеного аналізу актуальних регламентованих вимог щодо технологій вирощування овочевих культур на захищених ґрунтах [1, 2], а також результатів попередніх теоретичних та практичних досліджень авторів [3–5], було обґрунтовано узагальнену структурну організацію апаратної складової інформаційно-вимірювальної системи віддаленого моніторингу та керування фізико-хімічними параметрами мікроклімату промислових теплиць, яку наведено на рис. 1.

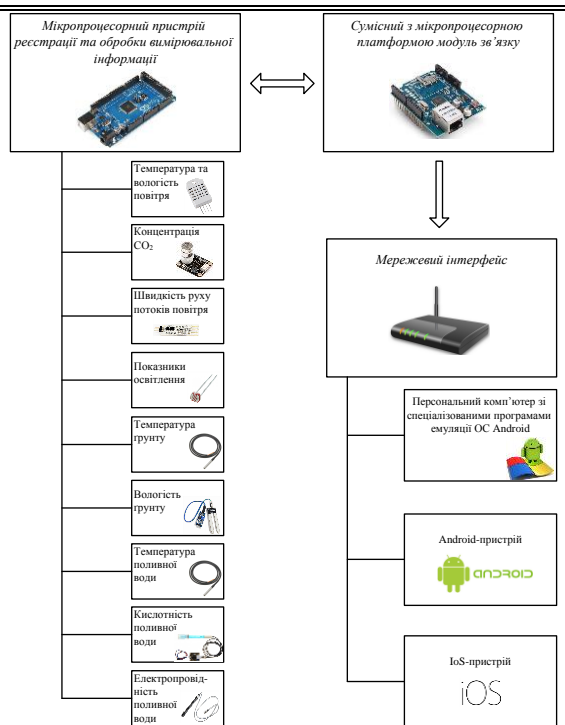


Рисунок 1 – Узагальнена структурна організація ІВС параметрів мікроклімату теплиць

До метрологічних характеристик вимірювальних каналів (ВК) досліджуваної комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та управління параметрами мікроклімату промислових теплиць, структуру якої наведено на рис. 1, висуваються такі вимоги [1, 2]:

- ВК температури повітря: діапазон вимірювання від 14 до 26 °С; допустима абсолютна похибка вимірювання  $\pm 1$  °С;

- ВК вологості повітря: діапазон вимірювання від 30 до 85 %; допустима відносна похибка вимірювання  $\pm 5$  %;

- ВК концентрації CO<sub>2</sub> у зоні вирощування культур: діапазон вимірювання від 0,05 до 0,33 <sup>06</sup>%; допустима похибка вимірювання – не нормується;

- ВК рівня освітленості зони вирощування з урахуванням фізіологічно значущих зон: діапазон вимірювання від 150 до 300 Вт/м<sup>2</sup>; допустима похибка вимірювання – не нормується;

- ВК температури ґрунту: діапазон вимірювання від 15 до 25 °С; допустима абсолютна похибка вимірювання  $\pm 1$  °С;

- ВК вологості ґрунту: діапазон вимірювання від 30 до 90 %; допустима відносна похибка вимірювання  $\pm 5$  %;

- ВК температури поливної води: діапазон вимірювання від 14 до 25 °С; допустима абсолютна похибка вимірювання  $\pm 1$  °С;

- ВК кислотності поливної води: діапазон вимірювання від 5 до 7 од.; допустима абсолютна похибка вимірювання  $\pm 0,2$  од.;

- ВК електропровідності поливної води:

діапазон вимірювання від 1,5 до 2,5 мСм/см; допустима відносна похибка вимірювання  $\pm 5\%$ .

Шляхом аналізу основних функціональних можливостей відомих систем автоматизації тепличних господарств [6, 7] встановлено, що розроблювана комп'ютеризована система має задовольняти наступним вимогам:

- безперервний on-line моніторинг заявлених фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових теплиць;

- локальна та віддалена реєстрація, обробка та індикація результатів вимірювального контролю параметрів мікроклімату;

- накопичення бази даних результатів вимірювального контролю;

- локальне та віддалене керування основними технологічними вузлами та блоками підсистем, що забезпечують ефективне зростання інтродукованих рослин, а саме: крапельне зрошування; світлодіодне досвічування; обігрів; вентиляція; підживлення  $\text{CO}_2$  та зволоження повітря.

Таким чином, задля реалізації базового функціонального забезпечення досліджуваної комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та керування було розроблено програмне забезпечення для мікропроцесорної платформи Arduino Mega 2560 та модуля зв'язку Ethernet Shield W5100 [8]. Вибір заявленого типу мікропроцесорної платформи обумовлено необхідною кількістю цифрових та аналогових входів для підключення сенсорів фізико-хімічних параметрів, які наведено на рис. 1, а також об'ємом флеш-пам'яті, яка необхідна для коректної роботи скетчу програми, блок-схему алгоритму якого наведено на рис. 2. Тип модуля зв'язку обрано на підставі показника ергономічності. Він підключається до мікропроцесорного модуля Arduino за допомогою стандартизованого послідовного периферійного інтерфейсу SPI та поєднує в собі два пристрої: SD Shield для реалізації функції накопичення бази даних результатів контролю фізико-хімічних параметрів та Ethernet Shield для реалізації функції мережевого обміну інформацією.

Програмне забезпечення, блок-схему алгоритму роботи якого наведено на рис. 2, було розроблено із використанням сервісу RemoteXY Pro [9], який призначено для розробки спеціалізованих мобільних графічних інтерфейсів віддаленого моніторингу та керування процесами за допомогою мобільних пристроїв на базі ОС Android та iOS, а також ПК на базі ОС Windows та Linux зі спеціалізованими програмами емуляції ОС Android.

Результати експериментальних досліджень апаратно-програмної реалізації макетного зразка комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових теплиць, які було отримано шляхом лабораторних випробувань у реалізованій авторами фізичній моделі теплиці (див. рис. 3), наведено

на рис. 4а, б.

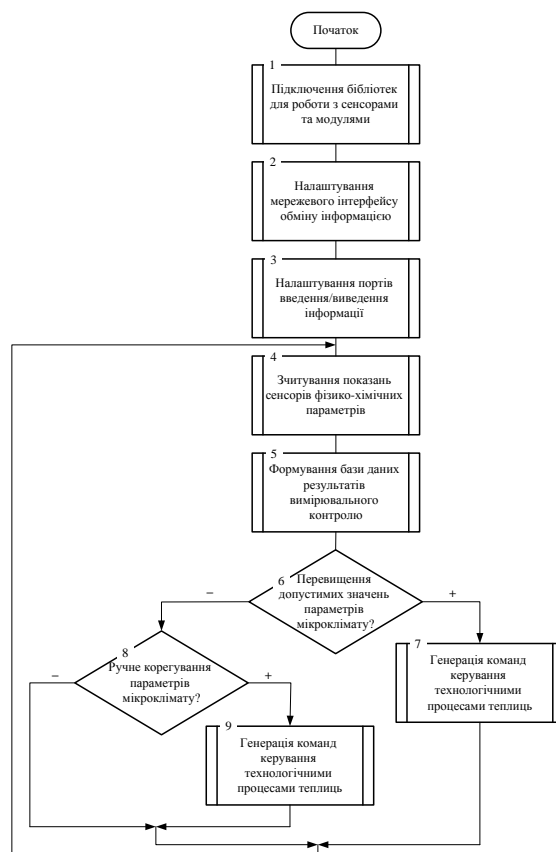


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму роботи комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та керування мікрокліматом теплиць

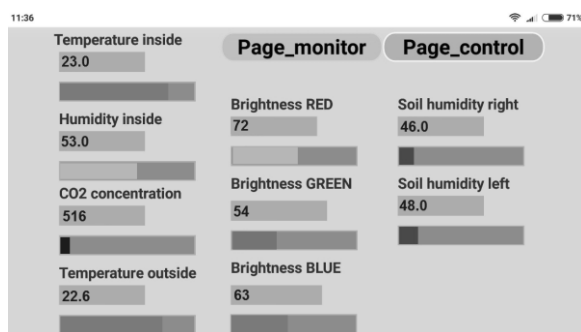
Програмне забезпечення комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та керування мікрокліматом теплиць, блок-схему алгоритму роботи якого наведено на рис. 2, розроблено для роботи на мобільних пристроях із ОС Android та ПК у середовищі емуляції Genymotion. Така програмна реалізація дозволяє виконувати on-line моніторинг регламентованих фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць, які наведено на рис. 1, а також керувати підсистемами крапельного зрошування, світлодіодного досвічування, обігріву, вентиляції, підживлення  $\text{CO}_2$  та зволоження повітря в автоматичному й ручному режимах.

Також розроблений програмний продукт дозволяє виконувати функції накопичення бази даних результатів вимірювань та синхронізації з сучасним пакетами прикладних програм для цифрової обробки вимірювальної інформації, що може бути використано для побудови феноменологічних моделей оцінки поточного й прогнозованого інтегрального стану мікроклімату штучних екосистем.

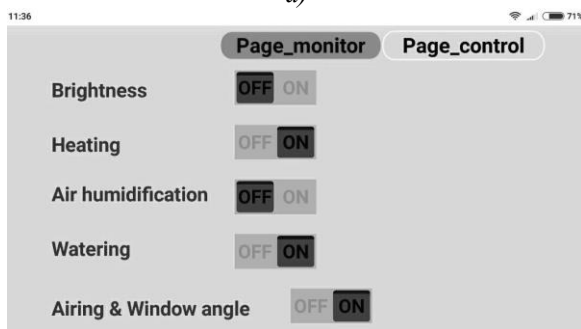


Рисунок 3 – Фізична модель промислової теплиці

Під час проектування та конструювання фізичної моделі теплиці було враховано умову максимальної подібності реальним промисловим аграрним об'єктам із захищеними ґрунтами: збережено пропорції геометричних розмірів конструкції теплиці [10], підбрано матеріали корпусу, спроектовано основні комунікації теплиці з урахуванням реальних технологій вирощування рослин на захищеному ґрунті.



а)



б)

Рисунок 4 – Інтерфейс програмної компоненти комп'ютеризованої системи моніторингу та керування. Результат лабораторних випробувань (а – вкладка моніторингу, б – вкладка керування)

Інтеграція розроблених апаратно-програмних засобів та фізичної моделі теплиці дозволить проводити дослідження з обґрунтування наукових підходів до підвищення врожайності тепличних підприємств, а саме:

- експериментальне дослідження в лабораторних та реальних умовах комп'ютеризованих пристроїв на базі запропонованих апаратно-програмних рішень;

- накопичення бази даних результатів вимірювального контролю із подальшою побудовою моделей екстраполяції динаміки інформативних параметрів фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць з урахуванням факторів, що дестабілізують;

- отримання закономірностей інтегрального впливу фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць на показники ефективності вирощування рослин на захищених ґрунтах;

- обґрунтування методів, методик та засобів автоматичного керування технологічними процесами з вирощування овочевих культур на захищених ґрунтах.

## Висновки

Проведено дослідження з обґрунтування структурно-алгоритмічної організації комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових теплиць. У результаті проведених досліджень розроблено узагальнену структурну схему апаратної складової системи з використанням сучасної компонентної бази. Запропоновано алгоритм вимірювального контролю та керування параметрами мікроклімату теплиць, а також на його базі розроблено програмне забезпечення, що являє собою ергономічний графічний інтерфейс для пристроїв на ОС Android. Встановлено функціональні зв'язки між підсистемою моніторингу та керування фізичними параметрами штучних екосистем. Проведено лабораторні випробування розробленої апаратно-програмної реалізації досліджуваної системи із використанням сконструйованої фізичної моделі теплиці. Обґрунтовано можливі напрямки подальших пріоритетних досліджень із підвищення ефективності та продуктивності аграрних підприємств із захищеними ґрунтами.

## Список літератури

1. ВНТП АПК–19–07. Тепличні і оранжерейні підприємства. Споруди захищеного ґрунту для фермерських (селянських) господарств: Відомчі норми технологічного проектування / М-во аграр. політ. України. – К.: «ХІК», 2007. – 140 с.
2. НТП АПК 1.10.09.001-02. Нормы технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц: Ведомственные нормы технологического проектирования / Минсельхоз РФ. – М.: Гипронисельпром, 2003. – 24 с.

3. Лактіонов, І.С. Комп'ютеризовані вимірювачі комплексу фізичних параметрів ґрунтів та мікроклімату промислових теплиць: монографія / І.С. Лактіонов, О.В. Вовна, А.А. Зорі. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 212 с.

4. Laktionov, I. Computerized measuring device for microclimate parameters of industrial greenhouses using network technologies / I. Laktionov, O. Vovna, A. Zori // Materials of scientific and technical conference UkrMiCo' 2016: 11 – 15 Sept. 2016. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2016. – P. 361 – 364.

5. Лактионов, И.С. Компьютеризированная система контроля микроклимата теплиц с использованием инфокоммуникационных технологий / И.С. Лактионов, И.А. Михайлюта, В.А. Лебедев, К.С. Хабаров / Зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп.-інтегр. технології, 29 – 30 лист. 2016. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – С. 165 – 167.

6. НПФ «Фито» [Електрон. ресурс]: контроль за технологическими параметрами в теплицах. – Режим доступа: <http://www.fito-system.ru/climate-systems>. – Дата звертання: 25 січня 2017.

7. Агrogenез [Електрон. ресурс]: контроль процессов производства в АПК и СХ. – Режим доступа: <http://agrogenez.ru/>. – Дата звертання: 25 січня 2017.

8. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino / У. Соммер. – СПб: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.

9. RemoteXY [Електрон. ресурс]: система разработки и использования мобильных графических интерфейсов. – Режим доступа: <http://remotexy.com/>. – Дата звертання: 27 січня 2017.

10. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электротехники): учеб. пособ. для вузов / В.А. Веников. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.

*Надійшла до редакції 10.03.2017*

### **И.С. ЛАКТИОНОВ, А.В. ВОВНА, А.А. ЗОРИ**

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Покровск, Украина

#### **РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ МИКРОКЛИМАТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦ**

В статье проведены исследования по разработке аппаратно-программного обеспечения компьютеризированной системы удаленного мониторинга и управления параметрами микроклимата промышленных теплиц. В результате проведенных исследований обоснована структурно-алгоритмическая организация системы и поставлены требования к метрологическим и техническим характеристикам ее измерительных каналов. Разработано программное обеспечение, которое реализует возможность удаленного on-line мониторинга, а также ручного и автоматического управления технологическими процессами в теплицах с использованием мобильных устройств. Проведены лабораторные испытания компьютеризированной системы на базе сконструированной физической модели промышленной теплицы. Обоснованы приоритетные направления дальнейших теоретических и экспериментальных исследований системы с целью повышение эффективности искусственных экосистем по выращиванию овощной продукции.

**Ключевые слова:** *компьютеризированная система, аппаратно-программное обеспечение, мониторинг, управление, теплица, физическая модель.*

### **I.S. LAKTIONOV, A.V. VOVNA, A.A. ZORI**

Donetsk National Technical University, Pokrovs'k, Ukraine

#### **IMPLEMENTATION OF THE COMPUTERIZED REMOTE MONITORING AND CONTROL SYSTEM OF THE INDUSTRIAL GREENHOUSES MICROCLIMATE PARAMETERS**

Research of the computerized system hardware and software for the remote monitoring and control of the industrial greenhouses microclimate parameters has been performed in this article. The structural and algorithmic system organization has been designed. Requirements to metrological and technical characteristics of the computerized systems measurement channels have been set. The system component base has been substantiated in view of the modern trends of the microprocessor technology serial production. The software for mobile devices has been developed. This software has ergonomic graphical interface form. It can also operate on personal computers using specialized emulation programs. The developed software implements remote on-line monitoring as well as manual and automatic process control using modern mobile devices. The physical model of the industrial greenhouse has been constructed for the computerized system experimental studies. During the physical model planning condition of the maximum similarity to the real objects has been taken into account. Laboratory tests of the computerized system hardware and software for the remote monitoring and control of the industrial greenhouses microclimate parameters have been performed using the developed greenhouse physical model. Priority areas for further theoretical and experimental system studies have been set. These studies are going to improve the artificial ecosystems efficiency of vegetable products growing.

**Keywords:** *computerized system, hardware, software, monitoring, control, greenhouse, physical model.*

## REFERENCES

1. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine (2007), *VNTP APK–19–07. Greenhouse and orangey companies. Protected soil structures for farming (rural) farms: Standards for technological designing* [VNTP APK–19–07. Teplychni i oranzhereyni pidpryyemstva. Sporudy zakhyschenoho gruntu dlya fermers'kykh (selyans'kykh) hospodarstv: Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannya], Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, Kiev, Ukraine.
2. Ministry of Agriculture RF (2003), *NTP APK 1.10.09.001-02. Norms of the technological designing breeding complexes and reproduction greenhouses: Departmental rules of the technological designing* [Normy tehnologicheskogo proektirovaniya selektsionnykh kompleksov i reproduktsionnykh teplits: Vedomstvennye normy tehnologicheskogo proektirovaniya], Ministry of Agriculture RF, Moscow, Russian Federation.
3. Laktionov, I.S., Vovna O.V. & Zori A.A. (2016), *The computerized meters of the physical parameters complex of the industrial greenhouses soils and microclimate: a monograph* [Komp'yuteryzovani vymiryuvachi kompleksu fizychnykh parametriv gruntiv ta mikroklimatu promyslovykh teplyts': monohrafiya], SHEE «DonNTU», Pokrovs'k, 212 p.
4. Laktionov, I., Vovna O. & Zori A. (2016), *Computerized measuring device for microclimate parameters of industrial greenhouses using network technologies*, Materials of scientific and technical conference UkrMiCo' 2016: Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, pp. 361 – 364.
5. Laktionov, I.S., Mikhaylyuta I.A., Lebedev V.A. & Khabarov K.S. (2016), *Computerized monitoring system of the greenhouses microclimate using information and communication technologies* [Komp'yuterizirovannaya sistema kontrolya mikroklimata teplits s ispolzovaniem infokommunikatsionnykh tehnologiy], Zb. dopovidy Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh «TAK»: telekomunikatsiyi, avtomatyka, komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi, pp. 165 – 167.
6. “NPF Phyto” available at: <http://www.fito-system.ru/climate-systems>
7. “Agrogenez” available at: <http://agrogenez.ru/>
8. Sommer, U. (2012), *Programming of microcontroller cards Arduino/Freduino* [Programmirovaniye mikrokontrollernykh plat Arduino/Freduino], BHV-Peterburg, Saint Petersburg, 256 p.
9. “RemoteXY” available at: <http://remotexy.com/>
10. Venikov, V.A. (1976), *Theory of similarity and modeling (applied to the problems of electrical engineering): a textbook for high schools, 2nd ed.* [Teoriya podobiya i modelirovaniya (primenitelno k zadacham elektrotehniki): ucheb. posob. dlya vuzov, Izd. 2-e, dop. i pererab.], Vysshaya shkola, Moscow, 479 p.