

УДК 621.317.2:634.1-13

І.С. Лактіонов, канд. техн. наук

В.А. Лебедєв, магістрант

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

ivan.laktionov@donntu.edu.ua

vladyslav.lebediev@donntu.edu.ua

Результати розробки та натурної реалізації лабораторного зразка комп'ютеризованої теплиці

Промислові тепличні комплекси являють собою складні інженерні споруди, які повинні забезпечувати контроль та керування мікрокліматичними параметрами, що впливають на ефективність протікання фотосинтезу, що, в свою чергу, обумовлює показники темпів, об'ємів та якості виробництва овочевої тепличної продукції. Забезпечення оптимальних кліматичних умов у процесі виробництва овочевої тепличної сільськогосподарської продукції вимагає вирішення актуальної задачі обґрунтування наукових і практичних підходів до розробки і дослідження структурно-алгоритмічних організацій комп'ютеризованих систем моніторингу та керування параметрами мікроклімату теплиць в лабораторних умовах із подальшим використанням методів фізичного моделювання. У результаті проведених досліджень обґрунтовано структуру та компонентну базу лабораторного зразка комп'ютеризованої теплиці, а також розроблено його фізичну модель з урахуванням умов геометричної подібності. Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує можливість on-line моніторингу та ручного й автоматичного керування технологічними процесами в теплицях. Обґрунтовано пріоритетні напрямки подальших теоретичних та експериментальних досліджень системи задля підвищення ефективності штучних екосистем із вирощування овочевої продукції.

Ключові слова: комп'ютеризована теплиця, лабораторний зразок, моніторинг, керування, натурна реалізація, програмне забезпечення.

DOI: 10.31474/1996-1588-2018-1-26-25-33

Вступ

У теперішній час проблемі розробки комп'ютеризованих технологій із вивчення продукційних процесів у сільськогосподарському сегменті національних економік присвячено широкий спектр науково-технічних досліджень. Актуальність досліджень у даній предметній області обумовлено високими показниками наукоємності сучасного овочівництва захищеного ґрунту та недостатністю результатів фундаментальних досліджень у області біохімії й фізіології рослин [1]. Одним із найбільш перспективних підходів до вдосконалення процесів вирощування овочевої продукції на захищених ґрунтах є створення та впровадження сучасних комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем моніторингу й керування параметрами мікроклімату теплиць.

Промислові тепличні комплекси являють собою складні інженерні споруди, які повинні забезпечувати контроль і керування мікрокліматичними параметрами, що впливають на ефективність протікання процесів евапотранспірації та фотосинтезу, що, в свою чергу, обумовлює показники темпів, об'ємів і якості виробництва овочевої тепличної продукції. Отже, промислові тепличні комплекси повинні бути обладнані су-

часними сенсорними, мікропроцесорними та інфокомунікаційними технологіями, які об'єднані в інформаційно-вимірювальні комплекси на апаратному та алгоритмічному рівнях. Основні типи сучасних активних і пасивних технологій з детальним аналізом їх основних характеристики, які на сьогоднішній день застосовуються в тепличних умовах наведені в наукових джерелах [2–7]. Результати даних досліджень можуть бути використані при обґрунтуванні структурно-алгоритмічної організації лабораторного зразка комп'ютеризованої теплиці.

Використання сучасних сенсорних, комп'ютеризованих та інфокомунікаційних технологій задля моніторингу й керування параметрами мікроклімату теплиць дозволить виконати перехід від феноменологічного підходу вирощування культур на закритому ґрунті до використання кількісних методів, заснованих на застосуванні імітаційних і математичних моделей.

Постановка задачі дослідження

Мета статті полягає в обґрунтуванні наукових і практичних підходів до розробки та натурної реалізації лабораторного зразка комп'ютеризованої теплиці задля проведення пріоритетних дослі-

джень із оптимізації структурно-алгоритмічних організацій систем моніторингу та керування параметрами мікроклімату теплиць. Задля досягнення поставленої мети було поставлено й 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 компонентну базу розробленої комп'ютеризованої системи;
- реалізовано апаратну складову та розроблено програмну компоненту системи задля комп'ютеризованого моніторингу й керування параметрами мікроклімату теплиць у лабораторних умовах;
- обґрунтовано перспективні напрямки пріоритетних досліджень із використанням розробленого лабораторного зразка.

Об'єктом дослідження є процес створення лабораторного зразка комп'ютеризованої теплиці з подальшим обґрунтуванням моделі масштабного

переходу від фізичної моделі до натурного зразка системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату теплиць.

Предметом дослідження є сучасні методи та засоби побудови комп'ютеризованих систем моніторингу й керування технологічними процесами в умовах овочівництва захищеного ґрунту.

Розв'язання поставленої задачі досліджень

Розроблений лабораторний зразок комп'ютеризованої теплиці відповідає сучасним тенденціям розвитку технологій автоматизації та інтелектуалізації технологічних засобів оснащення промислових тепличних комплексів. Також під час натурної реалізації розробки авторами враховано основні вимоги щодо принципів фізичного моделювання технологічних об'єктів та процесів [8].

Отже, реалізований лабораторний зразок оснащено автономними системами, які необхідні для підтримки мікроклімату задля забезпечення оптимальних режимів вирощування культур, як показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Робоча область лабораторного зразка комп'ютеризованої теплиці

Система обігріву повітря зони вирощування. Ця система являє собою нагрівальний елемент, який має два режими потужності зі спрямованим потоком повітря та трубопровід, який представляє собою контур обігріву, що дозволяє рівномірно обігрівати всю робочу

область теплиці (див. рис. 1,а). Живлення нагрівального елемента здійснюється від джерела змінної напруги номіналом 220 В. Технічні характеристики нагрівального елемента представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики нагрівального елемента системи обігріву

Параметр, од.	Режим А	Режим В
Потужність нагрівального елемента, Вт	165	330
Температура повітря на виході, °С	40±10	55±12
Продуктивність, м³/с	3,0·10 ⁻³	6,3·10 ⁻³
Енергоспоживання нагрівального елемента, кВт/год	0,170	0,330

Система штучного досвічування. Ця система ділиться на два функціональні блоки: освітлення та перетворення. Блок освітлення розміщено у внутрішній робочій області моделі (див. рис. 1, б). До складу цього блоку входить три освітлювальних елемента, які оснащені активними системами охолодження. Кожен освітлювальний елемент складається з певного набору світлодіодних матриць, закріплених на алюмінієвому радіаторі. Для реалізації блоку освітлення використано повноспектральні світлодіоди типу COB Cree CXA1304 [9], технічні характеристики даної моделі світлодіодів наведено в таблиці 2. Також на рис. 2 представлено результат серії імпульсних вимірювань параметрів світлодіодів під

час дії постійного струму 400 мА та напруги 9 В за температури 85 °С [9].

Таблиця 2 – Технічні характеристики світлодіодів типу COB Cree CXA1304

Параметр	Номінальне значення
Напруга живлення, В	від 9 до 10,5
Максимальна потужність, Вт	9
Температура світіння, К	3000
Кольоропередача, CRI	93–95
Яскравість світіння, лм	330–366
Кут світіння, град.	115
Робоча температура, °С	від –40 до +85

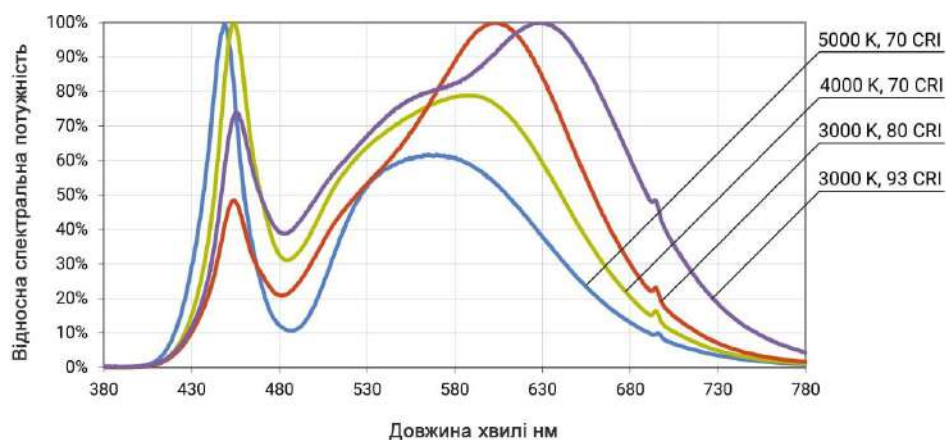


Рисунок 2 – Спектральні характеристики світлодіодів типу COB Cree CXA1304

Під час режиму роботи з максимальним к.к.д. (сила струму дорівнює 400 мА та потужність 3,6 Вт) характеристики випромінювання

одного світлодіода мають вигляд, який наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристики випромінювання одного світлодіода в режимі роботи з максимальним к.к.д.

Режим 3,6 Вт (400 мА)	На відстані 10 см	На відстані 20 см	На відстані 30 см
ФАР, мкмоль/м ² /с	170	51	24,5
Освітленість, Лк	10400	3010	1450
Потужність, Вт/м ²	34,8	10,5	5

На підставі аналізу характеристик світлодіодів із урахуванням геометричних розмірів розробленого комп'ютеризованого зразка теплиці та типів вирощуваних культур встановлено, що оптимальною є відстань від системи досвічування до рослин рівна 10 см.

Блок перетворення розташований зовні теплиці, як показано на рис. 3, а. Він складається з понижуючих DC-DC перетворювачів задля зниження напруги та обмеження струму за лінійного живлення 12 В. У даному блоці використано два перетворювачі на базі мікросхеми XL4015E1 [10] технічні характеристики, яких представлені в таблиці 4. У результаті попередніх лабораторних досліджень також було встановлено необхідність оснащення даного блоку активною системою охо-

лодження задля покращення його техніко-експлуатаційних характеристик.

Таблиця 4 – Технічні характеристики DC-DC перетворювачів типу XL4015E1

Параметр	Номінальне значення
Вхідна напруга, В	від 8 до 36
Вихідна напруга, В	від 1,25 до 32
Вихідний струм, А	5
Вихідна потужність, Вт	75
Частота, кГц	180
Ефективність %	95
Робоча температура, °С	від –40 до +85

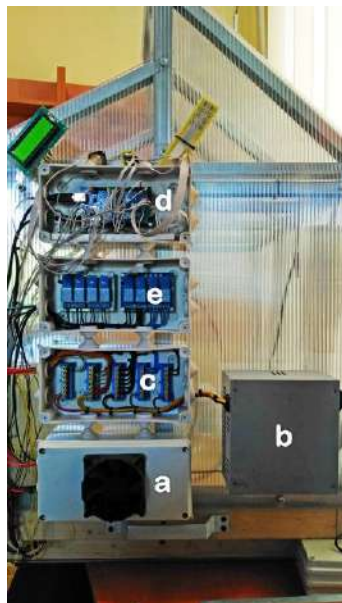


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд схемотехнічної реалізації електричної частини розробки

Система зволоження повітря зони вирощування. На підставі аналізу апіорної інформації щодо режимів вирощування культур на закритих ґрунтах та результатів попередніх досліджень обґрунтовано технічне рішення даної системи, яке наведено на рис. 1,с та 3,а. Блок зволоження (див. рис. 1,с), який розміщено всередині моделі, складається з резервуару із рідиною, на якому встановлено вентилятор для створення спрямованого потоку повітря та трубопроводу для рівномірного розподілу вологого повітря. Всередині резервуару розміщено ультразвуковий генератор, необхідний для розщеплення води на дрібну дисперсію, що працює від напруги живлення 24 В. Блок перетворення (див. рис. 3,а), який виносено назовні, складається з DC-DC перетворювача на базі мікросхеми XL6009 [11], який необхідний для підвищення напруги до 24 В через лінію живлення 12 В. Технічні характеристики таких перетворювачів представлені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Технічні характеристики DC-DC перетворювачів типу XL6009

Параметр	Номінальне значення
Вхідна напруга, В	від 3 до 32
Вихідна напруга, В	від 5 до 35
Вихідний струм, А	2
Вихідна потужність, Вт	10
Частота, кГц	400

Система зрошення. Ця система побудована за технологією крапельного зрошення та складається з резервуару з поливним розчином номінальним об'ємом 2 л, всередині якого розміщений водяний насос із вихідним отвором виведеним

назовні (див. рис. 1,д). Технічні характеристики використаного водяного насоса представлені в таблиці 6. До виведеного отвору підключено поливний трубопровід діаметром 8 мм, який розділено на чотири канали діаметром 4 мм. Кожен канал має три вихідних крапельниці з можливістю налаштування інтенсивності подачі води.

Таблиця 6 – Технічні характеристики водяного насоса

Параметр	Номінальне значення
Напруга живлення, В	12
Максимальна потужність, Вт	4,2
Продуктивність, л/год.	240
Робоча температура, °C	60

Система провітрювання зони вирощування. Ця система являє собою дві збірки вентиляторів, які встановлено у вертикальному вікні моделі, та механізм зашторювання (див. рис. 4,а), який здійснює функції відкривання/закривання вікна за допомогою механічної передачі зусилля шарнірними важелями із використанням сервоприводів типу MG996R [12]. Основні технічні характеристики використаних моделей сервоприводів наведено в таблиці 7.

Таблиця 7 – Технічні характеристики сервоприводу типу MG996R

Параметр	Номінальне значення
Напруга живлення, В	від 4,8 до 7,2
Кут повороту, град.	120
Швидкість обертання, град/0,13 с	60
Обертаючий момент, кг/см	11



Рисунок 4 – Загальний вигляд моделі

Реалізована лабораторна модель комп'ютеризованої промислової теплиці відповідає основним вимогам до сучасних систем автоматизації тепличних комплексів, а саме оснащена підсистемами апаратно-програмного моніторингу та керування технологічними режимами вирощування інтродукованих культур.

Силовий блок. Задля оптимізації технологічних параметрів розробленого лабораторного зразка було прийнято рішення розділити цей блок на дві функціональні частини, а саме: вузол живлення та розподільчий вузол.

Вузол живлення містить три лінії напруг з номіналами: 5 і 12 В постійного струму та 220 В змінного струму (див. рис. 3,б). Номінали напруг обрані на підставі аналізу технічних характеристик засобів та пристроїв, які входять до складу розробленого лабораторного зразка. Від лінії 5 В живляться наступні компоненти: модуль годинника реального часу DS3231 [13], блок реле, сервопривід MG996R, сенсор концентрації двоокису вуглецю CO2MG-811 [14], сенсор температури й вологості повітря AM2302 [15], сенсор вологості ґрунту FC-28 [16], сенсор освітлення BH1750 [17]. Від лінії 12 В живляться: мікропроцесорна платформа Arduino Mega 2560, освітлювальні елементи, ультразвуковий генератор, вентилятор системи зволоження, водяний насос, вентилятори системи провітрювання, вентилятори системи активного охолодження освітлювальних елементів, вентиля-

тор системи активного охолодження блоку перетворення. Від лінії 220 В живиться нагрівальний елемент системи обігріву.

Розподільчий вузол виконує функцію електричної розв'язки ліній живлення до локацій відповідних компонент та пристроїв. Цей вузол містить у своєму складі п'ять шин: 220 В (фаза), 220 В (нуль); GND (загальна лінія для постійної напруги); 5 В; 12 В.

Блок збору та обробки вимірювальної інформації. Цей блок (див. Рис. 3,д) побудовано на базі мікропроцесорної платформи Arduino Mega 2560, яка задовольняє наступним вимогам: наявність необхідної кількості аналогових і цифрових портів введення-виведення інформації; наявність необхідної кількості інтерфейсів для підключення зовнішніх периферійних пристроїв; достатня кількість оперативної пам'яті; задовільна розрядність внутрішнього АЦП. Також до складу даного блоку входить сукупність сенсорів фізико-хімічних параметрів, які регламентовано до обов'язкового контролю [18, 19]. Основні характеристики вузла сенсорів наведено в таблиці 8.

Таблиця 8 – Основні характеристики вузла сенсорів

Вимірювана фізико-хімічна величина	Тип сенсора	Номер виведення мікроконтролера
Концентрація двоокису вуглецю	MG-811	A0
Температура та вологість повітря	AM2302	2
Вологість ґрунту	FC-28	A1, A2, A3
Температура ґрунту	NTC-термистор	A4
Температура живильного розчину	NTC-термистор	A5
Інтенсивність освітлення	BH1750	SDA, SCL

Для синхронізованої роботи всіх структурних елементів системи, які наведено на рис. 5, використано модуль годинника реального часу з автономним живленням на базі мікросхеми DS3231, що підключений за допомогою стандартизованого інтерфейсу I²C. Уся отримана та оброблена інформація з сенсорів виводиться через послідовний асинхронний інтерфейс до монітору послідовного порту і накопичується в базі результатів спостережень.

Блок комутації силового навантаження складається з двох чотирьохканальних модулів реле, як показано на рис. 5 та 3,е. Керування даними модулями здійснюється імпульсами напруги з амплітудою 5 В. У реалізованій системі модулі навантаження підключено наступним чином: реле 1 – система обігріву режим А; реле 2 – система обігріву режим В; реле 3 – система штучного досвічування; реле 4 – система зволоження повітря зони вирощування; реле 5 – система крапельного зрошення; реле 6 – система провітрювання зони вирощування; реле 7 – система активного охолодження освітлювальних елементів; реле 8 –

система активного охолодження блоку перетворення.

Дана розробка має модульну структуру і виконує наступні функції:

- збір первинної вимірювальної інформації від вимірювальних каналів системи;
- аналогова обробка вихідних сигналів сенсорів фізико-хімічних параметрів з подальшим перетворенням в цифровий вигляд;
- знаходження середніх значень результатів моніторингу та обчислення значень цифрових сигналів у одиницях виміру фізико-хімічних величин;
- локальна індикація результатів моніторингу та їх накопичення в базі даних на віддаленому сервері;
- керування модулями підтримки технологічних процесів крапельного поливу, вентиляції, штучного досвічування, обігріву та зволоження повітря в ручному та автоматичному режимах.

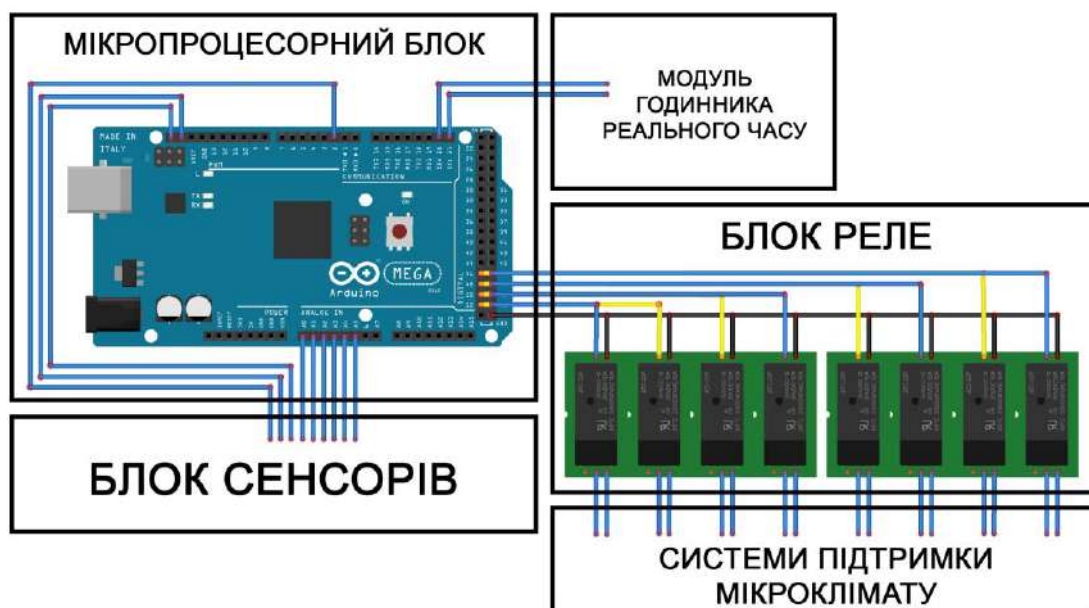


Рисунок 5 – Структурна схема системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових теплиць

Розроблена система носить універсальний характер і передбачає можливість роботи з різною кількістю вимірювальних каналів. Узагальнений

алгоритм функціонування розробленого лабораторного зразка у вигляді блок-схеми наведено на рис. 6.

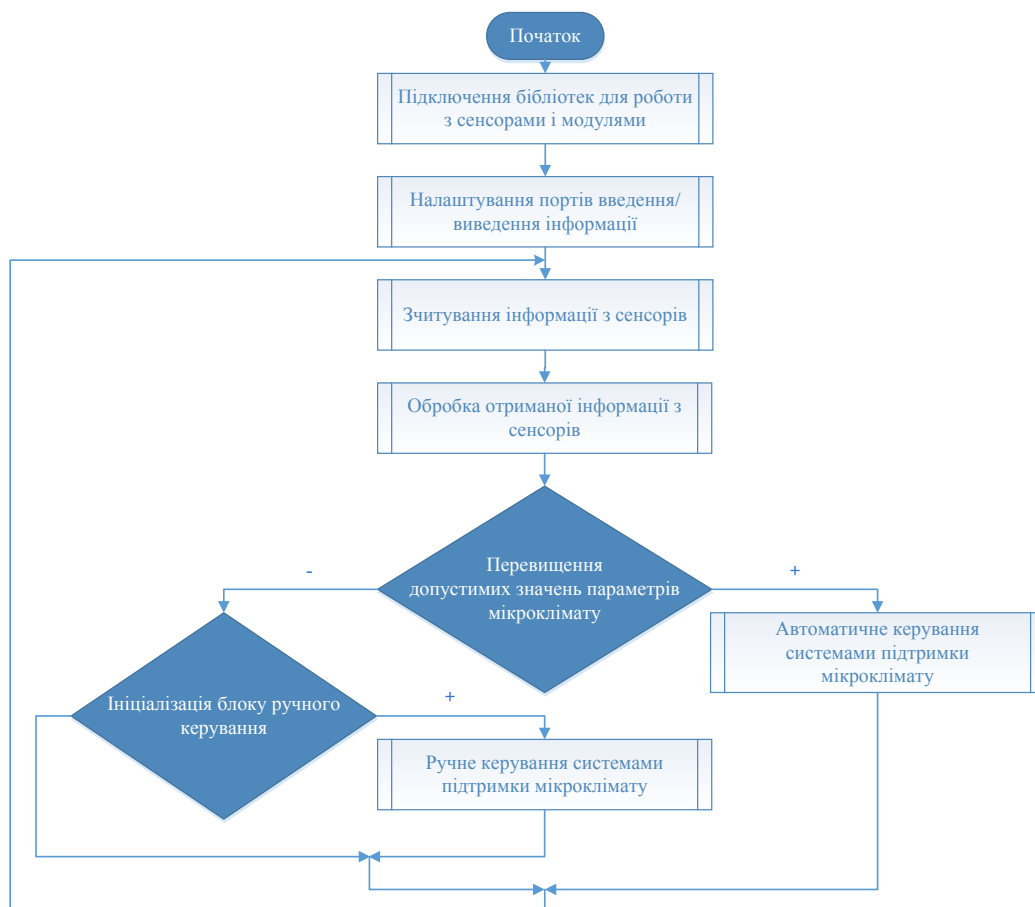


Рисунок 6 – Узагальнений алгоритм функціонування розробленого лабораторного зразка

На базі наведеної вище блок-схеми алгоритму функціонування авторами було розроблено програмне забезпечення системи, яке передбачає функцію адаптації основних технологічних режимів вирощування культур до їх типів і періодів вегетації.

Таким чином, реалізований лабораторний зразок комп'ютеризованої теплиці може бути використаний задля подальших досліджень за наступними пріоритетними напрямками:

- накопичення бази експериментальних спостережень за динамікою фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць з їх подальшим математичним аналізом для різних типів і періодів вегетації культур;

- впровадження адаптивних високопродуктивних методів і засобів агрегації й обробки вимірювальної інформації щодо динаміки фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць у режимі реального часу;

- оптимізація структурно-алгоритмічної організації комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових тепличних комплексів;

- обґрунтування науково-практичних основ комплексного впливу параметрів мікроклімату теплиць, які розподілені в просторі та часі на показники якості, темпів і об'ємів виробництва овочової продукції в умовах закритих ґрунтів.

Висновок

Результати досліджень, які отримано в даній статті, присвячені вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми обмеженості існуючих результатів досліджень ефективності процесів комп'ютеризованого моніторингу та керування технологічними процесами вирощування овочевих культур на закритому ґрунті методами лабораторних випробувань із подальшим аналізом з використанням техніки фізичного моделювання. У результаті було обґрунтовано науково-практичні підходи до розробки і дослідження апаратно-програмних засобів комп'ютеризованого моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових теплиць. Основними науковими і практичними результатами статті є: аналіз регламентованих вимог до метрологічних та функціональних характеристик засобів моніторингу й керування параметрами мікроклімату промислових теплиць; обґрунтування структури та компонентної бази розробленої комп'ютеризованої системи; натурна реалізація апаратної складової та розробка програмної компоненти системи задля комп'ютеризованого моніторингу й керування параметрами мікроклімату теплиць у лабораторних умовах; обґрунтування перспективних напрямків пріоритетних досліджень із використанням розробленого лабораторного зразка.

Список літератури

1. Полуэктов, Р.А. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. – СПб.: Изд-во С-Петерб. ун-та, 2006. – 396 с.
2. Rehman, A. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture / A. Rehman, A.Z. Abbasi, N. Islam, Z.A. Shaikh // Computer Standards & Interfaces. – Amsterdam, 2014. – № 36 (2). – P. 263–270.
3. Laktionov, I. Concept of low cost computerized measuring system for microclimate parameters of greenhouses // I. Laktionov, O. Vovna, A. Zori // Bulgarian Journal of Agricultural Science. – Sofia, 2017. – Vol. 23 (No 4). – P. 668 – 673.
4. 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. – Palmerston North, 2017. – Vol. 10 (4). – P. 845 – 862.
5. Li, Zh. Design of greenhouse environment remote monitoring system based on android platform / Zh. Li, C. Li, Yu. Jia, Zh. Xiao // Chemical engineering transactions. – Milan, 2015. – № 46. – P. 739–744.
6. Shirsath, D.O. IoT based smart greenhouse automation using Arduino / D.O. Shirsath, P. Kamble, R. Mane, A. Kolap, R.S. More // International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology. – Lucknow, 2017. – № 5 (2). – P. 234–238.
7. Chaudhary, D.D. Application of wireless sensor networks for greenhouse parameter control in precision agriculture / D.D. Chaudhary, S.P. Nayse, L.M. Waghmare // Journal of Wireless & Mobile Networks. – Dubai, 2011. – № 3 (1). – P. 140–149.
8. 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.
9. CREE [Електрон. ресурс]: XLamp CXA1304. – Режим доступу: <http://u.to/l-STEW>. – Дата звертання: 09 липня 2018.
10. XLSEMI [Електрон. ресурс]: XL4015. – Режим доступу: <http://u.to/W-WTEW>. – Дата звертання: 09 липня 2018.
11. XLSEMI [Електрон. ресурс]: XL6009. – Режим доступу: <https://www.sunrom.com/get/283300>. –

Дата звертання: 11 липня 2018.

12. High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo [Електрон. ресурс]: MG996R. – Режим доступу: <http://u.to/lPaTEw>. – Дата звертання: 14 липня 2018.

13. RTC [Електрон. ресурс]: RTC - DS3231 - 24C32. – Режим доступу: <http://u.to/ifeTEw>. – Дата звертання: 12 липня 2018.

14. CO2 Sensor [Електрон. ресурс]: MG811. – Режим доступу: <http://u.to/6veTEw>. – Дата звертання: 15 липня 2018.

15. Temperature and humidity module [Електрон. ресурс]: AM2302 Product Manual. – Режим доступу: <http://u.to/WfiTEw>. – Дата звертання: 18 липня 2018.

16. High Sensitivity Moisture Sensor [Електрон. ресурс]: Moisture Sensor. – Режим доступу: <http://u.to/uviTEw>. – Дата звертання: 18 липня 2018.

17. Ambient Light Sensor IC Series [Електрон. ресурс]: BH1750FVI. – Режим доступу: <http://u.to/JvmTEw>. – Дата звертання: 20 липня 2018.

18. 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.

19. 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.

References

1. Poluehktov, R.A., Smolyar E.I., Terleev V.V., Topazh A.G. (2006), *Modeli produkcionnogo processa sel'skohozyajstvennykh kul'tur* [Models of the production process in agriculture], Izd-vo S.-Peterb. un-ta, St. Petersburg, Russian Federation, 396 p.

2. Rehman, A., Abbasi A.Z., Islam N., Shaikh, Z.A. (2014), *A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture*, Computer Standards & Interfaces, no. 36 (2), pp. 263–270.

3. Laktionov, I.S., Vovna O.V., Zori A.A. (2017), *Concept of low cost computerized measuring system for microclimate parameters of greenhouses*, Bulgarian Journal of Agricultural Science, no. 23 (4), pp. 668–673.

4. 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, no. 10 (4), pp. 845–862.

5. Li, Zh., Li C., Jia Yu., Xiao Zh. (2015), *Design of greenhouse environment remote monitoring system based on android platform*, Chemical engineering transactions, no. 46, pp. 739–744.

6. Shirsath, D.O., Kamble P., Mane R., Kolap A., More R.S. (2017), *IoT based smart greenhouse automation using Arduino*, International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology, no. 5 (2), pp. 234–238.

7. Chaudhary, D.D., Nayse S.P., Waghmare L.M. (2011), *Application of wireless sensor networks for greenhouse parameter control in precision agriculture*, International Journal of Wireless & Mobile Networks, no. 3 (1), pp. 140–149.

8. 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.

9. "CREE" available at: <http://u.to/l-STEw>

10. "XLSEMI XL4015" available at: <http://u.to/W-WTEw>

11. "XLSEMI XL6009" available at: <https://www.sunrom.com/get/283300>

12. "High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo MG996R" available at: <http://u.to/lPaTEw>

13. "RTC - DS3231 - 24C32" available at: <http://u.to/ifeTEw>

14. "CO2 Sensor MG811" available at: <http://u.to/6veTEw>

15. "Temperature and humidity module AM2302 Product Manual" available at: <http://u.to/WfiTEw>

16. "High Sensitivity Moisture Sensor" available at: <http://u.to/uviTEw>

17. "Ambient Light Sensor IC Series BH1750FVI" available at: <http://u.to/JvmTEw>

18. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine (2007), *VNTP APK–19–07. Greenhouse and orangery companies. Protected soil structures for farming (rural) farms: Standards for technological designing* [VNTP APK–19–07. Teplychni i oranzhereyni pidpryyemstva. Sporudy zakhyshchenoho ґрунту dlya

farmers'kykh (selyans'kykh) hospodarstv: Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannya], Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, Kiev, Ukraine.

19. 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: Vedomstvennyye normy tehnologicheskogo proektirovaniya], Ministry of Agriculture RF, Moscow, Russian Federation.

Надійшла до редакції 10.04.2018

I.S. LAKTIONOV, V.A. LEBEDIEV

Donetsk National Technical University, Pokrovs'k, Ukraine

RESULTS OF DEVELOPMENT AND NATURAL IMPLEMENTATION OF THE COMPUTERIZED GREENHOUSE LABORATORY SAMPLE

Industrial greenhouses are complex engineering structures. These enterprises should provide monitoring and control under microclimatic parameters that affect the photosynthesis efficiency. This process determines the indicators of the rate, volume and quality of vegetable greenhouse production. Ensuring optimum climate conditions in the production process of vegetable greenhouse agricultural products requires the solution of an actual scientific and applied problem. This problem consists in rationale of scientific and practical approaches to development and research of the structural and algorithmic organizations of computerized monitoring and control systems on the microclimate of greenhouses in laboratory conditions, followed by the use of physical modeling methods. 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 structure and component base of the laboratory sample of the computerized greenhouse have been developed. The physical model of the greenhouse has been created taking into account of the geometric similarity conditions. 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 greenhouse, laboratory sample, monitoring, control, full-scale implementation, software.*

И.С. ЛАКТИОНОВ, В.А. ЛЕБЕДЕВ

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

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И НАТУРНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНОГО ОБРАЗЦА КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ ТЕПЛИЦЫ

Промышленные тепличные комплексы представляют собой сложные инженерные сооружения, которые должны обеспечивать контроль и управление микроклиматическими параметрами, влияющими на эффективность протекания фотосинтеза, что, в свою очередь, обуславливает показатели темпов, объемов и качества производства овощной тепличной продукции. Обеспечение оптимальных климатических условий в процессе производства овощной тепличной сельскохозяйственной продукции требует решения актуальной задачи обоснования научных и практических подходов к разработке и исследованию структурно-алгоритмических организаций компьютеризированных систем мониторинга и управления параметрами микроклимата теплиц в лабораторных условиях с последующим использованием методов физического моделирования. В результате проведенных исследований обоснована структура и компонентная база лабораторного образца компьютеризированной теплицы, а также разработана его физическая модель с учетом условий геометрического подобия. Разработано программное обеспечение, которое реализует возможность on-line мониторинга, а также ручного и автоматического управления технологическими процессами в теплицах. Обоснованы приоритетные направления дальнейших теоретических и экспериментальных исследований системы для повышения эффективности искусственных экосистем по выращиванию овощной продукции.

Ключевые слова: *компьютеризированная теплица, лабораторный образец, мониторинг, управление, натурная реализация, программное обеспечение.*