

## ПРОГРАМНО-АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ФІТОМОНІТОРИНГУ В ТЕПЛИЦІ

Лисенко В. П., Болбот І. М., Лендел Т. І., Чернов І. І.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*Реалізовано програмно-апаратне забезпечення системи фітомоніторингу в теплиці. Представлено програму роботи, в якій виконується зчитування та зберігання інформація про вимірювану рослину та її навколишнього середовища в теплиці. Розраховано технічні характеристики каналу вимірювання та проведено перевірку системи на виробництві.*

**Постановка проблеми.** При вирощуванні овочевої продукції в теплицях слід дотримуватись технології вирощування, адже це забезпечить необхідну врожайність та якість продукції. Підтримання меж технологічних параметрів здійснюється функціонуванням системи мікроклімату. Але постає необхідність вдосконалення останніх через неможливість простежувати і враховувати реакцію рослин на дію у першу чергу природних. Тому пропонується доповнити тепличне обладнання складовими для проведення фітомоніторингу, що дозволять вимірювати фітокліматичні та фітометричні параметри рослин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Тривалі дослідження та результати розробки системи керування мікрокліматом у теплиці показали можливість додаткового використання підсистем фітомоніторингу для дослідження стану рослини в процесі вирощування [1-3].

**Мета досліджень.** Розробка програмно-апаратного забезпечення для системи фітомоніторингу в теплиці (реалізація вимірювання температури повітря, рослини, освітленості та вологості повітря в теплиці).

**Основні матеріали досліджень.** Температура рослин визначається значенням температури навколишнього середовища, оскільки при своєму розвитку вона поглинає і відбиває навколишню енергію. При цьому необхідно дотримуватись встановлених технологічних норм вирощування [1], де основними контрольованими мікрокліматичними параметрами є температура та вологість, температурний і вологісний режим в атмосфері теплиці повинен підтримуватись із точністю в 1°C та 2% відповідно. На практиці ж не завжди дотримання технологічних вимог забезпечує вихід планових кількості і якості продукції. Дуже важливо вимірювання температури рослин, повітря, вологості повітря та освітленості здійснювати безпосередньо для здійснення керування температурно-вологісним режимом на основі порівняння значень температур рослини і повітря з урахуванням технологічних вимог параметрів вирощування.

Систему фітомоніторингу реалізовано із використанням мікроконтролера ATmega2560 та 3-х датчиків температури DS18B20, датчика вологості DHT11 та 2-х датчиків освітленості, що встановлюються на платі Arduino Mega2560 (рис. 1).

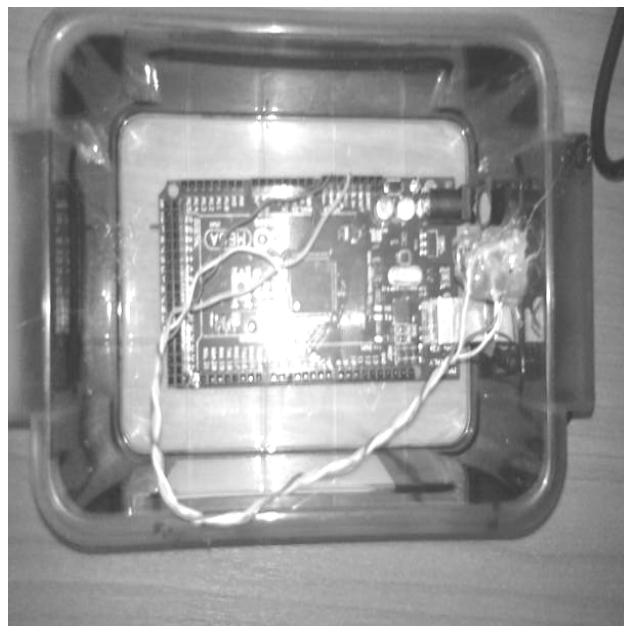


Рисунок 1 – Мікропроцесорна підсистема фітомоніторингу

Електрична принципова схема живиться від джерела напругою 5 В з захистом від короткого замикання. Мікросхема, отримуючи живлення, стабілізує напругу для роботи мікроконтролера та датчиків. З'єднання та обмін даними між мікросхемою та комп'ютером здійснюється через USB-порт. Через цей порт можливе і живлення мікросхеми.

Система працює на частоті 16 МГц має 54 цифрових каналів входу / виходу, 14 з яких можуть працювати в режимі ШІМ (PWM), 16 аналогових входів, 4 апаратних послідовних портів UART для зв'язку з комп'ютером та іншими пристроями. У випадку наявності несправностей передбачена кнопка "Скидання".

Програмне забезпечення для зазначеної системи реалізовано в середовищі LabVIEW, де окрім зчитування інформації з датчиків також було розроблено інтерфейс оператора та передбачено запис вимірних значень в базу даних для подальшої обробки. Також програмно передбачено адресне опитування датчиків, що дає можливість оцінити як змінився контрольований параметр у просторі теплиці, де встановлено датчик.

Графічне представлення програми системи показано на рис. 3 та відповідно на рис. 4 – вікна інтерфейсу програми.

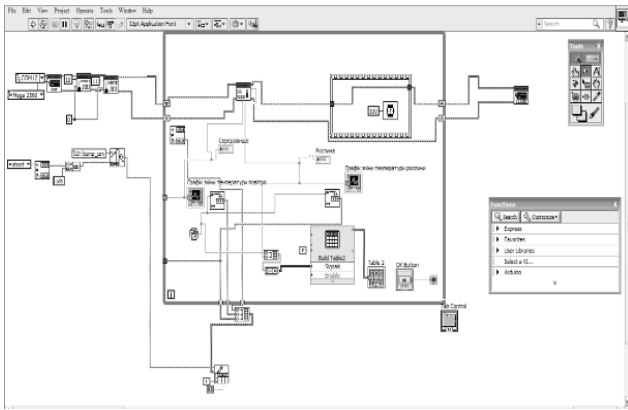
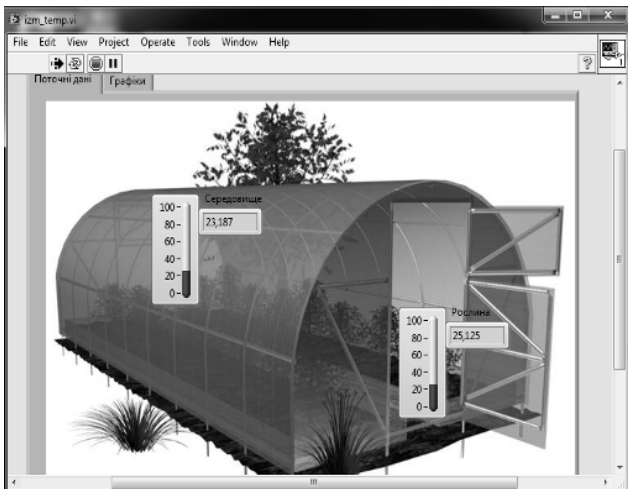
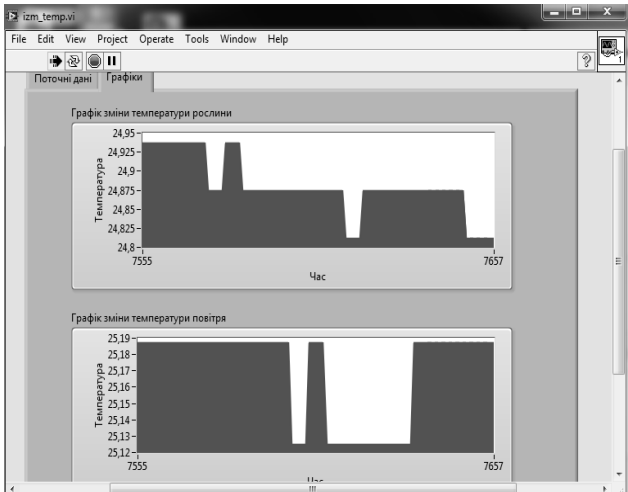


Рисунок 3 – Програма зчитування даних з датчиків



а)



б)

Рисунок 4 а, б – Інтерфейси програми моніторингу

Фітомоніторинг здійснюється у визначених місцях теплиці - вимірюється освітленість у фітотемпературному середовищі рослини, її температура та температура і вологість повітря (рис. 5)



а)

б)

Рисунок 5 – Датчик освітленості - а); датчики температури рослини, повітря та вологості повітря в теплиці - б)

Описану систему випробовано в ПАТ "Комбінаті "Тепличний". Перед випробуванням на виробництві вона проходила ряд перевірок на тривалу роботоздатність і показала добрий результат, що дало можливість в подальшому використовувати цю систему для проведення фітомоніторингу в теплиці.

Для оцінки роботи системи необхідно визначити похибки інформаційно-вимірювальних каналів (ІВК). Розрахунки похибок ІВК проводились згідно методики, що наведена в[3, 4].

Інформаційно-вимірювальний канал (рис. 6) складається з сприймаючих елементів (датчиків), лінії зв'язку (ЛЗ), аналого-цифрового перетворювача (АЦП), процесора (Пр) і пульта оператора (ПО).



Рисунок 6 – Структурна схема каналу вимірювання температури в теплиці

Проведемо оцінку роботи інформаційно-вимірювального каналу температури.

Визначимо допустиму абсолютну похибку датчика DS18B20:

$$\Delta t_{\text{допд}} = \frac{K_{\text{ТД}} \cdot \text{ДВ}_{\text{д}}}{100} = \frac{0,5(85 - 10)}{100} = 0,375 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

де  $\Delta t_{\text{допд}}$  – допустима абсолютна похибка датчика;

$K_{\text{ТД}}$  – точність датчика;  
 $\text{ДВ}_{\text{д}}$  – його діапазон вимірювання.

Для довірчої ймовірності  $P_{\delta} = 0,95$  визначимо середньо-квадратичну похибку в абсолютних значеннях за виразом для кожного елемента системи вимірювання

$$\Delta_{0,95} = K_{\text{H}(0,95)} \cdot \sigma, \quad (2)$$

де  $K_{\text{H}(0,95)} = 1,96$  – коефіцієнт Стюдента при проведенні безперервної кількості вимірів та довірчої ймовірності  $P_{\delta} = 0,95$ ;

$\sigma$  – середньо-квадратична похибка.

Із виразу (2) визначаємо середньо-квадратичну похибку датчика  $\sigma_{\text{д}}$  :

$$\sigma_d = \frac{\Delta_{\text{доплд}}}{K_{H(0,95)}} = \frac{0,375}{1,96} = 0,19 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Визначимо допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для ліній зв'язку:

$$\Delta t_{\text{доплз}} = \frac{K_{\text{ТЛЗ}} \cdot t_{\text{вим}}}{100} = \frac{0,4 \cdot 24}{100} = 0,096 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

де  $\Delta t_{\text{доплз}}$  – допустима абсолютна похибка лінії зв'язку;

$K_{\text{ТЛЗ}}$  – точність передачі сигналу лінією зв'язку ( $K_{\text{ТЛЗ}} = 0,4$ );

$t_{\text{вим}}$  – виміряна температура.

$$\sigma_{\text{ЛЗ}} = \frac{\Delta t_{\text{доплз}}}{K_{H(0,95)}} = \frac{0,096}{1,96} = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

де  $\sigma_{\text{ЛЗ}}$  – середньо-квадратична похибка ЛЗ.

Допустимі абсолютна та середньо-квадратична похибки АЦП:

$$\Delta t_{\text{допаци}} = \frac{K_{\text{ТАЦП}} \cdot t_{\text{вим}}}{100} = \frac{0,25 \cdot 24}{100} = 0,06 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (6)$$

$$\sigma_{\text{АЦП}} = \frac{\Delta t_{\text{допаци}}}{K_{H(0,95)}} = \frac{0,06}{1,96} = 0,03 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7)$$

де  $K_{\text{ТАЦП}}$  – точність передачі сигналу АЦП ( $K_{\text{ТАЦП}} = 0,25$ );

$\Delta t_{\text{допаци}}$  – абсолютна допустима похибка АЦП;

$\sigma_{\text{АЦП}}$  – середньо-квадратична похибка АЦП.

Визначимо допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для блока нормування (БН) мікропроцесорної плати:

$$\Delta t_{\text{допбн}} = \frac{K_{\text{ТБН}} \cdot t_{\text{вим}}}{100} = \frac{0,2 \cdot 24}{100} = 0,048 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (8)$$

$$\sigma_{\text{БН}} = \frac{\Delta t_{\text{допбн}}}{K_{H(0,95)}} = \frac{0,048}{1,96} = 0,025 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (9)$$

де  $K_{\text{ТБН}}$  – точність передачі сигналу блоком нормування ( $K_{\text{ТБН}} = 0,2$ );

$\Delta t_{\text{допбн}}$  – абсолютна допустима похибка блока нормування;

$\sigma_{\text{БН}}$  – середньо-квадратична похибка блока нормування.

Розрахуємо середньо-квадратичну похибку вимірювального каналу температури рослини [3, 4]:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ВКт}} &= \sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_{\text{ЛЗ}}^2 + \sigma_{\text{АЦП}}^2 + \sigma_{\text{БН}}^2} = \\ &= \sqrt{0,19^2 + 0,05^2 + 0,03^2 + 0,025^2} = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned} \quad (10)$$

де  $\sigma_{\text{ВКт}}$  – середньо-квадратична похибка вимірювального каналу температури.

Визначаємо допустиму абсолютну похибку вимірювального каналу температури рослини:

$$\Delta_{\text{ВКт}} = \pm K_{H(0,95)} \sigma_{\text{ВКт}} = \pm 1,96 \cdot 0,2 = 0,393 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (11)$$

де  $\Delta_{\text{ВКт}}$  – абсолютна похибка вимірювального каналу температури.

Зведена похибка вимірювального каналу  $\gamma_{\text{ВК}}$  буде рівна:

$$\gamma_{\text{ВК}} = \pm \frac{\Delta_{\text{ВКт}}}{t_{\text{вим}}} = \frac{0,393}{24} = 0,016 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (12)$$

Визначимо допустиму абсолютну похибку датчика вологості DHT11:

$$\Delta \varphi_{\text{доплд}} = \frac{K_{\text{ТДФ}} \cdot \text{ДВ}_d}{100} = \frac{0,5(100-75)}{100} = 0,125 \text{ } \%, \quad (13)$$

де  $\Delta \varphi_{\text{доплд}}$  – абсолютна допустима похибка датчика вологості;

$K_{\text{ТДФ}}$  – точність вимірювання датчика вологості;

$\text{ДВ}_d$  – його діапазон вимірювання.

Із виразу (2) визначаємо середньо-квадратичну похибку датчика вологості  $\sigma_{\text{ДФ}}$ :

$$\sigma_{\text{ДФ}} = \frac{\Delta \varphi_{\text{доплд}}}{K_{H(0,95)}} = \frac{0,125}{1,96} = 0,063 \text{ } \%. \quad (14)$$

Визначимо допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для ліній зв'язку:

$$\Delta \varphi_{\text{доплз}} = \frac{K_{\text{ТЛЗ}} \cdot \varphi_{\text{вим}}}{100} = \frac{0,4 \cdot 75}{100} = 0,3 \text{ } \%, \quad (15)$$

де  $\Delta \varphi_{\text{доплз}}$  – абсолютна допустима похибка лінії зв'язку;

$\varphi_{\text{вим}}$  – виміряна вологість повітря;

$K_{\text{ТЛЗ}}$  – точність передачі сигналу лінії зв'язку.

$$\sigma_{\text{ЛЗФ}} = \frac{\Delta \varphi_{\text{доплз}}}{K_{H(0,95)}} = \frac{0,096}{1,96} = 0,15 \text{ } \%, \quad (16)$$

де  $\sigma_{\text{ЛЗФ}}$  – середньо-квадратична похибка АЦП по каналу вологості.

Допустимі абсолютна та середньо-квадратична похибки АЦП:

$$\Delta \varphi_{\text{допаци}} = \frac{K_{\text{ТАЦП}} \cdot \varphi_{\text{вим}}}{100} = \frac{0,25 \cdot 75}{100} = 0,1875 \text{ } \%, \quad (17)$$

де  $\Delta \varphi_{\text{допаци}}$  – абсолютна допустима похибка АЦП по каналу вологості;

$K_{\text{ТАЦП}}$  – точність передачі сигналу АЦП.

$$\sigma_{\text{АЦПФ}} = \frac{\Delta \varphi_{\text{допаци}}}{K_{H(0,95)}} = \frac{0,06}{1,96} = 0,096 \text{ } \%, \quad (18)$$

де  $\sigma_{\Delta\varphi_{\text{АЦП}}}$  – середньо-квадратична похибка АЦП по каналу вологості.

Визначимо допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для блока нормування (БН) мікропроцесорної плати:

$$\Delta\varphi_{\text{ДОПБН}} = \frac{K_{\text{БН}} \cdot \varphi_{\text{ВИМ}}}{100} = \frac{0,2 \cdot 75}{100} = 0,15 \%, \quad (19)$$

де  $\Delta\varphi_{\text{ДОПБН}}$  – абсолютна допустима похибка БН по каналу вологості.

$$\sigma_{\text{БН}\varphi} = \frac{\Delta\varphi_{\text{ДОПБН}}}{K_{N(0,95)}} = \frac{0,15}{1,96} = 0,076 \%, \quad (20)$$

де  $\sigma_{\text{БН}\varphi}$  – середньо-квадратична похибка АЦП по каналу вологості.

Розрахуємо середньо-квадратичну похибку вимірювального каналу вологості повітря [3,4]:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ВК}\varphi} &= \sqrt{\sigma_{\Delta\varphi}^2 + \sigma_{\Delta\varphi_{\text{ЛЗ}\varphi}}^2 + \sigma_{\Delta\varphi_{\text{АЦП}\varphi}}^2 + \sigma_{\text{БН}\varphi}^2} = \\ &= \sqrt{0,063^2 + 0,15^2 + 0,096^2 + 0,076^2} = 0,62 \%, \end{aligned} \quad (21)$$

де  $\sigma_{\text{ВК}\varphi}$  – середньо-квадратична похибка вимірювального каналу вологості повітря.

Визначаємо допустиму абсолютну похибку вимірювального каналу вологості повітря:

$$\Delta_{\text{ВК}\varphi} = \pm K_{N(0,95)} \sigma_{\text{ВК}\varphi} = \pm 1,96 \cdot 0,62 = 1,21 \%, \quad (21)$$

де  $\Delta_{\text{ВК}\varphi}$  – допустима абсолютна похибка вимірювального каналу вологості.

Зведена похибка по каналу вимірювання вологості повітря буде рівна:

$$\gamma_{\text{ВК}\varphi} = \pm \frac{\Delta_{\text{ВК}\varphi}}{\varphi_{\text{В}}} = \frac{1,21}{75} = 0,016 \%, \quad (22)$$

де  $\gamma_{\text{ВК}\varphi}$  – зведена похибка по каналу вимірювання вологості повітря;

$\varphi_{\text{В}}$  – виміряне значення вологості повітря.

**Висновки.** 1. Розроблено стаціонарну систему фітотомоніторингу (температури) рослин та їх навколишнього середовища в теплиці. Розроблено і випробувано в ПАТ "Комбінаті "Тепличний" систему фітотомоніторингу в теплиці та визначено похибки вимірювального каналу по температурі та вологості, де середньо-квадратична похибка вимірювання вологості рівна 0,62%, температури – 0,2 °С; абсолютні похибки рівні для вологості 1,21%, а для температури - 0,393 °С.

2. Розраховані значення похибок дозволяють зробити висновок, що розроблена система забезпечує необхідну точність отримання інформації відповідно до існуючих вимог систем.

3. Розроблено програмне забезпечення системи фітотомоніторингу, що дозволило створити зручний інтерфейс для ефективної роботи обслуговуючого персоналу.

4. У цілому розроблена система фітотомоніторингу в теплиці ефективно доповнює існуючі системи керування мікрокліматом у промислових теплицях.

## Список використаних джерел

1. Микроклиматические основы тепличного овощеводства /Т. Муртазов, А. Шомош, Н. Гончарук и др. ; пер. с болг. Е. С. Сигаева. – М. : Колос, 1982. – 175 с.

2. Design of Greenhouse Control System Based on Wireless Sensor Networks and AVR Microcontroller. Yongxian Song. The Institute of Electronic Engineering Huaihai Institute of Technology, Lianyungang , 222005,China

3. Метрологія та основи вимірювань/ Цюцюра В. Д., Цюцюра С. В. : Навч. посібник – К.: Знання – Прес, 2003. -180 с. ISBN966-7767-39-6

4. Метрологія, стандартизація та управління якістю. Приклади і задачі Частина II. КлименкоЛ. П., ПізінцаліЛ. В., АлександровськаН. І., М.-2010, 78 с

5. Robotic Weed Control System for tomatoes/ <http://www.abe.ufl.edu/wlee/Publications/RoboticWeedControlSystem-PrecAg.pdf>

6. Каталог засобів автоматизації "Datasheets" <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

## Аннотация

### ПРОГРАМНО-АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ФИТОМОНИТОРИНГА В ТЕПЛИЦЕ

Лысенко В. П., Болбот И. М., Лендел Т. И., Чернов И. И.

*Реализовано программно-аппаратное обеспечение системы фитотомониторинга в теплице. Представлена программа работы, в которой выполняется считывания и хранения информация о вымирившем растении и ее окружающей среды в теплице. Рассчитано технические характеристики канала измерения и проведена проверка системы на производстве.*

## Abstract

### SOFTWARE AND HARDWARE PHYTO-MONITORING IN GREENHOUSES

V. Lysenko, I. Bolbot, T. Lengyel, I. Chernov

*Implemented software and hardware systems phytomonitoring in the greenhouse. Presents a program of work which is done reading and storing information about vymirystanu plant and its environment in the greenhouse. Calculated characteristics of the channel measurement and verified system at work.*