

## CHAPTER «ENGINEERING SCIENCES»

### JUSTIFICATION AND DEVELOPMENT OF MICROPROCESSOR MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM IN THE GREENHOUSE

### ОБґРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ТЕПЛИЦІ

Svitlana Gaydukevich<sup>1</sup>

Nadia Semenova<sup>2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-077-3-22>

**Abstract.** Plants are biological objects that react to any changes in the environment and all the microclimatic parameters of the greenhouse are closely related to each other and directly affect the growth and development of plants of a particular culture, therefore, these parameters must be strictly controlled, located in limits. In the automation of technological processes automatic regulation plays an important role. It maintains unchanged over time any important value that characterizes a particular technological process, or changes these values according to a certain law. Only microprocessor systems, which are part of measuring devices, allow you to accumulate the results of observations, process them according to a certain program. By programming the logic of operation, microprocessor devices increase performance of the equipment. It is especially important to use measuring and information technologies based on the use of microprocessors and sensors in creating an optimal microclimate, i.e., to achieve the appropriate standard parameters indoors areas because along with increasing prices on fuel and energy resources the quality requirements for microclimate support are increasing, too. The primary tasks of automation are tracking and managing microclimatic parameters

<sup>1</sup> Senior Lecturer, Separated Subdivision of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine “Berezhany Agrotechnical Institute”, Ukraine

<sup>2</sup> Senior Lecturer, Separated Subdivision of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine “Berezhany Agrotechnical Institute”, Ukraine

that directly or indirectly affect plant growth and production. Therefore, it became necessary to develop an effective and inexpensive system management for microclimate parameters for small greenhouses, which would be available to a wide range of consumers. As a result of the analysis of modern equipment for control and management of humidity, temperature and other climatic parameters, a microclimate control automatic system for a greenhouse was manufactured, which was developed and implemented on the hardware-computing platform Arduino in the development environment language Processing/Wiring. The performance characteristics of the developed and implemented device show that it has great potential. Namely, the fact that it performs constant monitoring of all indicators simultaneously due to sensors that transmit information to the control device, which is then fed to the processing unit, after which signals are issued to the corresponding actuators. In addition, the device has functional capabilities that allow you to choose a control method depending on the type of plant and the phase of growth, that is, the system can work according to a strictly specified program, or according to the time that is set depending on the day in the month, hours in the day. Integration of all functions in one system creates new control possibilities, the result of which is the increase in efficiency of optimization of quality of regulation of a microclimate at the expense of logical control that gives to the device additional advantages. That is, the risk of errors is reduced in contrast to the manual control of several independent systems. But it is important that the developed device replaces several separate devices.

### 1. Вступ

Поява мікропроцесорів послужила створенню нового сучасного періоду у сфері автоматизації виробничих процесів. Автоматизація виробництва – це один із напрямів науково-технічного прогресу, що розвивається у відповідності з часом та вимогами щодо ефективного керування об'єктами. І на сьогодні дуже важко собі уявити галузь народного господарства чи промисловості в якій не використовується мікроконтролер чи електронно-обчислювальна техніка, а особливо це стосується приміщень закритого ґрунту. Так, як рослини являють собою біологічні об'єкти, що реагують на любі зміни навколишнього середовища і усі мікрокліматичні параметри теплиці тісно пов'язані

між собою та безпосередньо впливають на ріст та розвиток рослин певної культури, тому ці параметри повинні суворо контролюватися, знаходитися в обмежених зонах. При автоматизації технологічних процесів важливу роль відіграє автоматичне регулювання, яке підтримує незмінною протягом часу будь-яку важливу величину, яка характеризує той чи інший технологічний процес, або змінює ці величини по визначеному закону. І тільки мікропроцесорні системи, що входять до складу вимірювальних приладів, дозволяють накопичувати результати спостережень, обробляти їх за певною програмою.

Тому основною задачею є виявлення і запобігання негативних наслідків внутрішніх і зовнішніх загроз за рахунок постійної готовності системи керування [1], де мікропроцесорні пристрої збирають відповідну інформацію, перетворюють її та передають виконавчим механізмам, управляють процесами. Програмуючи логіку роботи мікропроцесорні пристрої збільшують ефективність роботи обладнання. І такі системи найбільш затребувані в управлінні процесами вимірювання, для отримання підсумкових результатів та зберігання отриманих даних. Мікропроцесорні системи найчастіше використовуються для отримання статистичних (імовірнісних) характеристик.

Одним з основних переваг мікропроцесорних систем вимірювання є багатофункціональність, яка полягає в можливості заміни цілого вимірювального комплексу одним багатофункціональним пристроєм, що набуває великі функції завдяки додаванню блоку програм. Кількість доданих програм визначається застосовуваним блоком управління і можливостями постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП). При цьому істотно розширюються можливості периферійних пристроїв та вирішується питання взаємозв'язку показників надійності системи та економічної ефективності.

Новітні вимірювальні та інформаційні технології на основі використання мікропроцесорів та датчиків мають широке впровадження в різних галузях промисловості в тому числі і в теплицях, так як для автоматичного контролю параметрів технологічних процесів застосовують не тільки зверхточну механіку, пристрої електротехніки та електроніки, але і досягнення ряду наук. Особливо важливе їх застосування у створенні оптимального мікроклімату, тобто для досягнення відповідних нормованих параметрів в приміщеннях закритого ґрунту, тому що в результаті

підвищення цін на паливно-енергетичні ресурси все більше підвищуються вимоги до якості підтримки мікроклімату, за рахунок підвищення енергоефективності енергозбереження, а це в свою чергу накладає високі вимоги до технічного вдосконалення апаратного забезпечення систем керування, що з великою точністю враховують впливи зовнішніх і внутрішніх збурень, що є досить складною задачею. Але не всі господарства мають спроможність вкладати кошти в сучасні автоматичні системи [2], тому питання розробки ефективних і не дорогих систем автоматизації для теплиць залишається невирішеним [3]. Основною задачею являється дослідження технологічних процесів теплиці та розробка і реалізація якісної і не дорогої автоматичної системи керування мікрокліматичними параметрами для створення оптимальних умов розвитку рослин на базі багатофункціонального мікропроцесорного пристрою, що дозволяє проводити необхідні налаштування параметрів та досліджувати перехідні процеси з комп'ютерним керуванням від зовнішніх систем.

## 2. Аналіз приміщень закритого ґрунту

Розвиток рослин вимагає певних умов, таких як температура і вологість навколишнього середовища, рівень освітлення, внесення живильних речовин. А при їх недотриманні відбувається неефективне витрачання ресурсів, що в свою чергу призводить до зниження продуктивності та урожайності.

У відповідності з нормативами технологічного проектування сільського господарства системи інженерного забезпечення мікроклімату при вирощуванні овочевих культур повинні підтримувати температуру внутрішнього повітря від 15...18 (вночі) до 26...30°C (вдень), відносну вологість повітря від 60 до 90%, температуру ґрунту в залежності від культури і періоду її вегетації від 15 до 24°C, та нормовану освітленість, так як при недостатній освітленості уповільнюється ріст рослин і навіть може призвести до їх загибелі. А для того, щоб підтримувати задані параметри мікроклімату, в теплицях необхідно витрачати велику кількість теплової енергії. Так як в залежності від району розташування для обігрівання 1 га теплиць потрібно відповідно від 10 до 30 ГДж теплоти за годину, а доля теплової енергії в собівартості тепличних овочів становить від 30 до 70% [4], що приводить до пошуку нових шляхів підвищення ефективності [5].

Один із таких шляхів – це повна автоматизація технологічних процесів теплиці. Отже, першочерговими задачами автоматизації є: управління системою опалення повітря або ґрунту для захисту рослин від заморозків, управління системою вентиляції, поливом рослин та забезпечення достатньою освітленістю. Тому, перш ніж вибрати схему управління і устаткування для автоматизації теплиць, необхідно спочатку визначити характеристики об'єктів управління.

Опалення теплиць може бути: ґрунтове; повітряне; ґрунтово-повітряним.

Системи опалення повітря і ґрунту можуть виконуватися: з електрообігрівом нагрівальним дротом; з циркуляцією теплого повітря по трубопроводах; можуть використовуватися різні типи електрообігрівальних пристроїв, водяне опалення та опалювальні прилади, що працюють на газоподібному або рідкому паливі. Автоматизувати роботу всіх нагрівальних приладів в теплицях не завжди є можливість, хоча б з міркувань техніки безпеки.

Та не менш важливою задачею в теплицях є вентилявання. Вентиляція, яка складається з припливних і витяжних вентиляторів, стабілізує параметри мікроклімату та нормалізує його по вуглекислому газі. Витяжний вентилятор створює систему рециркуляції повітря і понижує вологість [2]. Тобто для кожного виду рослин необхідно підтримувати відповідну вологість, тому що при перевищенні температури і зниженні вологості нижче нормуючих значень ріст рослин призупиняється, а перевищення норм обох показників призводить до захворювання рослин. Тому при виборі схеми автоматики потрібно перш за все вирішити питання про методи вентилявання, а також потрібно правильно організувати управління поливом рослин.

### **3. Розробка конструкції установки**

Автоматизація теплиць передбачає відстеження та управління мікрокліматичними параметрами, які прямо або побічно впливають на ріст рослин, а також виробництво продукції.

Тому виникла необхідність розроблення ефективної та недорогой системи керування параметрами мікроклімату (рис. 1, в) для невеликих теплиць, яка була б доступною для широкого кола споживачів. В результаті аналізу сучасного обладнання для контролю та керування

вологісними, температурними та іншими кліматичними параметрами було виготовлено автоматичну систему керування мікрокліматом теплиці (рис. 1, в).



**Рис. 1. Загальний вигляд розробленого і виготовленого пристрою: а) пристрій автоматичного керування мікроклімату з макетом теплиці; б) вигляд макетної плати з припаяними пристроями; в) загальний вигляд розробленої і виготовленої установки автоматичного керування**

Ця автоматична система керування розроблена та реалізована на апаратно-обчислювальній платформі Arduino в середовищі розробки на мові Processing/Wiring. Ця платформа застосовується для створення електронних пристроїв з можливістю прийому сигналів від різних цифрових і аналогових датчиків, які можуть бути підключені до неї для управління різними пристроями. Arduino може використовуватися як для створення інтерактивних об'єктів автоматики, так і підключатися до програмного забезпечення на комп'ютері через стандартні дротові і бездротові інтерфейси, наприклад: Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider.

На сьогоднішній день розробниками виготовлено дуже багато різноманітних платформ на базі Arduino. Але для запропонованої розробки автоматичної системи керування було вибрано повнофункціональний пристрій Arduino Nano на базі мікроконтролера ATmega328, що адап-

тований для використання з макетною платою. Пристрій Arduino Nano змонтований на макетній платі, що була замовлена та виготовлена на заводі JLCPCB за власним проектом, який був розроблений у форматі Gerber (рис. 2), магістром Бережанського агротехнічного інституту Леськівим Ярославом. Макетна плата використовується для простого з'єднання між Arduino Nano та іншими пристроями. Вона є ідеальним доповненням до контролера ATmega328 і сумісна з пристроєм Arduino Nano. Тобто, крім стандартних виводів контролера є кілька груп контактів додаткового призначення – шини живлення 3,3 В і загальний, інтерфейс I2C (4 групи) і послідовний інтерфейс UART. Всі інтерфейсні роз'єми доповнені контактами живлення.

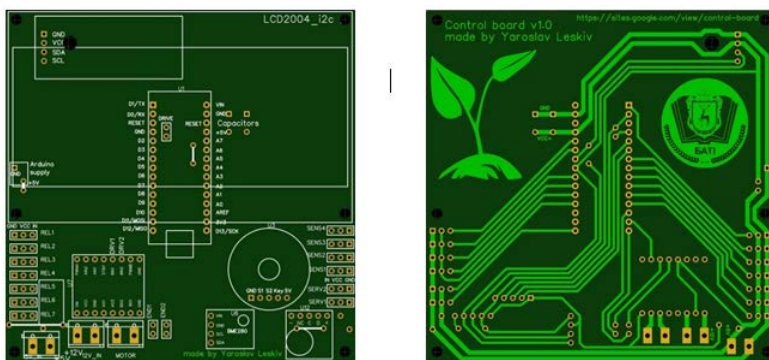


Рис. 2. Загальний вигляд розробленої плати

Мікросхема FTDI FT232RL забезпечує зв'язок приймача з USB-портом комп'ютера, і при підключенні до персонального комп'ютера дозволяє Arduino визначитися як віртуальний COM-порт (драйвера FTDI вклучені в пакет програмного забезпечення Arduino).

Розроблена і виготовлена система автоматичного керування на платформі Arduino дозволяє керувати всіма процесами, що налічуються в теплиці. Для цього використовуються напівпровідникові, або твердотільні реле, що призначені для керування виконавчими механізмами: нагрівальними пристроями, лампами розжарювання або напівпровідниковими лампами, вентиляційною системою, системою поливу та іншими електричними пристроями з активним (резистивним)

навантаженням (при дотриманні особливих умов і для навантаження індуктивного характеру) і робочою напругою живлення від 24 до 380В змінного струму.

Найважливішим органом, за допомогою якого виконується налаштування пристрою і керування процесами є енкодер (рис. 5). Енкодер – це пристрій для перетворення кутових положень або лінійних переміщень в цифровий сигнал, тобто енкодер – це датчик кута або лінійного переміщення, які відповідно є крутильні або лінійні.

У звичайного інкрементального енкодера, який був використаний, цей сигнал являє собою два квадратні сигнали (при рівномірному обертанні), зсунутих по фазі на 90 градусів. Енкодера має 20 фіксованих позицій на один оборот валу.

Для того щоб знати точний час використано модуль реального часу Real Time Clock (RTC), який ґрунтується на мікросхемі DS3231, всередину якої встановлений кварцовий резонатор і датчик температури, що компенсує зміни температури, відраховує точний час і може його зберігати навіть при відключенні основного живлення, так як має резервне живлення – батарейку CR2032, яка може працювати декілька років.

Для управління двигунами постійного струму використано модуль L298N Motor Driver, який може контролювати швидкість і напрям обертання двох двигунів постійного струму, а так само управляти біполярним кроковим двигуном типу NEMA 17. Цей модуль складається з двох Н-мостів (H-Bridge), один для виходу А, другий для виходу В. Н-міст широко використовується в електроніці і служить для зміни обертання двигуном. Схема Н-моста містить чотири транзистора (ключа) з двигуном в центрі, утворюючи Н-подібну компоновку. Принцип роботи дуже простий. При одночасному закриванні двох окремих транзисторів змінюється полярність напруги, що прикладена до двигуна, це дозволяє змінювати його напрям обертання. Драйвер підтримує наступні режими роботи: «Вперед», «Назад», «Гальмування» і «Зупинка».

### 4. Розробка електричної схеми керування

Особливістю сучасної теплиці, як об'єкта керування, є велика інерційність, значний вплив зовнішніх збурень і нестабільність контрольованих і регульованих параметрів [6]. Тому перш ніж розробити електричну схему спочатку склали функціонально-технологічну схему



(рис. 3), яка відображає технічні рішення автоматизації конкретних технологічних процесів. На функціонально-технологічній схемі за допомогою умовних позначень показали пристрої керування, прилади і засоби автоматизації і зв'язки між ними, які визначають в цілому принципи побудови системи автоматичного контролю і керування об'єктом.

Керування мікрокліматом теплиці виконується наступним чином:

– регулювання режимів обігріву теплиці здійснюється на підставі вимірювальної інформації щодо поточної температури повітря в зоні вирощування (UE);

– керування зволоженням повітря здійснюється на підставі вимірювальної інформації від датчика температури й вологості (UE) повітря в зоні вирощування культур;

– регулювання режимів провітрювання теплиці здійснюється на підставі вимірювальної інформації від датчика температури й вологості (UE) повітря в зоні вирощування культур;

– дозування вуглекислого газу, що надходить до зони вирощування культур здійснюється на підставі вимірювальної інформації від датчиків температури (UE) повітря;

– керування режимами роботи джерел штучного освітлення та доосвічування здійснюється на підставі таймера або ефективної освітленості зони вирощування (QE);

– зрошення ґрунту здійснюється на підставі вимірювальної інформації від датчика вологості (ME) ґрунту;

– обігрів ґрунту виконується в залежності наданої інформації від датчика температури (TE) ґрунту.

В залежності від функціонального призначення кожна із вищенаведених підсистем має два або три режими роботи. Два режими мають підсистеми логіки роботи, які побудовані на принципі вмикання/вимикання, а саме: зволоження повітря, полив, штучне доосвічування, підкормка вуглекислим газом.

Наприклад, підсистема провітрювання зони вирощування керує вентиляторами та фрамугами вентиляції, які, в свою чергу, можуть працювати в різних режимах інтенсивності, а саме: «Відкрити фрамуги на 90° та ввімкнути вентилятори на повну потужність», «Відкрити фрамуги на 45° та ввімкнути вентилятори на половину потужності», «Закрити фрамуги та вимкнути вентилятори».

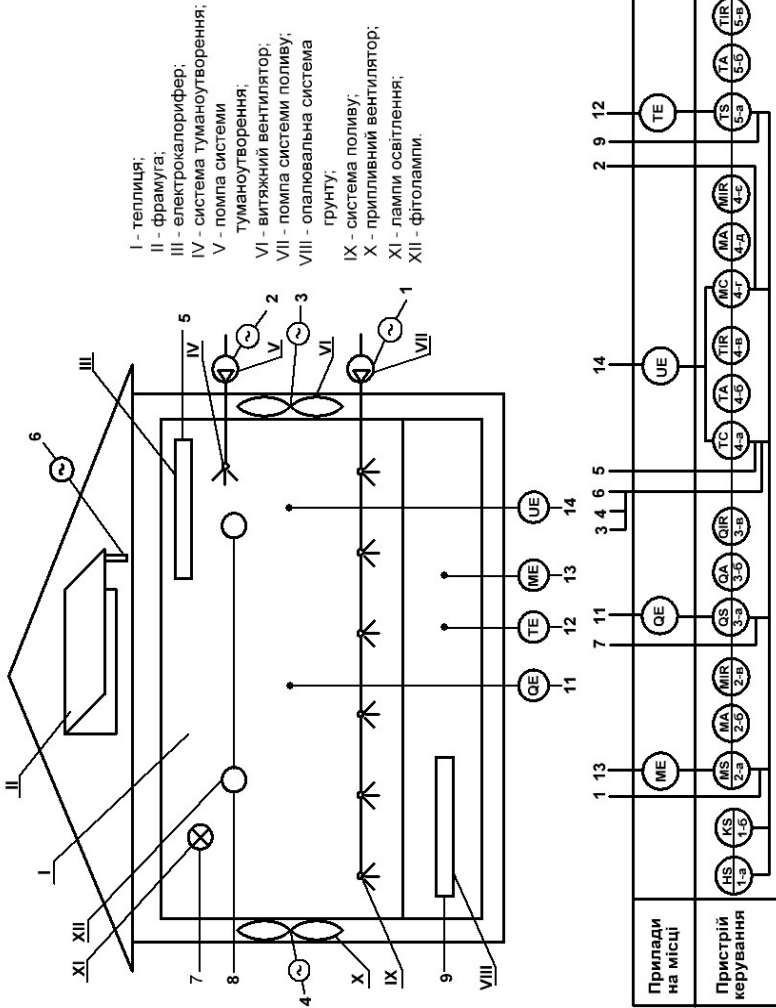


Рис. 3. Функціонально-технологічна схема

Регулювання насосом системи поливу здійснюється за допомогою датчика вологості ME. Ввімкнення і вимкнення ґрунтових нагрівних елементів здійснюється за допомогою датчика температури TE, який розміщений безпосередньо в ґрунті на нагрівній системі, а ввімкнення і вимкнення повітряних нагрівних елементів здійснюється за допомогою комбінованого датчика, який вимірює температуру й вологість повітря UE. Режим роботи регулюється за допомогою перемикача (енкодера). Робота вентилятора контролюється за допомогою датчика, який вимірює температуру і вологість в теплиці.

Принципова електрична схема (рис. 4) розробляється на базі схем автоматизації, де визначається повний склад електричних елементів та зв'язків між ними, а також дає детальне уявлення про принципи роботи схеми.

Для розробленої схеми вибрано наступні компоненти:

**Комбінований датчик DHT21/AM2301** використовується для вимірювання температури і вологості повітря. Напруга живлення – 3,3...5,5 В; діапазон температур – -40...+80°C; діапазон вологості – 0...10%; тип інтерфейсу – цифровий.

**Термодатчик DS18B20** використовується для вимірювання температури ґрунту, має водонепроникний корпус, цифровий з програмованою точністю від 9 до 12-bit, обмінюється даними по 1-Wire шині і при цьому може бути як єдиним пристроєм на лінії так і працювати в групі, так як має унікальний 64-бітний послідовний код, який дозволяє спілкуватися з безліччю датчиків DS18B20, встановлених на одній шині. Напруга живлення – 3,0...5,5 В; діапазон температур – від -55 до +125 °С.

**Датчик вологості ґрунту FC-28** цифровий, має два інтерфейси для підключення живлення і під'єднання до мікроконтролера, на виході видає 1 або 0 в залежності від того, наскільки вологий ґрунт. Коли ґрунт сухий, опір буде великий, при цьому струм зменшиться. При вологому ґрунті навпаки опір зменшується, а струм збільшується. Напруга живлення – 3,3...5 В. Живлення датчика може здійснюватися від Arduino контролера, або від іншого керуючого мікропроцесорного пристрою, або зовнішнього джерела живлення (блоку живлення, батареї).

**Модуль датчика світла** з пороговим компаратором. Поріг спрацьовування компаратора регулюється змінним резистором. Напруга живлення – 3...5 В, струм – 0,5...3 мА.

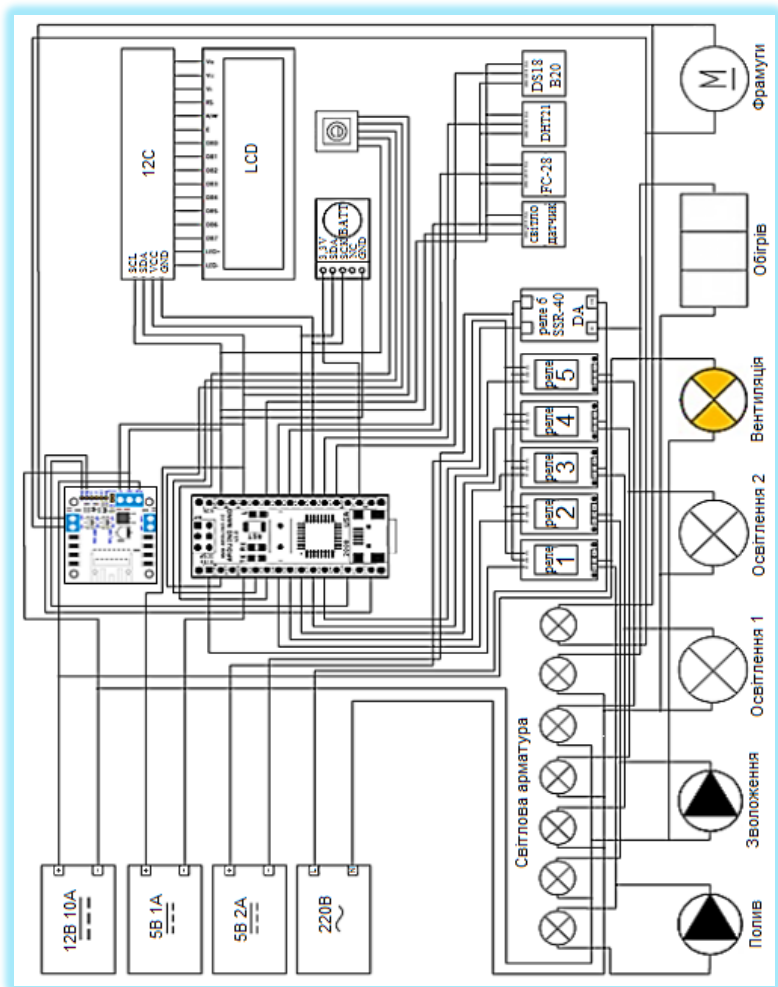


Рис. 4. Принципова електрична схема

**Реле Songle SRD-05VDC-SL-C** одноканальне, має високу якість. Напруга живлення – 5 В. В даній схемі вибрано 6 шт. реле для керування помпою для системи поливу ґрунту, помпою для системи туманоутворення, системою штучного освітлення, системою доосвічування (фітолампи); системою вентиляювання (вентилятори), лінійним актуатором для закривання і відкривання фрамуги.

**Твердотільне реле SSR-40DA-H** – це сучасний напівпровідниковий пристрій, який призначений для безконтактної комутації силових ланцюгів, виконавчих механізмів. Твердотільне реле використано для нагрівальних елементів (ТЕН). Може ще використовуватися для освітлювальних приладів, малопотужних електродвигунів та інших пристроїв з робочою напругою до 480 В змінного струму і можуть керуватися постійною напругою від 3 до 32 В. Реле не призначене для комутації індуктивного навантаження.

**LCD екран** має 20 символів 4 рядки з керуванням по шині I2C (TWI, PC), що дуже зручно при нестачі вільних виносів на Arduino.

**Лампи AD16DS LED** використовуються для індикації стану каналів (рис. 1, в): 1 – помпа для системи поливу ґрунту; 2 – помпа для системи туманоутворення; 3 – система освітлення; 4 – система доосвічування (фітолампи); 5 – система вентиляювання; 6 – система обігріву; 7 – лінійний актуатор для закривання і відкривання фрамуги з кінцевими вимикачами для обмеження руху і з роботою по тайм-ауту.

## 5. Результати досліджень

Дослідження проводилися в лабораторії «Електротехнології» на макеті теплиці де регулювання параметрів мікроклімату ще донедавна виконувалося за допомогою традиційних релейно-контактних пристроїв і ПД-регуляторів. Так як ПД – регулятори володіють тривалими перехідними процесами, якість яких при великій інерційності каналу регулювання і сильних змінах навколишнього середовища негативно впливає на роботу регуляторів, що приводить не тільки до величезних витрат, але й не задовольняє найпростіші вимоги агротехніки. Тому виникла нелегка задача модернізації за рахунок розробки, дослідження та впровадження сучасних методів і засобів моніторингу та керування технологічними процесами теплиці. Рішення даної науково-технічної задачі дозволили розробити науковий підхід щодо

обґрунтування агротехнічних заходів із покращення мікрокліматичних показників теплиці [7].

На підставі результатів проведеного аналізу актуальних регламентованих вимог щодо технологій вирощування овочевих культур на захищених ґрунтах [3; 8], та результатів попередніх досліджень науковців був розроблений і виготовлений пристрій автоматичного керування мікрокліматом теплиці.

Так як мікроклімат теплиці характеризується нестабільністю параметрів [9], то на етапі проектування системи досить складно вибрати єдиний критерій керування [10]. Тому розроблена автоматична система контролю та керування технологічних параметрів забезпечує неперервний збір, обробку та відображення інформації про функціонування теплиці.

Вся робота системи базується на показах датчиків, RTC модуля і керування виконується за п'ятьма параметрами: температурою ґрунту; вологістю ґрунту; температурою повітря; вологістю повітря; освітлюваністю.

В результаті чого насіння томатів обробляли високою напругою і висівали в даній теплиці. На протязі визначеного часу проводилися спостереження за розвитком рослин, які проростали в кліматичному середовищі, що створювалося розробленою автоматичною системою.

В результаті спостережень було проаналізовано особливості технологічних процесів при двох різних системах керування: системи, яка розроблена на мікропроцесорі і системи на ПІД-регуляторах.

На протязі проведення досліджень розроблена і реалізована система (рис. 5) забезпечувала безперебійну роботу теплиці та з заданою точністю і чіткістю керувала технологічними процесами по забезпеченню оптимального мікроклімату, що привело до швидшого проростання насіння і кращого розвитку рослин, так як суворе дотримання основних параметрів мікроклімату – це запорука високої врожайності і стійкості рослин до захворювання [11].

Характеристики роботи розробленого і реалізованого пристрою показали, що в нього є великий потенціал. А саме те, що він виконує постійний контроль за всіма показниками одночасно за рахунок датчиків, які передають інформацію на керуючий пристрій, яка потім поступає на блок обробки, після чого видаються сигнали на відповідні виконавчі механізми. Крім того, пристрій володіє функціональними

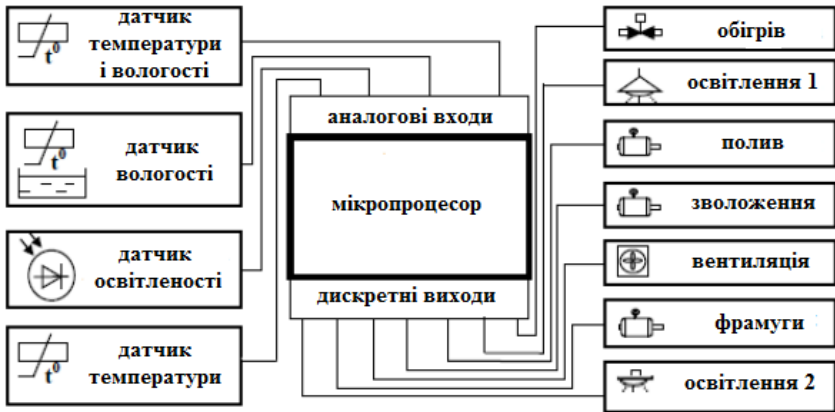


Рис. 5. Структурна схема керування мікрокліматом теплиці

можливостями, що дозволяє вибирати метод керування в залежності від виду рослин і фази росту, тобто система може працювати по строго заданій програмі, або за часом, який встановлюється в залежності від дня в місяці, години в дні. Інтеграція всіх функцій в одній системі створює нові можливості керування, результатом чого являється підвищення ефективності оптимізації якості регулювання мікроклімату за рахунок логічного керування, що надає пристрою додаткові переваги. Тобто зменшується ризик виникнення помилок на відміну ручного керування декількома незалежними системами. Та немаловажним є те, що розроблений пристрій замінює декілька окремих приладів, наприклад, 2 регулятори температури повітря, для імітації дня і ночі, регулятор вологості повітря, регулятор температури ґрунту, регулятор вологості ґрунту, 2 реле часу, електромагнітний пускач освітлювальної установки, електромагнітний пускач вентиляційної установки та ін.

На відміну від розробленої автоматичної системи, установка на ПД регуляторах має наступні недоліки:

- відсутня можливість відстежування і контролю за всіма параметрами одночасно;
- технологічні вимоги забезпечуються із суттєвими відхиленнями від заданих значень, що знижує швидкість проростання насіння та якість продукції;

– відсутня можливість плавного регулювання мікрокліматичних параметрів, що призводить до більшого використання електроенергії (рис. 6);

– значні енергетичні та теплові втрати, що знижують собівартість продукції (рис. 7);

– велика кількість електрообладнання, що призводить до зменшення ймовірності безвідмовної роботи і відповідно до меншої надійності при експлуатації;

– всі пристрої великогабаритні, що займає багато місця.

Використання мікропроцесорів у складі облад-

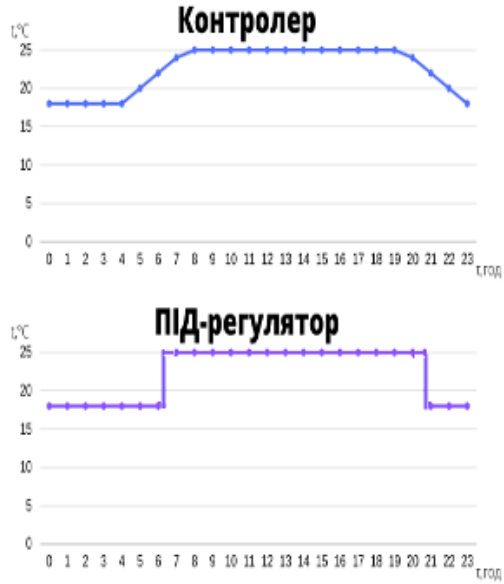
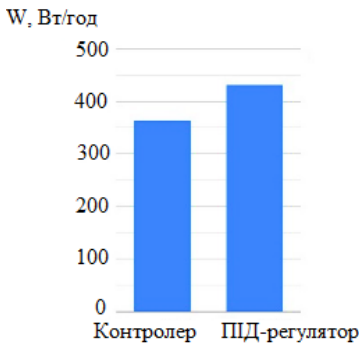
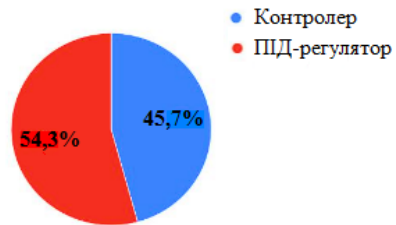


Рис. 6. Обігрів приміщення закритого ґрунту з імітацією дня і ночі



а)



б)

Рис. 7. Витрати електроенергії на освітлення при функціонуванні теплиці за добу

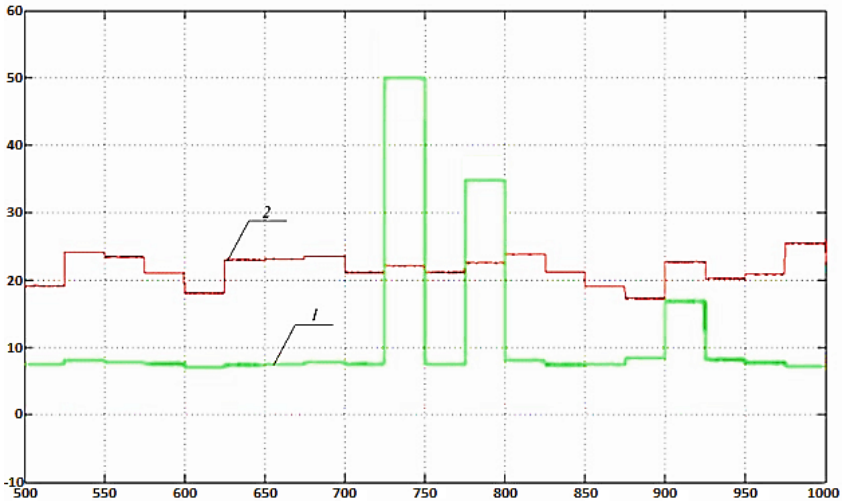


нання приміщень закритого ґрунту забезпечує зниження на порядок їх вартості в порівнянні із системами на елементах малого й середнього ступеня інтеграції [12], які реалізують аналогічні функції. Одночасно покращує функціональні можливості обладнання, систем управління, значно підвищується надійність їх роботи, що в кінцевому результаті позитивно відображається на якості продукції.

Враховуючи складність процесу оптимізації мікроклімату [13] на базі пакету розширення MATLAB & Simulink Fuzzy Logic Toolbox проведено моделювання нечіткого керування технологічними процесами в теплиці.

В результаті розробки підсистеми обігріву повітря зони вирощування отримано результати моделювання, які наведено на рис. 8.

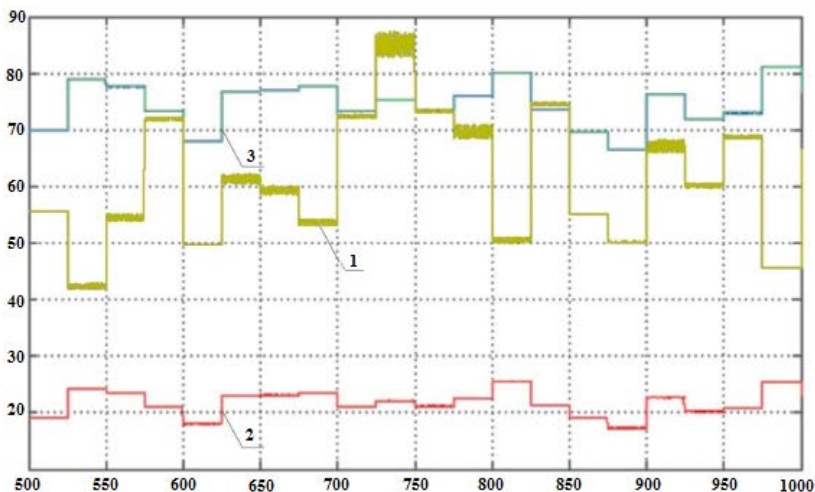
Як видно з аналізу результатів моделювання, які наведено на рис. 8, розроблений автоматичний регулятор приводить процес обігріву до рекомендованого стану, шляхом його адаптації до необхідної температури в приміщенні закритого ґрунту.



**Рис. 8. Результати моделювання розробленого пристрою автоматичного керування підсистемою обігріву (1 – вихідний сигнал керування; 2 – вихідний сигнал сенсору температури)**

Аналіз результатів моделювання, який наведено на рис. 9, показав що розроблена підсистема керування зволоження повітря теплиці приводить рівень вологи до регламентованого значення, шляхом його адаптації до температури й вологості зони вирощування.

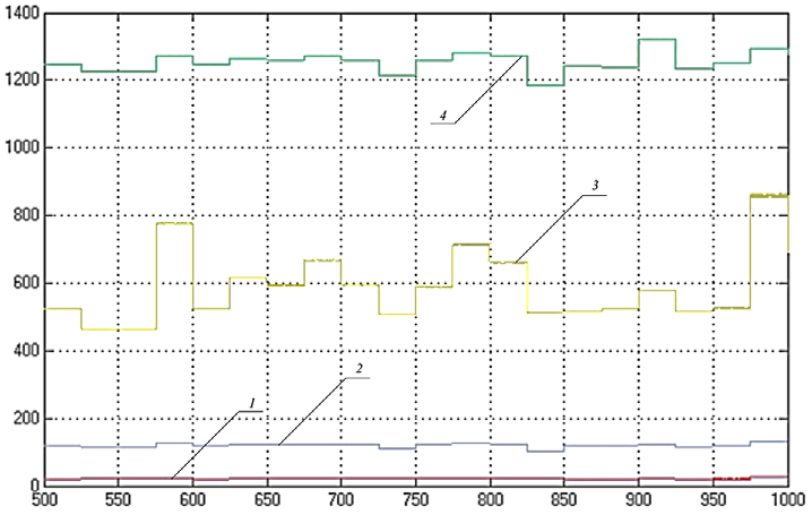
В результаті розробки підсистеми вентиляції приміщення закритого ґрунту отримано результати моделювання, які наведено на рис. 10.



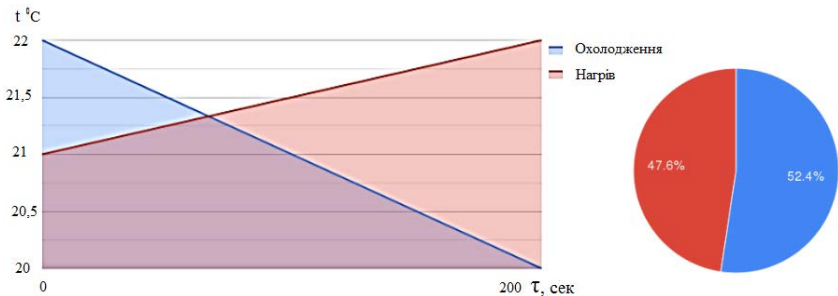
**Рис. 9. Результати моделювання розробленого пристрою автоматичного керування підсистемою зволоження (1 – вихідний сигнал керування; 2 – вихідний сигнал сенсору температури; 3 – вихідний сигнал вологості)**

Як видно з аналізу результатів моделювання, які наведено на рис. 10, розроблена підсистема керування вентиляцією зони вирощування теплиці адаптує швидкість подачі чистого повітря до регламентованого значення

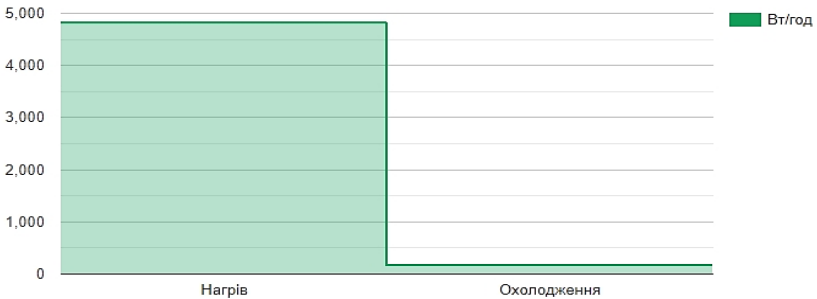
Розроблена автоматична системи керування передбачає відстежування і управління кліматичними параметрами, що регулює ріст і розвиток рослин. Це дозволить досягти значної гнучкості в управлінні мікрокліматом теплиці [14], що приводить до зниження втрат електроенергії (рис. 12).



**Рис. 10. Результати моделювання розробленого пристрою автоматичного керування підсистемою обігріву, зволоження та освітлення (1 – вихідний сигнал сенсору температури; 2 – вихідний сигнал сенсору інтенсивності освітлення; 3 – вихідний сигнал керування підсистемою ввімкнення нагрівача/обігріву, 4 – вихідний сигнал сенсору вологості повітря)**



**Рис. 11. Результати порівняння нагріву та охолодження відносно часу**



**Рис. 12. Результати дослідження витрат електроенергії протягом 24 годин**

Розроблена система автоматичного керування може моніторити мікрокліматичні параметри не тільки за допомогою датчиків, але й працювати за часом. Прив'язка до реального часу (рис. 13) працює наступним чином: дія буде відбуватися з обраним періодом від початку години, тобто якщо обраний 15 хвилинний, то дія буде в 0, 15, 30 і 45 хвилин кожної години. Якщо обраний період більше години (від двох і більше) то можна вибрати годину старту, від якої піде відлік. Всі періоди кратні 24 год., тому робота починається в одній і тій ж годині кожного дня.

Наприклад: період 8 годин, початкова година 0. Дію буде виконано в 0, 8 і 16 годин кожного дня. Якщо поставити початкову годину (СТАРТ) з 3 години, то дія буде виконана в 3, 11 і 19 годин кожного дня. При скиданні живлення наступна дія буде здійснюватися найближчим часом «будильника». Наставляти час потрібно так, щоб РОБОТА не перевищувала періоду ЗУПИНКИ.

Week (Day) – простий таймер на одну дію з прив'язкою до реального часу, має налаштування On (час в форматі ГГ: ХХ: СС) – час, з якого дія активна і Off (час в форматі ГГ: ХХ: СС) – час, з якого дія не активна. Також є 7 «осередків» – днів тижня Days, з понеділка по неділю. При перезавантаженні дія повертається в потрібне положення згідно з поточним часом. Наприклад: таймер налаштований на 6 і 20 годин (Start і Stop). Відповідно поточного каналу та параметру Direction дія буде активна з 6 до 20 години, і неактивна з 20 по 6 годину

Період	Кількість раз на добу	Коли спрацьовує
1 хв.	1440	Кожну хвилину
3 хв.	480	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57 - хвилини кожної години
5 хв.	288	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 - хвилини кожної години
10 хв.	144	0, 10, 20, 30, 40, 50 - хвилини кожної години
15 хв.	96	0, 15, 30, 45 - хвилини кожної години
30 хв.	48	0, 30 - хвилини кожної години
1 год.	24	Кожну годину
2 год.	12	0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 - година кожного дня (+ зсув на старту годину)
3 год.	8	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 - година кожного дня (+ зсув на старту годину)
4 год.	6	0, 4, 8, 12, 16, 20 - година кожного дня (+ зсув на старту годину)
6 год.	4	0, 6, 12, 18 - година кожного дня (+ зсув на старту годину)
8 год.	3	0, 8, 16 - година кожного дня (+ зсув на старту годину)
12 год.	2	0, 12 - година кожного дня (+ зсув на старту годину)
24 год.	1	0 - година кожного дня (+ зсув на старту годину)

Рис. 13. Налаштування за часом

ранку наступного дня. При раптовому перезавантаженні система виконує дію так, як вона повинна бути на цьому відрізку часу. Тобто з минулого прикладу, якщо в проміжок між 6 і 20 годинами відбудеться раптове перезавантаження, при запуску система активує дію по каналу. Налаштувати потрібно так, щоб On був менше Off.

### 6. Економічна ефективність використання

При порівнянні двох чи декількох варіантів визначаються капітальні вкладення і поточні експлуатаційні витрати. Ті варіанти, в яких показники є найбільшими, вони являються менш економічними. Зниження поточних витрат можна досягнути, як правило, за рахунок більш прогресивної, але й більш дорогої техніки.

Зведені витрати дають відповідь на питання, що в даних конкретних умовах вигідніше: прийняти більш дорогий варіант, але з меншими поточними витратами протягом року або вибрати варіант більш дешевий, але з більшими щорічними витратами.

Проведемо порівняння ефективності систем регулювання мікроклімату теплиці при регулюванні розробленим та реалізованим пристроєм системи автоматичного керування, системи на ПІД регуляторах з контактнo-релейним обладнанням і установки, яка рекомендується фірмою iLogix.

Визначаємо річні амортизаційні відрахування по трьох варіантах

$$Z_a = K \cdot \frac{P_a}{100}, \text{ грн}$$

де  $K$  – загальна сума капітальних витрат (базового варіанту, нового варіанту, установки рекомендованої фірмою iLogix), грн.;  $P_a$  – процент витрат на амортизаційні відрахування,  $P_a=15\%$ .

Визначаємо витрати на споживану електроенергію по кожному варіанті

$$Z_e = \frac{P_o}{\eta} \cdot T_{ef} \cdot K_{BM} \cdot K_z \cdot C_0, \text{ грн}$$

де  $P_o$  – номінальна потужність відповідно для базового і нового варіанту, кВт;  $T_{ef}$  – ефективний фонд часу роботи, години;  $K_{BM}$  – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом);  $K_z$  – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю);  $C_0$  – вартість електроенергії,  $C_0=1,68$  грн/кВт·год.

Коефіцієнт корисної дії для базового варіанту буде дорівнювати 82,88 %, для розробленого і рекомендованого варіантів – 90,25 %. Коефіцієнт використання за часом приймемо рівним 0,8 для всіх варіантів, а коефіцієнт використання за потужністю по базовому варіанту дорівнює 0,62, а для нових варіантів – 0,97.

Визначаємо ефективний фонд часу для всіх варіантів

$$T_{ef} = D_k \cdot K_k \cdot 24, \text{ годин}$$

де  $D_k$  – календарні дні роботи обладнання,  $D_k=360 \div 366$  днів; 24 – години доби,  $K_k$  – коефіцієнт, який залежить від часу роботи обладнання в році,  $K_k=90 \div 95\%$ .

Визначаємо відрахування на інші витрати

$$Z_{in} = K \cdot \frac{P_E}{100}, \text{ грн}$$

де  $P_E$  – процент відрахувань на інші витрати,  $P_E=1\%$ .

Визначаємо загальні експлуатаційні витрати

$$Z_{E1} = Z_a + Z_e + Z_{in}$$

Таблиця 1

**Витрати на електроустаткування та експлуатаційні витрати базового варіанту на ПІД регуляторах, розробленої системи автоматичного керування і установки, що рекомендується фірмою iLogix**

Найменування витрат	Базовий варіант	Новий варіант	Рекомендований фірмою iLogix
Кошторисна вартість всього обладнання, грн	2420	1340	8932
Резерв, грн	726	67	446,6
Транспортні витрати, грн	97,2	53,6	107,184
Загальна сума капітальних витрат $K_{\text{бб}}$ , грн.	3243,2	1460,6	9485,78
Загальні експлуатаційні витрати			
Амортизація, грн	486,48	219,09	1422,87
Кількість електроенергії за зимовий період, кВт	569,25	517,5	517,5
Витрати на електроенергію, грн	956,34	869,4	869,4
Інші витрати, грн	32,43	14,61	94,86
Разом – експлуатаційні витрати, грн	4672,91	2522,3	11831,51



З таблиці 1 видно, що загальні експлуатаційні витрати найменші для розробленої та виготовленої мікропроцесорної автоматичної системи керування мікрокліматом теплиці на базі повнофункціонального пристрою Arduino.

## 7. Висновки

Аналіз виробничих процесів дозволив розробити алгоритм функціонування програмуючих контролерів, які мають можливість більш ефективно витрачати енергоресурси на створення мікрокліматичних режимів у спорудах закритого ґрунту, що дозволило знизити використання теплової енергії на 10,4 %, а тим самим знизити енерговитрати.

На сучасній мові програмування розроблено програму для логічних контролерів з метою автоматичного керування роботою електрообладнання теплиці та визначення мікрокліматичних параметрів влюбій точці приміщення, що призвело до точності роботи системи.

Розроблена автоматична система в умовах реального часу дозволяє створювати енергоефективну базу автоматизації роботи електрообладнання для функціонування в тепличному господарстві.

Використання мікропроцесора у складі автоматичної системи керування покращує функціональні можливості обладнання, систем управління, значно підвищує надійність їх роботи, що в кінцевому результаті позитивно відображається на якості продукції.

## Список літератури:

1. Гайдукевич С.В., Семенова Н.П., Леськів Я.А. Підвищення ефективності в системах керування мікрокліматичними параметрами приміщень закритого ґрунту. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2020. Том 31(70). № 6. С. 58–64.
2. Гайдукевич С.В., Семенова Н.П., Леськів Я.А. Розробка автоматичної системи для ефективного функціонування теплиці. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2021. № 1.
3. Євсєнко О.М. Розробка апаратно-програмної системи керування мікрокліматом теплиці. *Технічна інженерія*. 2020. № 1(85). С. 104–109.
4. ВНТП АПК–19–07. Тепличні і оранжерейні підприємства. Споруди захищеного ґрунту для фермерських (селянських) господарств: Відомчі норми технологічного проектування / М-во аграр. політ. України. Київ : «ХІК», 2007. 140 с.
5. Шульц О.В. Дослідження та розробка інформаційно-управляючої scada-системи процесом опалення у теплиці. 70-а науково-практична конфе-



рення студентів «Енергозабезпечення, електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в АПК». Київ : НУБіП України, 2016. С. 82.

6. Коломієць Т.І. Автоматизована система управління параметрами мікроклімату в теплицях. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції. Черкаси, 2014. С. 32–33.

7. Лактіонов І.С., О.В. Вовна О.В., Зорі А.А. Реалізація комп'ютеризованої системи віддаленого моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових теплиць. *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»*. 2017. № 1(24). С. 88–90.

8. НТП АПК 1.10.09.001-02. Нормы технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц: Ведомственные нормы технологического проектирования / Минсельхоз РФ. Москва : Гипронисельпром, 2003. 24 с.

9. Сацик В.О., Карпук Д.П. Апаратне забезпечення автоматизованого регулювання мікроклімату теплиці. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. 2013. Вип. 40. С. 245–250.

10. Віхрова Л.Г., Каліч В.М., Прокопенко Т.О. Адаптивна автоматизована система збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кіровоград : КНТУ, 2016. Вип. 29. 318 с.

11. Прокопенко Т.О. Інтелектуальна система керування температурно-вологісним режимом теплиці. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК»*. 2015. Вип. 209. Ч. 1. С. 140–147.

12. Кривицька Н.Ю., Командровська В.Є., Андрущенко В.В. Інтеграційні процеси підприємств України: визначення, види та напрями. *Економіка та управління підприємствами*. 2017. Вип. 24. С. 131–134.

13. Діордієв В.Т., Кашкар'єв А.О., Діордієв О.О. Автоматизована система моніторингу та керування мікрокліматом у теплиці / *Матеріали науково-технічної конференції студентів та магістрантів* / Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2018. Вип. 8, том 2.

14. Гайдукевич С.В., Леськів Я.А. Особливості системи керування тепло-вологісними режимами теплиці. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку агротехніки електроінженерії* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Бережани, 10 квітня 2020 р.). Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2020. С. 195–196.

### References:

1. Haidukevych S.V., Semenova N.P., Leskiv Ya.A. (2020) Increase of efficiency in control systems by parameters of microclimate of apartments of the closed soil. *Scientific notes of Tavriya National University named after V.I. Vernadsky*, vol. 31(70), no. 6, pp. 58–64.

2. Haidukevych S.V., Semenova N.P., Leskiv Ya.A. (2021) Development of an automatic system for efficient functioning greenhouse. *Bulletin of Cherkasy State Technological University*, no. 1.

3. Evseenko O.M. (2020) Development of hardware and software control system for greenhouse microclimate. *Technical engineering*, no. 1(85), pp. 104–109.
4. VNTP APK-19-07 (2007) Greenhouse and beds enterprises. Constructions of protected soil for farmers (peasant) farms: Departmental standards of technological design / Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. Kyiv: HIK, 140 p.
5. Schultz O.V. (2016) Research and development of information control scada-system for the heating process in the greenhouse. *70th scientific-practical conference of students «Energy supply, electrical technology, electrical engineering and intelligent control systems in agriculture»*. Kyiv: NULES of Ukraine, p. 82.
6. Kolomiets T.I. (2014) Automated control system for microclimate parameters in greenhouses. *Automation and computer-integrated technologies in production and education: state, achievements, development prospects: materials of the All-Ukrainian scientific-practical internet-conference*. Cherkasy, pp. 32–33.
7. Laktionov I.S., Vovna O.V., Zori A.A. (2017) Implementation of a computerized system for remote monitoring and control of microclimate parameters of industrial greenhouses. *Scientific works of DonNTU. Series «Informatics, cybernetics and computer engineering»*, no. 1(24), pp. 88–90.
8. NTPAIC 1.10.09.001-02 (2003) Norms of technological design of selection complexes and reproduction greenhouses: Departmental norms of technological design / Ministry of agriculture of the RF. Moscow: Giproniselprom, 24 p.
9. Satsik V.O., Karpuk D.P. (2013) Hardware for automated regulation of the microclimate greenhouse. *Between the institute of higher collection «Scientific notes»*, issue, no. 40, pp. 245–250.
10. Vikhrova L.G., Kalich V.M., Prokopenko T.O. (2016) Adaptive automated system of collection and control of basic parameters of microclimate in a hothouse / *Collection of scientific labours of the Kirovogradskogo national technical university*. Technique in agricultural production, of particular a branch machine-building, automation. Kirovohrad, issue 29, pp. 168–172.
11. Prokopenko T.O. (2015) Intelligent control system for temperature and humidity of the greenhouse. *Scientific Bulletin of the National university of biore-sources and natural use of Ukraine. Series « Technique and energy of agro-industrial complex»*, vol. 209, part 1, pp. 140–147.
12. Kryvytska N.Yu., Komandrovskya V.Ye. Andrushchenko V.V. (2017) Integrated processes of enterprises of Ukraine: definition, types and directions. *Economics and enterprise management*, issue 24.
13. Diordiev V.T., Kashkarov A.O., Diordiev O.O. (2018) Automated monitoring and control system for microclimate of the greenhouse / *Proceedings of the scientific and technical conference of students and undergraduates* / Scientific bulletin of the Tavria agrotechnological state university. Melitopol: TSATU, is. 8, vol. 2.
14. Haidukevych S.V., Leskiv Ya.A. (2020) Features of the control system of heat and humidity regimes of the greenhouse. Current issues and prospects for the development of agricultural and electrical engineering: materials of the International Scientific and Practical Conference (Brzezany, April 10, 2020). Ternopil: FOP Palyanytsya V.A., pp. 195–196.