

УДК 681.52

DOI: 10.31471/1993-9981-2019-2(43)-32-40

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЧНИХ ПРИМІЩЕНЬ

А. Г. Винничук, В. В. Гринюк

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,
м. Івано-Франківськ, 76019, annavyn@ukr.net

Розглянуто важливе питання підвищення ефективності та оптимізації процесу вирощування сільськогосподарських культур, зокрема в тепличних приміщеннях. Обґрунтовано актуальність розроблення інформаційно-виміральної системи (ІВС) контролю мікроклімату тепличних приміщень. Здійснено аналіз основних параметрів мікроклімату в тепличних приміщеннях, які сприяють інтенсифікації процесу росту рослин, а також, підвищенню ефективності вирощування сільськогосподарських культур загалом. На основі проведеного аналізу було встановлено, що основними інформаційними параметрами мікроклімату тепличних приміщень є: температура ґрунту, вологість ґрунту, температура повітря, вологість повітря, освітленість тепличного приміщення. Саме вимірювання та контроль цих параметрів доцільно покласти в основу розробленої ІВС контролю мікроклімату тепличних приміщень. Сформульовано основні завдання, які має виконувати розроблена ІВС та побудовано її функціональну схему. Описано принцип роботи ІВС. Здійснено вибір основних елементів ІВС, а саме мікропроцесора, дисплея, датчиків для вимірювання температури ґрунту, вологості ґрунту, температури повітря, вологості повітря та освітленості тепличного приміщення. Наведено схему розташування датчиків в тепличному приміщенні для оптимального контролю основних параметрів мікроклімату. Розроблено електричну принципову схему ІВС та описано особливості підключення датчиків. На основі функціональної та електричної принципової схем побудовано робочий макет ІВС контролю мікроклімату тепличних приміщень. З метою підтвердження працездатності, було проведено апробацію розробленого робочого макету ІВС. При апробації здійснено три серії вимірювань кожного параметру впродовж доби. Також, здійснено метеорологічний аналіз розробленої ІВС та розраховано невизначеність результату вимірювання кожного параметру.

Ключові слова: інформаційно-виміральною системою, мікроклімат, температура, освітленість, вологість, тепличне приміщення.

Рассмотрен важный вопрос повышения эффективности и оптимизации процесса выращивания сельскохозяйственных культур, в частности в тепличных помещениях. Обоснована актуальность разработки информационно-измерительной системы (ИИС) контроля микроклимата тепличных помещений. Осуществлен анализ основных параметров микроклимата в тепличных помещениях, которые способствуют интенсификации процесса роста растений, а также повышению эффективности выращивания сельскохозяйственных культур в целом. На основе проведенного анализа было установлено, что основными информационными параметрами микроклимата тепличных помещений являются: температура почвы, влажность почвы, температура воздуха, влажность воздуха, освещенность тепличного помещения. Именно измерения и контроль этих параметров целесообразно положить в основу разработанной ИИС для контроля микроклимата тепличных помещений. Сформулированы основные задачи, которые должна выполнять разработанная ИИС и построена ее функциональная схема. Описан принцип работы ИИС. Осуществлен выбор основных элементов ИИС, а именно процессора, дисплея, датчиков для измерения температуры почвы, влажности почвы, температуры воздуха, влажности воздуха и освещенности тепличного помещения. Приведена схема расположения датчиков в тепличном помещении для оптимального контроля основных параметров микроклимата. Разработана электрическая принципиальная схема ИИС и описаны особенности подключения датчиков. На основе функциональной и электрической принципиальной схем построено рабочий макет ИИС для контроля микроклимата тепличных помещений. С целью подтверждения работоспособности, была проведена апробация разработанного рабочего макета ИИС. При апробации осуществлено три серии измерений каждого параметра в течение суток. Также, осуществлен метеорологический анализ ИИС и рассчитана неопределенность результата измерения каждого параметра.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, микроклимат, температура, освещенность, влажность, тепличное помещение.

The important issue of increasing the efficiency and process optimization of growing crops, greenhouses in particular, is considered. The urgency of information-measuring system (IMS) development for controlling the microclimate of greenhouses is substantiated. There was held the analysis of the main microclimate parameters in greenhouses, which contribute to the intensification of plant growth, as well as to increasing the efficiency of growing crops in general. The analysis showed that the main information parameters of the greenhouses microclimate are: soil temperature, soil moisture, air temperature, humidity, light in the greenhouse. It is the measurement and control of these parameters that should be the basis for IMS development which is aimed to control of the microclimate of greenhouses. The main tasks that the developed IMS should perform and its functional scheme are formulated. The principle of IMS work is described in the article. The main elements of the IMS are selected, namely microprocessor, display, sensors for measuring soil temperature, soil moisture, air temperature, air humidity and light of a greenhouse. The diagram of sensors location in the greenhouse for optimal control of the basic microclimate parameters is presented. The electrical circuit diagram of the IMS is developed and the connection features of the sensors are described. Basing on functional and electrical schematic diagrams, a working model of the IMS for microclimate control of the greenhouses was constructed. In order to confirm the performance, a test of developed IMS was performed. There were tested three series of measurements of each parameter during the day. Also, metrological analysis of the developed IMS was performed and the measurement uncertainty of each parameter result was calculated.

Keywords: information-measuring system, microclimate, humidity, temperature, illumination, greenhouse, uncertainty.

Актуальність. Щороку населення планети невпинно зростає. Внаслідок цього постає проблема з повноцінним харчуванням такої великої кількості людей. Природа часто вносить свої корективи в погодні умови, які можуть знищувати практично половину, а то і більше, всього урожаю. І, на превеликий жаль, не в усіх частинах нашої планети є можливість збирати врожай двічі на рік. Одним із шляхів вирішення цієї задачі є теплиці. Кожного року їх кількість зростає, а з ними примножується асортимент культур сільськогосподарства, які починають вирощувати в промислових приміщеннях.

Однак, головною впливовою фактором на шляху до якісного та великого врожаю є системи контролю мікроклімату. Тому оптимально вибрана технологія підтримки ідеальних мікрокліматичних умов не тільки підвищить врожайність, а й дозволить заощадити енергоресурси, що приведе до зменшення собівартості вирощених культур.

Опалення та вентиляція теплиць разом з іншими системами повинні забезпечувати параметри мікроклімату (температуру повітря і ґрунту, відносну вологість та швидкість руху внутрішнього повітря), які встановлені вимогами норм технологічного проектування теплиць для вирощування різних видів

сільськогосподарської продукції. Розрахункові параметри внутрішнього повітря та температури ґрунту теплиць слід приймати у відповідності з вимогами норм технологічного проектування теплиць для вирощування різних видів сільськогосподарської продукції. Системи опалення та вентиляції повинні забезпечувати рівномірну температуру та швидкість руху повітря відповідно до технологічних норм. Тепловий режим культивування споруд повинен відповідати оптимальним температурам повітря і ґрунту, що залежить від фази росту і типу рослин, від способу вирощування й освітленості. Із зростанням вартості природного газу, що є основним видом палива для тепличних комбінатів України, тепличники все більше змушені замислюватися над програмами, що дозволяють одержувати більші врожаї при менших витратах газу й електроенергії. Проектами сучасних теплиць передбачено регулювання майже всіх параметрів, які обумовлюють інтенсивний розвиток рослин. Використання високопродуктивної технології дає можливість отримувати великі і стабільні урожаї протягом цілого року.

Згідно Концепції Загальнодержавної Цільової Програми розвитку промисловості України до 2017 року схваленою Кабінетом

Міністрів України №1174 від липня 2003 року, передбачається запровадження новітніх комп'ютерних технологій в управлінні промисловими тепличними об'єктами, що засвідчує актуальність цієї теми, також контроль ще й до всіх вище перелічених переваг, мінімізує ймовірність помилки людини та при цьому покращує умови праці робочого персоналу, і підвищує культуру виробництва сільськогосподарських культур.

Тому дослідження, спрямовані на вдосконалення системи контролю мікрокліматом тепличних приміщень є актуальними і своєчасними.

Аналіз відомих досліджень. Сучасні тепличні приміщення володіючи високою енергооснащеністю та технічністю, дозволяють вирощувати овочі цілий рік у всіх регіонах України. Особливу роль серед технологічних процесів, які відбуваються в теплиці мають процеси контролю параметрів мікроклімату. Найважливішими параметрами мікроклімату в тепличних приміщеннях є температура, вологість та рівень природної освітленості. Необхідність постійного контролю та підтримки цих параметрів обумовлена агротехнічними вимогами, а також – міркуваннями енергозбереження.

В нормативному документі «Норм технологічного проектування селективних комплексів та репродукційних теплиць» [1] для кожного виду рослин передбачені свої оптимальні режимні параметри та допустимі відхилення від оптимальних..

Агротехнічні вимоги передбачають контроль значень параметрів в теплицях в залежності від величини сонячного випромінювання та часу доби (день/ніч). Таким чином, контроль мікроклімату необхідний для забезпечення оптимальних параметрів середовища в теплицях і парниках, інтенсифікації засвоєння рослинами фотосинтетичної радіації і підвищення ефективності продукційного процесу.

Згідно [1], тепловий режим підтримується за допомогою автоматичних систем обігріву та вентиляції. Він визначається потужністю джерел тепла, а також конструктивними особливостями споруди. Точність підтримання заданої температури - в межах $\pm 1^\circ\text{C}$. Крім того, задана температура повинна узгоджуватись з

рівнем освітленості, що пов'язане з фізіологічними особливостями життєдіяльності рослин. Технологічні норми також регламентують максимальну температуру 30°C (для розсади 26°C) мінімальну - 15°C (не більше доби).

Водний режим забезпечується підтриманням необхідної вологості повітря і ґрунту за допомогою різних систем зрошування (надґрунтове, підґрунтове, крапельне зрошення). Витрати води становлять від 5 до 15 л/м² на добу. Оскільки зрошення може порушувати тепловий режим у споруді, температуру поливної води підтримується на рівні температури повітря і ґрунту (в межах $20 - 25^\circ\text{C}$).

Режим живлення забезпечується підтриманням необхідної концентрації мінеральних добрив, їх співвідношенням і рН ґрунту або субстрату. Технологія передбачає регулювання загальної концентрації з точністю $\pm 10\%$ і рН з точністю $\pm 0,1$ в достатньо вузькому діапазоні, який визначається технологічним регламентом для кожного виду рослин і змінюється залежно від фази розвитку.

Газовий режим в об'ємі споруди закритого ґрунту передбачає контроль і підтримання концентрації вуглекислоти на рівні 0,1 - 0,35%. При цьому повітряний обмін з навколишнім середовищем припиняється шляхом закриття вентиляційних фрамуг. Для інтенсифікації процесів життєдіяльності рослин швидкість повітряних потоків повинна становити 0,15 м/с.

Світловий режим, як правило не регулюється. Лише при вирощуванні розсади в селекційних спорудах використовують штучне освітлення. Питома потужність випромінювачів, згідно з технологічними нормами, знаходиться в межах 100 - 300 Вт/м² [2].

Загальні вимоги до методів вимірювання параметрів мікроклімату та їх оцінювання викладено в Державних санітарних нормах мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 [3] та в Державних будівельних нормах України «Будинки і споруди. Теплиці та парники» ДБН В.2.2-2-95 [4].

Метою дослідження є розроблення системи контролю мікроклімату в тепличних приміщеннях, що керується такими основними чинниками росту і активації фізіологічних процесів в рослинах, як температура повітря,

вологість ґрунту, освітленість, вологість повітря і температура ґрунту.

Основний матеріал. На основі проведеного аналізу було побудовано функціональну схему ІВС для контролю мікроклімату тепличних приміщень, яка має доволі просту структуру (рис.1). Функціональна схема є одним із основних документів проектування, вона визначає функціональну структуру та роз'яснює певні процеси, що відбуваються у системі. В наведеній системі використані давач вологості та температури повітря, цифровий термометр, гігрометр, люксметр та дисплей.

Для побудови і тестування такої ІВС необхідний сучасний мікроконтролер, який володіє необхідними технічними характеристиками та має відносно невисоку вартість.

Оптимальним співвідношенням габарити-функціональні можливості володіє мікроконтролер Arduino Uno R3. Його характеристик вистачає для виконання поставленого завдання побудови ІВС.

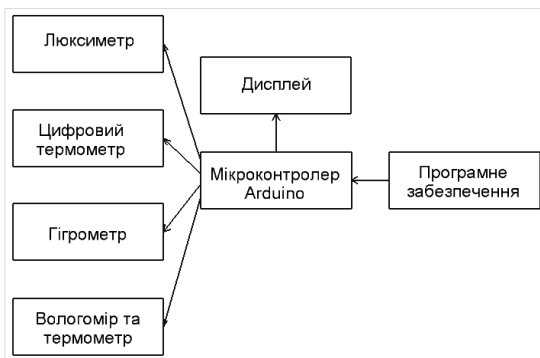


Рисунок 1 – Функціональна схема ІВС для контролю мікроклімату в тепличних приміщеннях

Щоб полегшити та спростити процес розробки програмного забезпечення необхідне середовище програмування. Для написання програмного забезпечення розроблюваної ІВС було обрано Arduino IDE [6]. Arduino IDE – це середовище розробки з відкритим вихідним кодом, написане спеціально для створення скетчів під Arduino платформу. Воно дозволяє легко написати код і завантажити його на плату. Arduino IDE працює на Windows, Mac OS X і Linux. Середовище написане в Java на основі

Processing та іншого програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом.

Для реалізації вимірювання основних параметрів мікроклімату в тепличних приміщеннях (вологість повітря та ґрунту, температура повітря та ґрунту, освітленість) виконаємо вибір відповідних давачів.

Для регулювання підсистеми контурного обігріву ґрунту та безпосереднього вимірювання його температури доцільно обрати цифровий температурний давач DS18B20. Він є ідеальним рішенням для інтеграції в системи з мікроконтролерами. Дачач дозволяє визначити температуру навколишнього середовища в діапазоні від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ і отримувати дані у вигляді цифрового сигналу з 12-бітовим дозволом по One-Wire протоколу. Цей протокол дозволяє підключити величезну кількість таких давачів, використовуючи всього один цифровий порт контролера, і всього два дроти для всіх давачів: «земля» і «сигнал». У цьому випадку застосовується так зване «паразитне живлення», при якому давач отримує енергію прямо з лінії сигналу. Кожен давач має унікальний прошитий на виробництві 64-бітний код, який може використовуватись мікроконтролером для зв'язку з конкретним давачем на загальній шині.

Технічні характеристики DS18B20: інтерфейс – One-Wire; робоча напруга – 3-5 В; робочий струм – 1 мА; діапазон температур – від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$; робоча температура – від 0 до $+60^{\circ}\text{C}$; точність вимірювання – $0,5^{\circ}\text{C}$; крок показів – $0,0625^{\circ}\text{C}$.

В постійній пам'яті DS18B20 можна зберегти граничні значення температури, при перевищенні яких давач буде переходити в режим тривоги. Отже, давач дуже простий у використанні. По-перше, він цифровий, а по-друге – у нього всього лише один контакт, з якого ми отримуємо корисний сигнал. Вбудований АЦП дозволяє уникнути проблем з точністю, якщо давач знаходиться на значній відстані.

Для вимірювання вологості ґрунту застосовано давач YL-69. Він виконаний у вигляді вилки, яку для проведення вимірювань необхідно застромити у ґрунт. Він побудований на основі транзисторного підсилювача струму. Вилка включена в ланцюг між колектором та базою біполярного n-p-n транзистора. При зміні вологості ґрунту змінюється опір між

коллектором (до якого підключений плюс джерела) і базу. Внаслідок чого змінюється струм бази і, відповідно, струм, який протікає від колектора через емітер на базу. В результаті змінюється вихідна напруга, яка в подальшому може бути оцифрована за допомогою АЦП. Контактні поверхні давача покриті золотом, щоб запобігти пасивній корозії, коли давач виключений. Позбутися від електричної корозії, викликаной струмом який протікає, неможливо, тому рекомендується підключати давач через «ключ» : включати його тільки на час вимірювання.

Давач складається з плати самого давача та плати компаратора, який виконаний на мікросхемі LM393. Блок компаратора повністю сумісний з модулями Arduino та релейними модулями RL05 або RL05U. Блок має два виходи: аналоговий та цифровий, потенціометр налаштування чутливості, а також індикатор живлення та індикатор спрацювання у вигляді світлодіода. Технічні характеристики: максимальна глибина занурення в ґрунт – 40 мм; максимальний струм споживання – 50 мА; напруга живлення – 3,3-5 В; розмір блоку компаратора – 14x31; розмір давач – 20x66 мм.

Для вимірювання освітленості обираємо давач ВН1750, який є одним з найбільш поширених давачів, що застосовуються в сучасній електроніці. Його перевага полягає в використанні цифрового інтерфейсу, який дозволяє вимірювати освітленість у певних одиницях вимірювання, а також в можливості працювати з мікроконтролером по протоколу I2C [5]. Він чудово підходить для регулювання яскравості рідкокристалічних дисплеїв, а також контролю рівня освітленості в приміщенні. У ролі чутливого елемента в ВН1750 застосовується фотодіод, який уловлює світло і перетворює його в електричний сигнал. Давач має чутливість від 1 до 65535 Лк (16 біт).

Характеристики давача ВН1750: напруга живлення – 2,4 - 3,6 В; струм споживання – 120 мкА; струм споживання в режимі сну – 0,01 мкА; вимірювана довжина хвилі – 560 нм; точність в режимі високої роздільної здатності – 1 Лк; точність в режимі низької роздільної здатності – 4 Лк; період вимірювання в режимі високої роздільної здатності – 120 мс; період вимірювання в режимі низької роздільної здатності – 16 мс; АЦП- 16 біт.

ВН1750 має цілу низку характеристик, а саме: цифровий інтерфейс – I2C; малий струм споживання і функція режиму сну (вкрай корисна функція, що дозволяє знизити витрати на енергоживлення); фільтрація світлових шумів 50/60 Гц; малий вплив інфрачервоного випромінювання (актуально для житлових приміщень); можливість вибору двох адрес мікросхеми для I2C інтерфейсу (можна підключити одночасно два таких давача до однієї шини, що дозволяє рівномірно розподіляти давачі по приміщенню, для цілісного вимірювання рівня освітленості); не вимагає калібрування, що максимально зручно для застосування в будь-яких проектах; малі габарити давача (не виникає труднощів з його установкою, не псує естетичний вигляд приміщення).

Вимірювання температури і вологості повітря теплиці в даному проекті здійснюється за допомогою давача DHT11. Даний тип давача був обраний з огляду на їх невисокої вартість і володіння необхідними технічним характеристикам.

Цей давач складається з трьох основних частин: резистивного давача, термістора і 8-ми бітного мікроконтролера. Резистивний давач складається з двох електродів нанесених на підкладку, які зверху покриті шаром матеріалу, що змінює свою провідність в залежності від рівня вологості, а для вимірювання температури застосовується термістор [6].

Мікроконтролер, який розташований всередині, призначений для аналогово-цифрового перетворення сигналів та виводу вимірних показників у цифровому форматі, що є зручним для зчитування даних мікроконтролером.

Характеристики давача DHT11: напруга живлення від 3,5 до 5,5 В; допустимий діапазон виміру температури – 0°C..50 °C; максимальна похибка по температурі – ± 1 °C; крок шкали – 1°C; допустимий діапазон вимірювання вологості – 20..90%; максимальна похибка вимірювання вологості – $\pm 5\%$; дозвіл шкали – 1%; мінімальний час між зчитуванням показів – 1 с.; відстань між выводами – 2,54 мм. Діапазон вимірювання температури підходить для застосування цих давачів в основному в приміщенні, оскільки вони не пристосовані до використання при низьких температурах, а час

зчитування показів в одну секунду є більш ніж достатнім, з огляду на те, що температура в приміщенні не може змінюватися миттєво. Звідси можна зробити висновок, що характеристики DHT11 повністю відповідають вимогам давача вимірювання температури і вологості повітря в приміщенні.

Для візуального відображення інформації було обрано графічний рідкокристалічний дисплей Nokia5110. Керується по послідовному інтерфейсі SPI і дозволяє відображати найпростішу графіку та до 70 буквенно-цифрових символів. Дисплей виготовлений на основі РК-контролера фірми Philips PCD8544. Легко підключається до контролерів Arduino [6].

Його основні характеристики: розмірність – 84x84 пікселів; розмір робочого поля – 31x19 мм; крок пікселів – 0,33 мм; підсвітка – світло-голуба; РК-контролер - PCD8544; напруга живлення – 2,7-3,3 В; струм живлення дисплею – менше 5 мА; струм живлення підсвітки – до 10 мА; розмір модуля – 43x45 мм; робоча температура – від 0 до +50 °С.

Наступним етапом при проектуванні ІВС контролю мікроклімату є розробка принципової електричної схеми (рис.2). Її основне призначення – відображення взаємозв'язку окремих давачів, допоміжних апаратних засобів, послідовності їх роботи та принципу дії.

Давач вологості та температури повітря DHT-11 підключається за допомогою трьох виходів, при чому на вивід DATA через резистор ємністю 10 кОм подається напруга 3,3 - 5В. Новіші моделі мають цей резистор на платі давача.

Давач температури DS18B20 підключається за допомогою трьох виходів на вивід DATA через резистор ємністю 4,7 кОм подається напруга 5В. Інтерфейс One-Wire дозволяє підключити декілька цифрових давачів температури DS18B20 до мікроконтролера паралельно, використовуючи тільки три контакти. За допомогою бібліотеки OneWire library дані будуть зчитуватись зі всіх давачів одночасно. У кожного з давачів є індивідуальний серійний номер, який можна використовувати для розпізнавання того чи іншого давача.

Давач освітленості GY-302 на чипі BH1750 підключається по двопровідному інтерфейсу I2C, а живлення здійснюється від 5В. Інтерфейс

I2C в платі Arduino реалізований на аналогових пінах A4 та A5, які відповідають за SDA (шину даних) і SCL (шину тактування) відповідно. Вихід ADDR можна залишити не підключеним або з'єднати із «Землею».

Давач вологості ґрунту підключається за допомогою трьох виходів, при чому на вивід DATA через резистор ємністю 220 Ом подається напруга 5В. Для стабілізації живлення можна використати модулі FV5025-5 чи DC1584-3 (попередньо встановивши на вході напругу 5 В).

Для підключення та передачі даних на дисплей використовується ряд конекторів. На задній частині дисплею нанесені позначення кожного із виходів.

Для живлення необхідно використовувати лінію 3,3 В, яка є в більшості Arduino-контролерів. Вивід VL – підсвічування, підключається до плюсу живлення безпосередньо, а для зменшення яскравості – через резистор номіналом десятки-сотні Ом. Решта цифрових ліній можуть бути підключені до будь-яких портів Arduino-контролерів, при чому живлення самого контролера може бути як 3,3 так і 5 В.

Електрична принципова схема представлена на рис.2.

Принцип роботи ІВС полягає в наступному: мікроконтролер зчитує дані з давачів із інтервалом – раз на півгодини (цей параметр, за бажанням, можна зменшити або збільшити) та відображає їх на екрані. Якщо вимірний параметр виходить за завчасно задані межі, то включиться відповідний світлодіод, який сповістить, що вимірний параметр мікроклімату перетинає допустимі межі (мінімальне та максимальне значення кожного із параметрів).

Давачі всередині тепличного приміщення розташовують таким чином, щоб на них не діяли засоби автоматизації та регулювання (якщо такі є). На рис.3 представлено приблизне розташування давачів. Особливість розташування полягає у різновидності тепличних приміщень за формою та структурою.

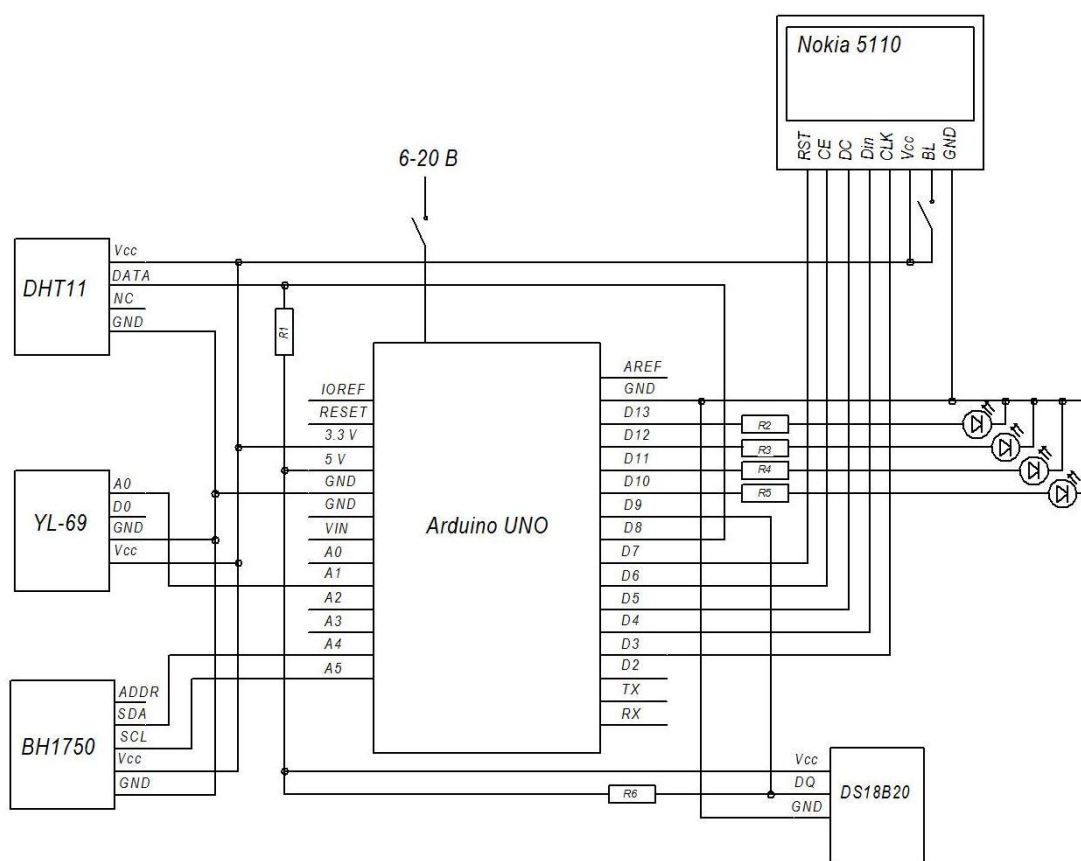
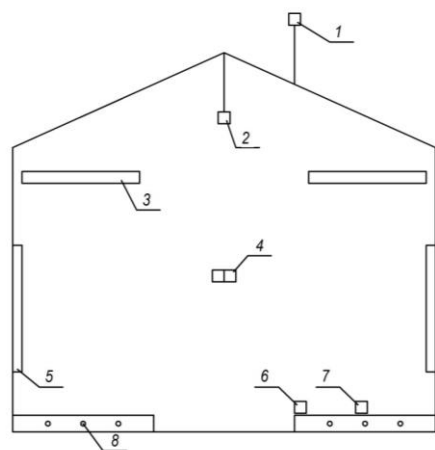


Рисунок 2 – Електрична принципова схема ІВС для контролю мікроклімату в тепличних приміщеннях.



1 – датчик температури та вологості навколишнього середовища, 2 – датчик освітленості, 3 – фітолампа, 4 – датчик вологості та температури повітря мікроклімату, 5 – вентилятор для обігріву (охолодження) повітря, 6 – датчик вологості ґрунту, 7 – датчик температури ґрунту, 8 – контур обігріву

Рисунок 3 – Розташування основних датчиків в тепличному приміщенні.

Кількість датчиків вологості ґрунту залежить від габаритів тепличного приміщення. Розрахунок для повздовжніх теплиць виконується в залежності від довжини теплиці та кількості повздовжніх доріжок за формулою:

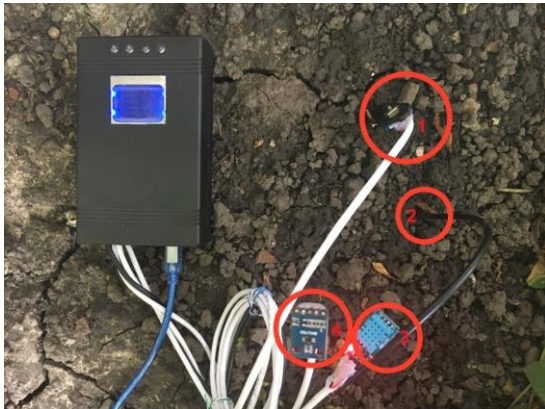
$$n = \frac{L}{20} \cdot (h + 1), \quad (1)$$

де n – кількість датчиків вологості ґрунту; L – довжина теплиці; h – кількість доріжок.

Для проведення апробації було розроблено макет ІВС контролю мікроклімату в тепличних приміщеннях. Фотографія розробленого макету представлена на рисунку 4.

Результати однократного вимірювання всіх параметрів, які виведені на дисплей (рис.4):

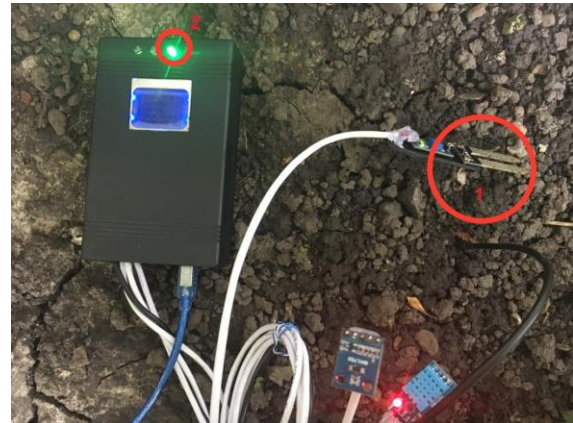
- вологість повітря – 95.0 %;
- температура повітря – 22,3 °С;
- вологість ґрунту – 47 %;
- температура ґрунту – 20,0 °С;
- освітленість – 194 лк.



1 – датчик вологості ґрунту, 2 – датчик температури ґрунту, 3 – датчик вологості та температури повітря, 4 – датчик освітленості
Рисунок 4 – Розроблена ІВС контролю мікроклімату тепличних приміщень

Для демонстрації роботи макету ІВС витягнемо вологомір із ґрунту (рис.5).

Спостерігаємо, що засвітився 3-ій світлодіод, який відповідає за вологомір, тобто він сповіщає, що параметр “вологість ґрунту” вийшов за задані межі: мінімальна вологість ґрунту рівна 60 %.



1 – вологомір, 2 – світлодіод
Рисунок 5 – Демонстрація роботи макету ІВС

Результати вимірювань на дисплеї (рис.5):

- вологість повітря – 95,0 %
- температура повітря – 22,3 °С
- вологість ґрунту – 2 %
- температура ґрунту – 20,0 °С
- освітленість – 201 лк

З метою здійснення апробації розробленої ІВС проведемо три серії вимірювань для кожного із параметрів мікроклімату.

Протягом доби було проведено три серії вимірювань (зранку, вдень та ввечері) з інтервалом між вимірюваннями.

Таблиця 1 – Результати розрахунку середнього арифметичного значення параметрів.

Серія	Параметр				
	Вологість ґрунту, %	Температура повітря, °С	Освітленість, лк	Вологість повітря, %	Температура ґрунту, °С
1	83,7	17,5	3168,2	86,5	16,57
2	65,3	24,57	9782,3	50,6	20,33
3	86,6	22,34	4787,5	85,4	21,47

З метою оцінювання точності результату вимірювань для кожного із параметрів було розраховано розширену невизначеність (P=0,95)

[7]. Результати розрахунку наведено в таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку розширених стандартних невизначеностей результатів вимірювання.

Серія	Параметр				
	Вологість ґрунту, %	Температура повітря, °С	Освітленість, лк	Вологість повітря, %	Температура ґрунту, °С
1	0,207	0,122	3,971	0,169	0,097
2	0,207	0,088	3,463	0,341	0,096
3	0,215	0,109	2,679	0,223	0,078

Висновки. На основі проведених досліджень обґрунтовано актуальність розроблення ІВС контролю мікроклімату тепличних приміщень. Здійснено аналіз

основних параметрів мікроклімату в тепличних приміщеннях. За результатами якого встановлено, що основними інформаційними параметрами мікроклімату тепличних

приміщень є: температура ґрунту, вологість ґрунту, температура повітря, вологість повітря, освітленість тепличного приміщення.

Побудовано функціональну та електричну принципову схему ІВС контролю мікроклімату тепличних приміщень. Здійснено вибір основних елементів ІВС, а саме мікропроцесора (Arduino Uno R3), дисплея (Nokia5110), давачів для вимірювання температури ґрунту (DS18B20), вологості ґрунту (YL-69), температури та вологості повітря (DHT-11) та освітленості тепличного приміщення (BH1750).

В результаті проведеної розробки ІВС було виготовлено робочий макет та здійснено його апробацію. Досліджено метрологічні характеристики розробленої ІВС шляхом розрахунку невизначеності результату вимірювання кожного параметру. Отримані результати дають підстави для обґрунтування можливості застосування розробленої ІВС в тепличних приміщеннях.

Список використаних джерел

1. Нормы технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц: НТП-АПК 1.10.09.001-02. М.: МСХ РФ, 2003. 24 с.
2. Агротехнічні вимоги до автоматизації технологічних процесів у закритому ґрунті. URL: http://kyrator.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=724:tituln3&catid=23&Itemid=130&limitstart=7 (дата звернення 10.05.2019).
3. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. К.: Міністерство охорони здоров'я (МОЗ), 1999. 10 с.
4. Будинки і споруди. Теплиці та парники: ДБН В.2.2-2-95. К.: Держкоммістобудування України, 1995. 14 с.
5. Raspberry Pi цифровий датчик інтенсивності світла BH1750FVI I2C. URL:

<http://mikrotik.kpi.ua/index.php/courses-list/category-raspberry/35-digital-sensor-light-intensity-bh1750fvi-i2c> (дата звернення 11.05.2019).

6. Петин В.А. Датчики для Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Things. БХВ-Петербург, 2016. 320 с.

7. Васілевський О.М., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т. Основи теорії невизначеності вимірювань : підручник. Вінниця: ВНТУ, 2015. 230 с.

References

1. Normy tekhnolohycheskoho proektyrovaniya selektsyonnikh kompleksov y reproduktsyonnikh teplyts: NTP-APK 1.10.09.001-02. M.: MSKh RF, 2003. 24 p.
2. Ahrotekhnichni vymohy do avtomatyzatsii tekhnolohichnykh protsesiv u zakrytomu hruntі. URL: http://kyrator.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=724:tituln3&catid=23&Itemid=130&limitstart=7 (data zvernennia 10.05.2019).
3. Sanitarni normy mikroklіmatu vyrobnychykh prymishchen: DSN 3.3.6.042-99. K.:Ministerstvo okhorony zdorovia (MOZ), 1999. 10 p.
4. Budynky i sporudy. Teplytsi ta parnyky:DBN V.2.2-2-95. K.: Derzhkommistobuduvannia Ukrainy, 1995. 14 p.
5. Raspberry Pi tsyfrovyyi datchyk intensyvnosti svitla BH1750FVI I2C. URL: <http://mikrotik.kpi.ua/index.php/courseslist/category-raspberry/35-digital-sensor-lightintensity-bh1750fvi-i2c>(data zvernennia 11.05.2019).
6. Petyn V.A. Datchyky dlia Arduino y Raspberry Pi v proektakh Internet of Things. BKhV-Peterburh, 2016. 320 p.
7. Vasilevskyi O.M., Kucheruk V.Iu., Volodarskyi Ye.T. Osnovy teorii nevyznachenosti vymiriuvan : pidruchnyk. Vinnytsia: VNTU, 2015. 230 p.