

ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА, ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 004.384

<https://doi.org/10.31713/vt320227>

**Маланчук Є. З., д.т.н., професор, Христюк А. О., к.т.н.,
Міщанчук М. М., магістр** (Національний університет водного
господарства та природокористування, м. Рівне)

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА

Наведено основні результати дослідження методів контролю та регулювання параметрів забезпечення функціонування тепличного господарства. Запропоновано рішення реалізації інформаційної системи, яка здатна інтегруватися в існуючі системи автоматизації та забезпечувати якісне отримання, передачу, збереження та аналіз інформації про ріст культур. Запропоновано програмні сервіси для забезпечення якісного рішення поставлених задач. Було встановлено вимоги до інформаційно-апаратної системи, які включають в себе можливість віддаленого доступу до системи, а також можливості аналізу зібраних даних із накладанням їх на зображення для визначення впливу параметра на рослину та її врожайність.

Ключові слова: *одноплатний комп'ютер; передавання даних; Wi-Fi; Kubernetes; хмарна інфраструктура.*

Вступ. Сьогодні дуже популярним є вирощування культур в теплицях, бо такий спосіб вирощування дає можливість споживати свіжі овочі, зелень або ж різні ягоди незалежно від пори року. Цей спосіб дає більшу врожайність ніж вирощування тих самих культур у відкритому ґрунті. Зменшення фінансових часових витрат на вирощування та догляд за культурами призводить до популяризації такої технології вирощування у приватних господарствах різного розміру, саме тому важливою є розробка системи для автоматизації контролю та регулювання параметрів середовища всередині теплиці. Мета роботи – розробка концепції, а також архітектури для програмного забезпечення системи автоматичного моніторингу та керування параметрами мікроклімату, ґрунту та освітлення теплиці. Завданням була розробка концепції та програмної архітектури для такої системи.

Основний матеріал. Перед розробкою концепту було розглянуто матеріали, в яких вже досліджувалась подібна тематика. В роботі [1] було використано давачі, якими визначають температуру та вологість ґрунту, а також освітленість в зоні росту рослини. У роботі [2] було розроблено систему моніторингу мікроклімату в теплиці із використанням дротового з'єднання, а у роботі [3] використано бездротові технології для подібної системи. Систему, яка дає можливість віддалено конфігурувати систему автоматизації, застосовано в роботі [4].

Для первинного аналізу параметрів росту культур взято до розгляду вирощування томатів. Проведено аналіз параметрів, які впливають на ріст та розвиток рослини, а також обрано параметри, які будуть контролюватись та підтримуватись на заданому рівні та за якими в подальшому можна буде провидити аналіз врожайності та затрат на вирощування, щоб знайти найоптимальніші параметри з точки зору економічності та врожайності. Томат є теплолюбною культурою, оптимальна температура для проростання насіння 22–25° С. При зменшенні температури рослина або погано розвивається, або гине, а при надмірній температурі (вище 32° С) пилкові зерна не проростають, уповільнюється процес фотосинтезу, а плоди залишаються блідими та погано дозрівають.

Рослина є світлолюбною, тому при недостатньому освітленні вуглекислота повітря засвоюється повільно, ріст і розвиток рослин уповільнюються. Оптимальною освітленістю для томатів є 20000 люксів. Важливим також є спектр світла, яким освітлюється рослина, адже синій спектр випромінювання гальмує ріст рослини, рослини формуються компактними й товстішими, сильнішими, що дозволяє краще поглинати й використовувати світло, а червоні спектри навпаки прискорюють ріст рослини, тому змінюючи співвідношення цих спектрів можна корегувати ріст на різних стадіях розвитку рослини.

Томат добре росте та дає непоганий урожай при високій вологості ґрунту 70–80% та відносній вологості повітря 60–70%.

Враховавши можливості сучасних інформаційних систем, попередні розробки та параметри, які впливають на ріст та розвиток різних культур, встановлено вимоги до інформаційно-апаратної системи, які включають:

- можливість віддаленого керування та доступу для перегляду параметрів мікроклімату теплиці за допомогою веб- та мобільного застосування;

- можливість налаштувань під кожну культуру індивідуально;
- просту конфігурацію із заданням всіх необхідних налаштувань системи для кожної фази росту рослини під час налаштування циклів роботи системи;
- моніторинг та збереження визначених параметрів мікроклімату;
- збереження зібраних даних в хмарних сервісах;
- наявність в програмному забезпеченні інструментів для аналізу зібраних даних із можливістю визначати вплив середовища на вигляд та врожайність рослини для подальшої оптимізації процесу вирощування;
- керування параметрами мікроклімату та освітлення відповідно до налаштувань для конкретної фази росту рослин або в ручному режимі.

Параметрами для моніторингу та керування було обрано:

- вологість та температуру повітря;
- вологість та температуру ґрунту;
- вміст CO₂ в повітрі;
- вологість та температуру зовнішнього середовища теплиці;
- зовнішній вигляд рослин;
- освітленість.

Розміщення датчиків у теплиці зображено на рис. 1, де ТЕТ – датчик температури, МЕТ – датчик вологості, М – насос для автоматичного поливу.

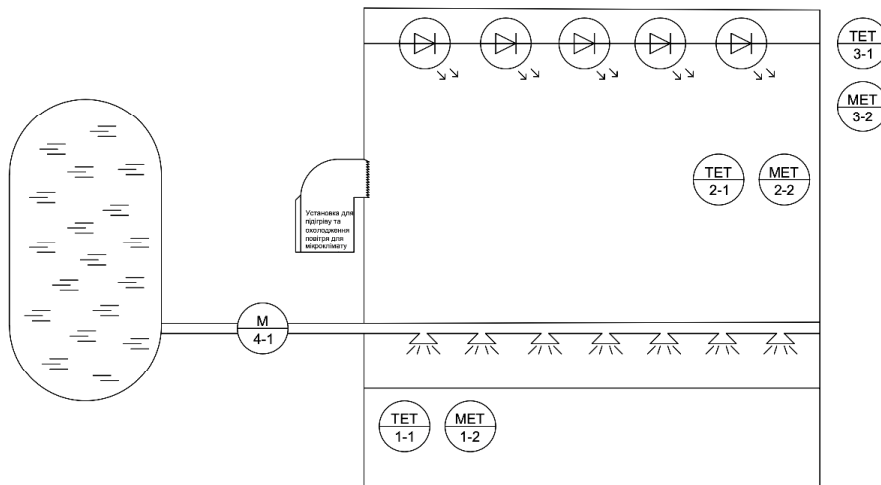


Рис. 1. Розміщення датчиків у теплиці

Для реалізації системи, яка б відповідала поставленим до неї вимогам, в якості головного блоку управління системи було обрано одноплатний комп'ютер Raspberry Pi, оснащений спеціалізованим програмним забезпеченням та забезпечений під'єднанням до мережі Internet, що буде підтримувати зв'язок із сенсорами та виконавчими механізмами за допомогою бездротового зв'язку, наприклад Wi-Fi або будь-яких інших засобів зв'язку, щоб цю систему можна було інтегрувати в уже готову апаратну систему автоматизації.

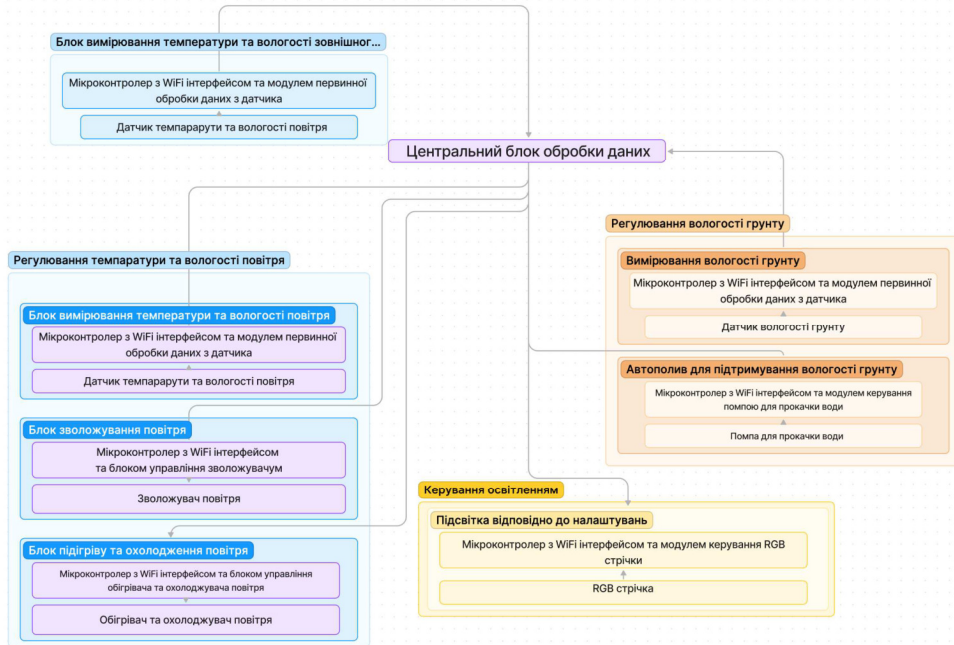


Рис. 2. Схема логічних з'єднань датчиків та обчислювальних блоків

У випадку, коли система будується з нуля, то сенсори, які будуть вимірювати параметри, під'єднуються до мікроконтролерів, обладнаних модулями для бездротової передачі даних Wi-Fi. Це можуть бути мікроконтролери ESP8266 або ESP32. Схему логічних з'єднань сенсорів та виконавчих механізмів зображено на рис. 2. Мікроконтролери обробляють первинні сигнали із датчиків, перетворюють їх у потрібні одиниці вимірювання та передають їх на головний блок управління та моніторингу, з допомогою бездротового з'єднання Mesh Wi-Fi, коли хаб отримує дані, він активує виконавчі механізми для здійснення регулювання параметрів теплиці, які контролюються системою, а також надсилає інформацію про покази датчиків на віддалену хмарну частину системи.

Для доступу до даних можна використати вебдодаток, побудований за правилами UI/UX, який реалізований у вигляді вебпанелі, на якій відображаються дані в реальному часі. Вебпанель має можливість перегляду історії зібраних параметрів системи, запущеного циклу росту рослини, а також параметри, із якими відбувався ріст рослини у попередніх циклах вирощування рослин. Вебдодаток дає змогу налаштовувати значення параметрів мікроклімату, ґрунту та освітленості для кожної фази росту рослини в одному циклі використання теплиці, тобто існує можливість налаштування кожного параметра, яким керує система, для окремої фази росту рослини, також передбачено функцію збереження цих циклів для повторного використання.

Освітлення зони росту повинно не лише вмикатись та вимикатись, а й мати можливість змінювати співвідношення синього та червоного спектру, тому що це впливає на формування рослини. Таку можливість забезпечено за допомогою використання RGB LED стрічок.

Параметри температури та вологості мікроклімату повинні враховувати також параметри клімату навколишнього середовища теплиці для оптимального використання ресурсів для здійснення регулювання параметрів.

Віддалений доступ забезпечують хмарні технології, а саме сервіс Amazon Web Services (AWS) та протокол MQTT та HTTP. З допомогою AWS можна організувати збереження даних моніторингу на віддалених серверах із великою кількістю дублюючих систем, а отже, дані будуть збережені навіть при позаштатних ситуаціях в дата-центрі AWS. AWS надає можливість розмістити вебінтерфейс для віддаленого доступу до системи та, використовуючи хмарні технології, дозволяє створити MQTT брокер для обміну даними між хабом та хмарною частиною.

Для реалізації поставлених задач програмне забезпечення пропонується розділити на декілька частин. Перша частина – це частина, яка буде розміщена на віддаленому сервері в Kubernetes кластері. Друга та третя частина будуть розміщені на хабі. Друга частина відповідатиме за локальне збереження даних та зв'язок із хмарою, третя частина буде слугувати адаптером для з'єднання другої частини із датчиками та виконавчими механізмами. Друга та третя частина комунікуватимуть за допомогою технології RPC. RPC – це технологія, яка дає можливість викликати процедури однієї системи із іншої,

використовуючи певні мережеві або інші протоколи комунікації різних процесів системи. Таке розділення потрібно для того, щоб під'єднувати різні адаптери для забезпечення взаємодії із різними типами датчиків та виконавчими механізмами або інтегрувати цю систему в наявну систему автоматизації.

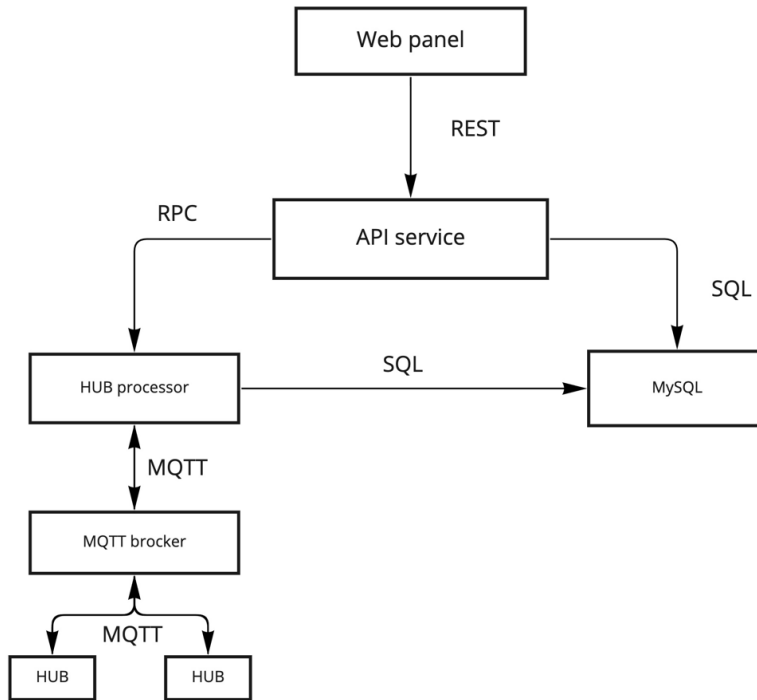


Рис. 3. Схема комунікації модулів

Перша частина програмного забезпечення, тобто хмарна, розділена на декілька логічних модулів, а саме: модуль для адміністрування системи, керування користувачами, додавання хабів тощо; модуль, який реалізує комунікацію із хабом, надсилатиме йому інформацію про початок циклу вирощування, нові конфігурації циклів, а також отримуватиме дані із датчиків та зберігатиме їх у базі даних, цей модуль системи буде під'єднаний до MQTT брокера, буде слухати різні черги та надсилати необхідні дані в них. Третій модуль хмарної частини оброблятиме дані сенсорів для відображення різних звітів та графіків. Схему комунікації цих модулів зображено на рис. 3.

Вебпанель буде передаватись браузеру статичною сторінкою із під'єднаними JavaScript скриптами та шаблонами, де вже буде рендеритись з допомогою бібліотеки Vue.js. Оскільки сучасні персональ-

ні комп'ютери та телефони є досить потужними та можуть це виконати, то за рахунок цього можна зекономити серверні потужності, передавши це завдання на сторону клієнта.

Використовуючи протокол HTTP та технології REST, вебпанель буде робити запити до першого та третього модулів хмарної частини системи для отримання даних про користувачів, хаби та різні аналітичні дані.

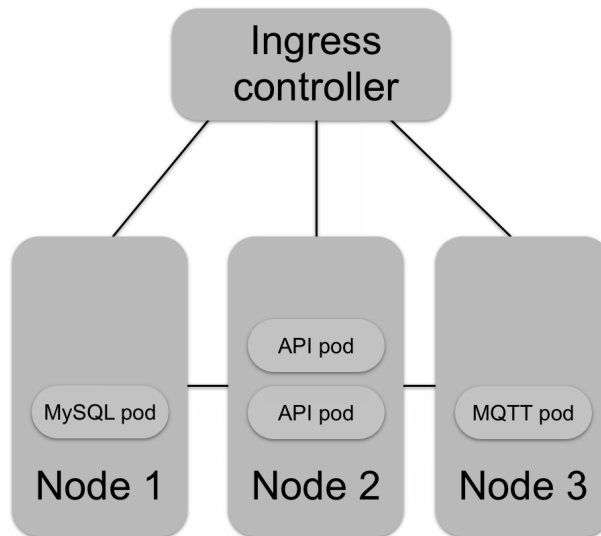


Рис. 4. Структура Kubernetes кластера

В Kubernetes це буде представлено як 4 окремі сервіси, де буде по декілька подів. У термінології Kubernetes под – це контейнер із усім необхідним програмним забезпеченням, який розгортається на вузлі Kubernetes (рис. 4). Збільшуючи кількість вузлів та подів можна збільшувати потужності системи горизонтально, тобто майже до безкінечності. Такі провайдери хмарних рішень, як AWS мають можливість автоматично збільшувати кількість вузлів та подів, щоб можна було витримати велике пікове навантаження та не платити за всі ресурси у випадку, якщо вони не потрібні. Це дає можливість працювати системі стабільно при збільшенні навантаження та не платити за ресурси, що не використовуються.

Для пришвидшення завантаження як самого коду вебпанелі, так і даних можна побудувати розподілену по декількох географічних частинах систему. Для розподілу даних потрібно розгорнути ко-

пю системи в різних географічних регіонах (рис. 5). AWS також дає таку можливість. Для полегшення налаштувань можна використати сучасну концепцію інфраструктури як коду, тобто можна описати всю інфраструктуру в одному модулі та створити декілька екземплярів цього модуля. В майбутньому, за потреби змінити щось в інфраструктурі, необхідно буде поміняти лише в одному місці в коді, і всі ці зміни будуть виконані на інфраструктурі.



Рис. 5. Схема географічно розподіленої системи

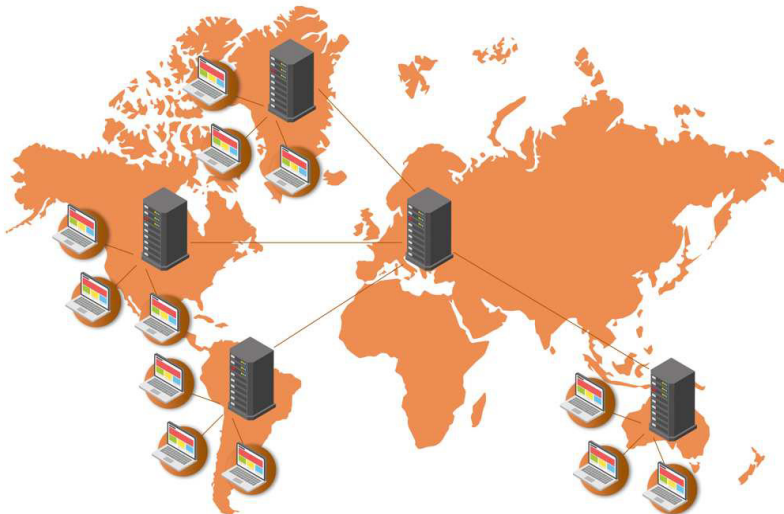


Рис. 6. Схема CDN мережі

Для розповсюдження коду вебпанелі можна застосувати технологію CDN (Content delivery network) (рис. 6), використовуючи провайдера Cloudflare. Cloudflare візьме код із одного сервера та розповсюдить його на велику кількість серверів по всьому світі, що пришвидшить завантаження додатка в регіонах, віддалених від головного дата-центру. Також Cloudflare також здатен забезпечити захист від різного роду атак на систему, таких як DDoS та інші, це робиться з допомогою проксі та аналізу трафіку, що надходить до системи.

Висновки. Нами розроблено концепцію інформаційно-апаратної системи керування тепличним господарством. Встановлено, що для гарного росту та розвитку рослин необхідно забезпечити комфортні параметри мікроклімату та освітленості. Регулювання освітленості повинно відбуватись не лише перемиканням стану освітленості (увімкнута чи вимкнута підсвітка), а і давати можливість змінювати співвідношення спектрів синього та червоного кольору, а також яскравості підсвітки. Було встановлено вимоги до інформаційно-апаратної системи, які включають в себе можливість віддаленого доступу до системи, а також можливості аналізу зібраних даних із накладанням їх на зображення для визначення впливу параметра на рослину та її врожайність. Обрано апаратне забезпечення для створення системи, також спосіб комунікації між сенсорами, виконавчими механізмами та хабом, а також сервіс провайдера хмарних технологій для побудови хмарної інфраструктури для збереження, аналізу та зручного доступу до даних віддалено. Розроблено архітектуру системи та описано список модулів та їхні функції.

1. Automated greenhouse system / M. Raees Armughan Azhar та ін. *International Conference on Communication, Computing and Digital Systems (C-CODE)*, 6–7 March 2019. 2019. DOI: 10.1109/C-CODE.2019.8681013. 2. Yahaya A., Aleshinloye Abass Y., Adeshina S. A. Greenhouse Monitoring and Control System with an Arduino System. *International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, 10–12 December 2019. DIO: 10.1109/ICECCO48375.2019.9043188. 3. Design of automatic irrigation system for greenhouse based on LoRa technology / V. A. Vu and other. *International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)*, Ho Chi Minh City, 18–20 October 2018. DIO: 10.1109/atc.2018.8587487. 4. B. Baccay J., Vicente P. C., Bravo M. IoT-based Automated Greenhouse with Monitoring and Control using MQTT Protocol. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*. 2021.

REFERENCES:

1. Automated greenhouse system / M. Raees Armughan Azhar та ін. *International Conference on Communication, Computing and Digital Systems (C-CODE)*, 6–7 March 2019. 2019. DOI: 10.1109/C-CODE.2019.8681013.
 2. Yahaya A., Aleshinloye Abass Y., Adeshina S. A. Greenhouse Monitoring and Control System with an Arduino System. *International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, 10–12 December 2019. DIO: 10.1109/ICECCO48375.2019.9043188.
 3. Design of automatic irrigation system for greenhouse based on LoRa technology / V. A. Vu and other. *International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)*, Ho Chi Minh City, 18–20 October 2018. DIO: 10.1109/atc.2018.8587487.
 4. B. Baccay J., Vicente P. C., Bravo M. IoT-based Automated Greenhouse with Monitoring and Control using MQTT Protocol. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*. 2021.
-

Malanchuk Ye. Z., Doctor of Engineering, Professor, Khrystiuk A. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Mishchanchyk M. M., Master
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

INFORMATION SYSTEM OF GREENHOUSE FARMING

The main results of the study of methods of control and regulation of the parameters of ensuring the operation of the greenhouse farming are presented. A solution for the implementation of an information system that can be integrated into existing automation systems and provide high-quality reception, transmission, storing and analysis of information on the growth of crops is proposed. Software services to ensure a high-quality solution of the tasks are proposed. It was established that for good growth and development of plants, it is necessary to provide comfortable microclimate and lighting parameters. Lighting control should not only take place by switching the lighting state (backlight on or off), but also allow changing the ratio of the blue and red color spectra, as well as the brightness of the backlight. The requirements for the information and hardware system were established, which include the possibility of remote access to the system, as well as the possibility of analyzing the collected data with their overlay on the image to determine the effect of the parameter on the plant and its yield. The hardware for creating the system is chosen, and the way of communication between sensors, actuators and the hub is also

chosen. The service of a cloud technology provider was also chosen to build a cloud infrastructure for storing, analyzing and conveniently accessing data remotely. The system architecture is developed, and the list of modules and their functions is described. To implement the tasks, the software is proposed to be divided into several parts. The first part is the part that will be placed on a remote server in a Kubernetes cluster. The second and third parts will be hosted on the hub. The second part will be responsible for local data storage and communication with the cloud, the third part will serve as an adapter for connecting the second part with sensors and actuators. The second and third parts will communicate using RPC technology. This separation is necessary to be able to connect different adapters, to provide the ability to interact with different types of sensors and actuators, or to integrate this system into an existing automation system. The modern concept of infrastructure as code can be used to facilitate customization. That is, it will be possible to describe the entire infrastructure in one module and create several instances of this module, in the future when something needs to be changed in the infrastructure, it will be necessary to change only in one place in the code and all these changes will be made on the infrastructure.

Keywords: single-board computer; data transfer; Wi-Fi; Kubernetes; cloud infrastructure.
