

**Висновок.** В роботі запропоновано концепцію побудови системи автоматизованого керування технологічними процесами вирощування різних культур в багаторусній гідропонній установці.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Sambo, P. et al. (2019). Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems. *Frontiers in Plant Science*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6668597>
2. Herrera-Arroyo, R., et al. (2025). Smart Hydroponic Cultivation System for Lettuce (*Lactuca sativa*). *MDPI / Applied Sciences*. <https://www.mdpi.com/2571-5577/8/4/110>
3. Machine learning insights for sustainable hydroponic cultivation and growth monitoring of *Allium cepa* using Smart Hydro Kit (Dutta M., Gupta D., Juneja S., AlNadhari S., Belhaouari S. B., 2025). <https://colab.ws/articles/10.1038%2Fs41598-024-82920-8>
4. Sulaiman H., Yusof A., Nor M. K. “Automated Hydroponic Nutrient Dosing System: A Scoping Review of pH and Electrical Conductivity Dosing Frameworks” (*AgriEngineering*, 2025) <https://www.mdpi.com/2624-7402/7/2/43>
5. Baraskar T., et al. (2025). “AI-Powered Automated Hydroponic System for Smart Agriculture” (*Elsevier / ScienceDirect*) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016125004236>

УДК 681.586:631.344.8

Є.І. Донченко<sup>1</sup>, В.В. Масик<sup>1</sup>, О.В. Разживін<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донбаська державна машинобудівна академія, Тернопіль, Україна

<sup>2</sup>ТОВ«ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, Україна

### РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ МОДУЛЯ КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ

**Анотація.** Описано процес створення універсального модулю вимірювання температури (повітря та ґрунту), вологості ґрунту та локального освітлення теплиці з метою збільшення врожайності.

**Ключові слова:** модуль вимірювання, датчик вологості ґрунту, датчик температури, мікроконтролер

**Вступ.** Сьогодні рослинництво для підвищення врожайності потребує більш точного витримування певних кліматичних умов, зокрема, контроль вологості ґрунту зменшує витрати води та не дає пересихати/перенасичуватись ґрунту. Контроль температури ґрунту дає кореневій системі рослин найбільш сприятливі умови для розвитку. Контроль температури повітря дає змогу створити найбільш сприятливі умови для розвитку стебелів рослин. Контроль освітленості дає змогу покращити фотосинтез рослин, що в свою чергу позитивно впливає на розвиток рослин. Якісний розвиток рослин є запорукою високого врожаю.

**Постановка задачі.** Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані і вирішені такі завдання:

- Визначення, в яких умовах буде працювати модуль вимірювання;
- Визначення необхідних елементів модулю вимірювання (датчики температури, датчик вологості ґрунту, датчик освітлення) та створення електричної принципової схеми;
- Визначення форми друкованої плати та розведення доріжок на ній.

**Основний зміст роботи.** Під час виконання даної роботи були використані наступні наукові та інженерні методи:

1. Системний аналіз: Використаний для визначення умов експлуатації та декомпозиції задачі (визначення необхідних параметрів контролю: вологість, температура, освітленість).

2. Порівняльний аналіз: Застосований для вибору оптимальної елементної бази (мікроконтролера, датчиків, драйверів та компонентів живлення) на основі технічних вимог та вартості.

3. Схемотехнічне проектування: Метод розробки електричних принципових схем для узгодження всіх компонентів модуля (схеми живлення, датчиків, мікроконтролера та інтерфейсу). 4. Проектування друкованих плат (PCB Layout): Використане для фізичної реалізації пристрою, трасування доріжок та компоновання елементів у трьох частинах плати.

У якості інструментів комп'ютерного моделювання та проектування було використано програмний комплекс EasyEDA Pro.

Визначення умов експлуатації модулю вимірювання.

Модуль вимірювання буде працювати у теплиці, занурений у ґрунт, тобто в умовах підвищеної вологості та агресивного впливу добрив. Тому модуль повинен бути герметичним. Необхідно потурбуватися про захист відкритих електричних контактів від корозії, найдешевше і найпростіше це можна зробити покривши елементи і краї плати компаундом (епоксидна смола та скловолокно). Завдяки цим заходам модуль має бути досить міцним, це зменшить ймовірність виходу з ладу через необережне користування.

Визначення необхідних елементів для модулю вимірювань.

Модуль вимірювання має датчики температури ґрунту та повітря, вологості ґрунту та освітленості. Для збору інформації та подальшої її обробки використано мікроконтролер. Для зв'язку модуля з верхнім рівнем запропоновано використання шини K-line. Так як модуль може бути встановлено на значній відстані від джерела живлення і пристрою зчитування інформації, було прийнято рішення передбачити напругу живлення 24В постійного струму, що є компромісом з точки зору енергозбереження та безпеки користувачів в умовах тепличного господарства. На рисунку 1 показана структурна схема модулю вимірювань.

Вибір датчиків температури повітря та ґрунту.

Основні вимоги до датчика температури є точність вимірювання, діапазон вимірювання та ціна. У теплиці під час її експлуатації середня температура 20°C. Точність вимірювань повинна бути  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Ціну бажано обмежити на рівні до 100грн. Прийнято мікросхему DS18B20 у корпусі TO92. Цей датчик має діапазон вимірювання  $-55\dots+125^\circ\text{C}$ , точність вимірювань  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ . Зв'язок з мікроконтролером здійснюється по інтерфейсу 1-wire [0]. Схема підключення датчиків температур показана на рисунку 2.

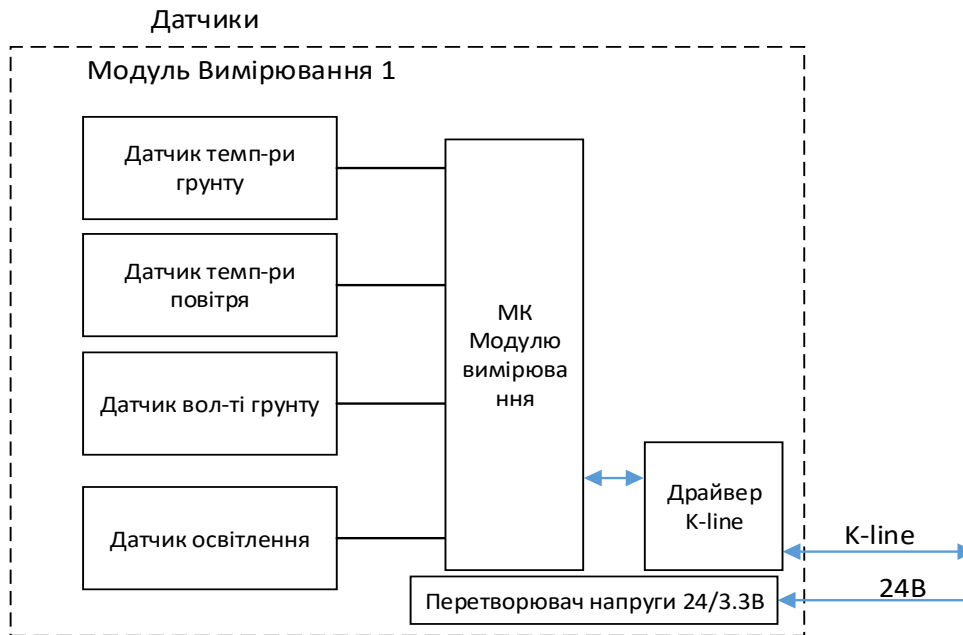


Рис. 1. Структурна схема модулю вимірювання

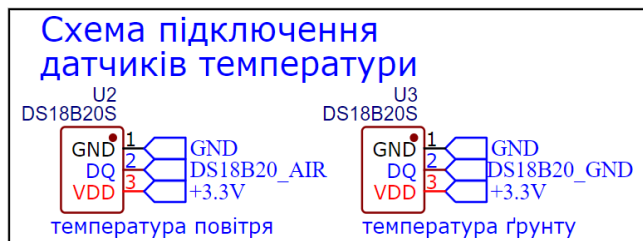


Рис. 2. Схема підключення датчиків температури

### Вибір датчика освітленості

У якості датчика освітленості виберемо мікросхему BH1750FVI [2] з I2C інтерфейсом і діапазоном вимірювання освітленості  $0\dots 65535$  Лк. Схема підключення наведена на рисунку 3.

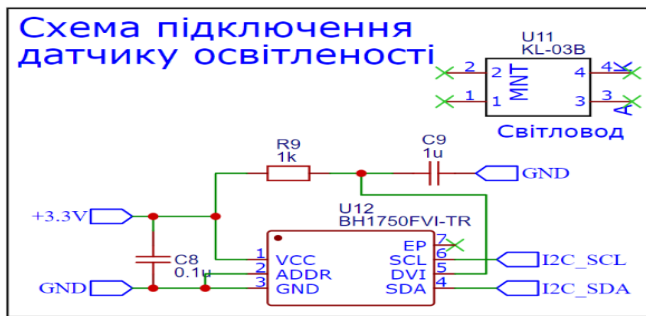


Рис. 3. Схема підключення датчика освітленості

### Вибір датчика вологості ґрунту.

Датчик вологості ґрунту побудовано на основі вже існуючого датчика вологості ґрунту [0] з ємнісним чутливим елементом. Запропоновано замість таймеру[3] надавати високочастотний сигнал від мікроконтролера, а корисний сигнал обробляється за допомогою АЦП. Для узгодження опорів чутливого елемента та амплітудного детектору використано мікросхему підсилювача U9.

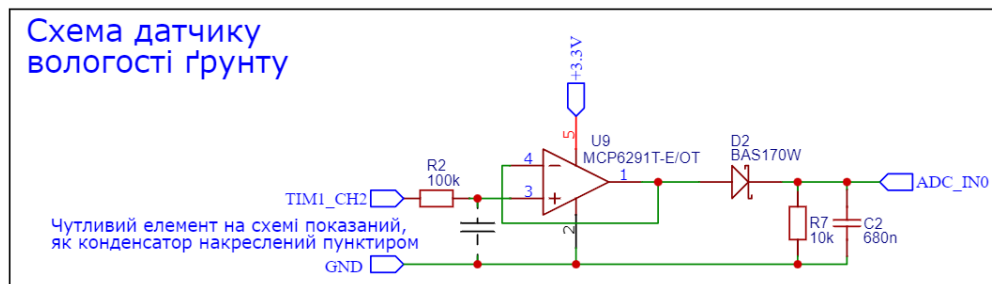


Рис. 4. Схема датчика вологості ґрунту

### Вибір мікросхеми драйверу K-line.

У якості драйверу K-line використовуємо мікросхему E-L9637D013TR [0] яка з мікроконтролером зв'язується по інтерфейсу UART. Схема підключення показана на рисунку 5. Надійність забезпечує використання захисних елементів.

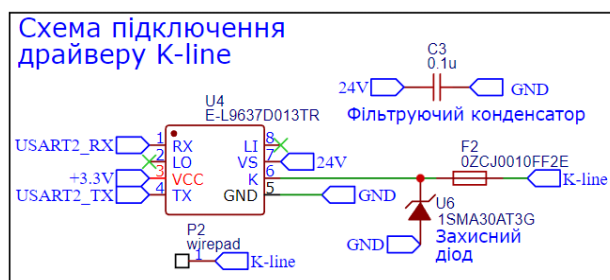


Рис. 5. Схема підключення драйверу K-line

### Вибір схеми живлення

Так як всі елементи схеми живляться від 3.3В, а сам модуль отримує ззовні 24В, то було застосовано понижуючий перетворювач напруги LP2950CDT-3.3RKG [5]. Схема живлення наведена на рисунку 6.



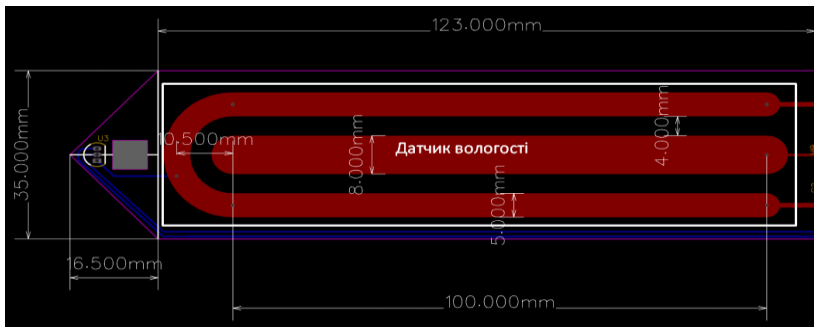


Рис. 8. Перша частина креслення друкованої плати модулю вимірювання.

На зворотній стороні плати розташована друга половина датчика вологості, яка має таку саму структуру.

Друга частина містить в собі датчик температури повітря, мікроконтролер, драйвер К-line та живлення. Креслення другої частини показано на рисунку 9.

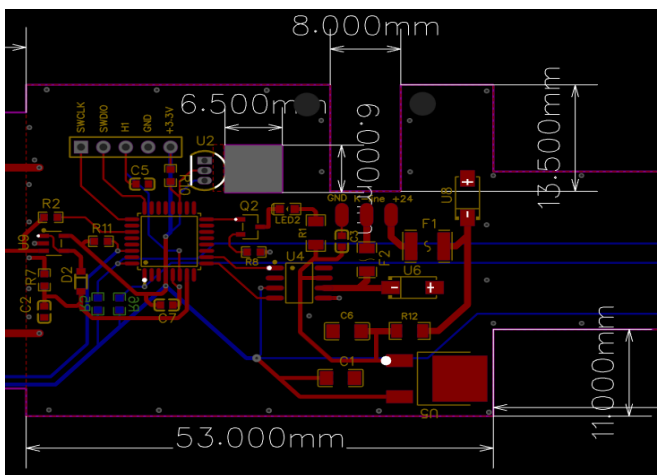


Рис. 9. Креслення другої частини друкованої плати модулю вимірювання

На третій частині друкованої плати розташований датчик освітленості, що віддалений від інших частин плати. Це зумовлено тим, що листя від рослин можуть перекривати датчик і це може спотворити показники про освітлення. На рисунку 10 показано креслення третьої частини друкованої плати.

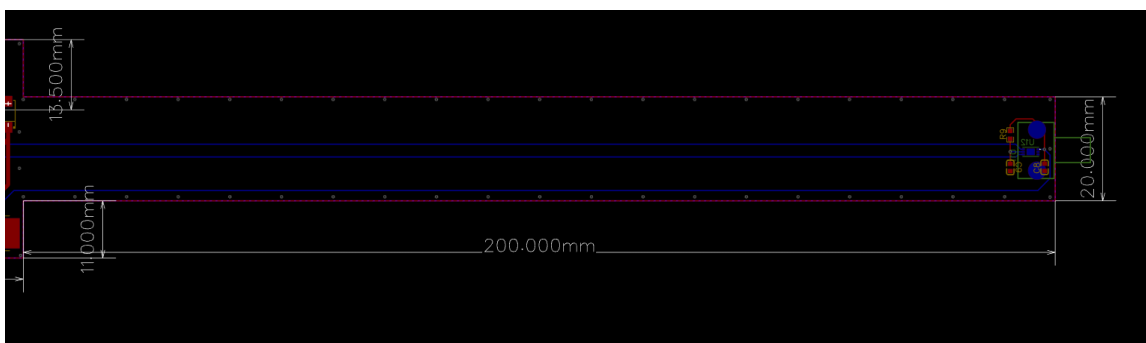


Рис. 10. Третя частина друкованої плати модулю вимірювання

**Наукова новизна** розробки полягає у комплексному інженерному рішенні для моніторингу агротехнічних параметрів теплиць. На відміну від типових модулів, запропонований пристрій вирізняється оригінальною трикомпонентною конструкцією друкованої плати, яка фізично розділяє ґрунтовий щуп, основний блок електроніки та виносний датчик освітленості.

Новизна також полягає у схемотехнічній реалізації каналу вимірювання вологості: замість стандартного таймера NE555 використано формування тестового сигналу безпосередньо від мікроконтролера та застосовано зовнішній операційний підсилювач (U9) для узгодження та детектування, що дозволяє обробляти сигнал напряму через АЦП мікроконтролера.

**Висновки.** В результаті роботи було спроектовано універсальний модуль вимірювання, вирішивши наступні задачі:

– Визначено умови експлуатації (підвищена вологість, агресивне середовище), що обумовило необхідність герметизації плати компаундом та вибору живлення 24В.

– Проведено вибір елементної бази, що включає мікроконтролер STM32G030, датчики DS18B20 (температура) та BH1750 (освітленість), а також розроблено власну схему вимірювання вологості.

– Розроблено конструкцію друкованої плати, що поєднує щуп для ґрунту та винесений датчик освітленості.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. DS18B20 datasheet [Електроний ресурс] – режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>
2. BH1750FVI datasheet [Електроний ресурс] – режим доступу: <https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf?srsId=AfmBOop32MZLyqeCqjuMUXZrVTokVPPWwHwE5ckdOcvrPiXl0xNPjONv>
3. Capacitive Soil Moisture Sensor V2.0 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://thecavepearlproject.org/2020/10/27/hacking-a-capacitive-soil-moisture-sensor-for-frequency-output>
4. E-L9637D013TR datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/19637.pdf>
5. LP2950/LP2951 Voltage Regulator: Datasheet [Електронний ресурс] / Onsemi. – Режим доступу: <https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/lp2950-d.pdf>