

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет робототехніки та приладобудування

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Н.І. Бурау

«___» _____ 20__р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та
технології в приладобудуванні»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Система автоматизованого поливу рослин»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПГ-21

Бурцев Роман Іванович

Керівник:

Доцент каф., КІОНС, к.т.н.

Сапегін Олександр Миколайович

Рецензент:

Доцент, к.т.н., доц. каф. КІТВП

Терещенко Микола Федорович

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут (факультет) Факультет робототехніки та
приладобудування (повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма: Комп'ютерно - інтегровані системи та технології в
приладобудуванні

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Надія БУРАУ
(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Бурцеву Роману Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломного проєкту Система автоматизованого поливу рослин

Науковий керівник роботи Сапегін Олександр Миколайович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 2026 р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту «__» _____ 2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту:

Мікроконтролер на основі сімейства Arduino; у якості чутливих елементів використати датчики температури, вологості, рівня води; звукова та візуальна індикація роботи системи; живлення мережеве.

4. Зміст роботи 1. Огляд сучасних підходів до формування автоматизованих систем поливу. 2. Розробка конструкції автоматизованої системи. 3. Розробка макету. Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) Презентація, тривимірна модель приладу 1 А1, кресленики, схеми та плакати приладу 4 А1.

6. Дата видачі завдання 6.05.2026

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєктування	Примітка
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

Студент

(підпис)

Роман БУРЦЕВ
(ініціали, прізвище)

Керівник дипломного проєкту

(підпис)

Олександр САПЕГІН
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання проектування та впровадження автоматизованої системи поливу рослин, спрямованої на оптимізацію використання водних ресурсів та забезпечення сприятливого мікроклімату для росту культур у закритому або відкритому ґрунті.

У першому розділі проведено аналіз сучасних методів іригації та існуючих технологічних рішень у сфері автоматизації сільськогосподарських процесів. Досліджено класифікацію систем поливу за типом керування, зокрема ручні, таймерні та інтелектуальні системи, що базуються на моніторингу параметрів навколишнього середовища. Окрему увагу приділено апаратному забезпеченню, що включає сенсорне обладнання (датчики вологості ґрунту, температури та освітленості), виконавчі механізми та сучасні мікроконтролерні платформи.

ABSTRACT

The qualification thesis considers the design and implementation of an automated plant irrigation system aimed at optimizing water resource consumption and providing favorable microclimatic conditions for plant growth in both greenhouse and open-field environments.

The first chapter presents an analysis of modern irrigation methods and existing technological solutions in the field of agricultural process automation. The classification of irrigation systems according to their control methods is examined, including manual, timer-based, and intelligent systems that operate based on monitoring environmental parameters. Special attention is paid to the hardware components of the system, including sensor equipment (soil moisture, temperature, and light sensors), actuators, and modern microcontroller platforms.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПОЛИВУ РОСЛИН	4
1.1 Історія винаходу.....	4
1.2 Порівняння систем поливу	9
1.3 Недоліки.....	18
1.4 Вплив на навколишнє середовище	19
1.5. Порівняння з іншими системами.....	19
1.5.1. Огляд систем автоматичного поливу Hunter	19
1.5.2. Огляд систем автоматичного поливу Rain Bird.....	22
1.5.3. Огляд системи автополиву Gardena Smart	24
Висновки до Розділу 1	25
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ ПОЛИВУ	26
2.1 Структурна схема системи автоматичного поливу	26
2.2. Вибір апаратних компонентів системи.....	27
2.2.1 Мікроконтролер Arduino Uno	28
2.2.2 Склад датчиків системи	30
2.2.3.Релейний модуль	34
2.2.4 Насос постійного струму	35
2.2.5 LCD-дисплей 16×2 з інтерфейсом I2C.....	37
2.3 Аналіз недоліків та обмежень системи	38
2.4. Принцип роботи	39
2.5 Розробка віртуальної системи автополиву	41
2.6. Розробка електричної схеми системи.....	47
2.7. Розробка реальної моделі системи автоматичного поливу	48
2.8 Розробка програмного забезпечення	50

2.9 Тестування та результати проробленої роботи	53
2.10 Можливості модернізації системи.....	58
2.11 Проектування корпусу системи автоматичного поливу.....	61
Висновки до Розділу 2	64
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	67
ДОДАТОК А	75
ДОДАТОК Б.....	76
ДОДАТОК В.....	77
ДОДАТОК Г	78
ДОДАТОК Д.....	79
ДОДАТОК Е.....	80
ДОДАТОК Є.....	81
ДОДАТОК Ж.....	82

ВСТУП

Актуальність теми розробки автоматизованої системи поливу обумовлена потребою спрощення догляду за кімнатними рослинами в умовах сучасного ритму життя. Проблема, яка стала передумовою створення цього проєкту, є особисторелевантною для автора: велика кількість рослин у домашніх умовах потребує постійного догляду, який, у зв'язку з насиченим розкладом та численними щоденними справами, не завжди є можливим.

Часте забування про необхідність поливу призводить до висихання або навіть загибелі рослин. У зв'язку з цим виникла ідея автоматизувати процес догляду за рослинами, зокрема — полив, що дозволить не лише зберегти їх у належному стані, а й значно підвищити зручність їх утримання.

На даний момент я працюю над симуляцією проєкту в Tinkercad.

Метою цього проєкту є розробка автоматизованої системи поливу, яка виконує наступні функції:

Забезпечення регулярного поливу рослин у періоди відсутності користувача;

Рациональне використання водних ресурсів шляхом контролю рівня вологості ґрунту;

Автоматизація процесу догляду за рослинами з метою зменшення витрат часу та зусиль.

Проєкт реалізується у безпечному середовищі, що дозволяє протестувати функціональність усіх модулів системи — від алгоритмів керування до електронних компонентів — без ризику пошкодження реального обладнання. Такий підхід сприяє ефективному виявленню та усуненню можливих помилок.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			3

РОЗДІЛ 1.

ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПОЛИВУ РОСЛИН

1.1 Історія винаходу

У сучасному світі зростаюча потреба в ефективному використанні природних ресурсів, зокрема води, спонукає суспільство до впровадження інноваційних рішень у різних сферах людської діяльності. Однією з таких актуальних технологій є система автоматичного поливу рослин. Її головне призначення — забезпечити своєчасне та раціональне зрошення рослин без необхідності постійного контролю з боку людини. Це особливо важливо у контексті урбанізації, коли люди часто не мають достатньо часу для регулярного догляду за садом, городом чи кімнатними квітами.

Системи поливу можуть бути встановлені на різних типах ділянок, від приватних садів та городів до великих сільськогосподарських угідь. Вони складаються з різноманітних компонентів, таких як насоси, труби, розпилювачі та контролери, які працюють разом для забезпечення рівномірного зволоження ґрунту.

Залежно від потреб користувачів та умов на ділянці, системи поливу можуть мати різні налаштування і режими роботи. Це можуть бути прості механічні таймери або складні електронні контролери з датчиками вологості, дощу та температури. Системи автоматичного поливу є надзвичайно гнучкими, що дозволяє адаптувати їх до будь-яких умов і забезпечити максимальну ефективність.

Технічний прогрес призвів до появи нових технологій поливу, які значно спрощують життя агрономів і городників. Слід зазначити, що кожне таке рішення має свої переваги і недоліки.

Проте, на початку минулого століття інженеру-гідротехніку єврейського походження Симхе Блассу вдалося розробити, мабуть, найбільш ефективну,

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			4

економічну і найменш трудомістку систему поливу – так званий «крапельний полив»[1].

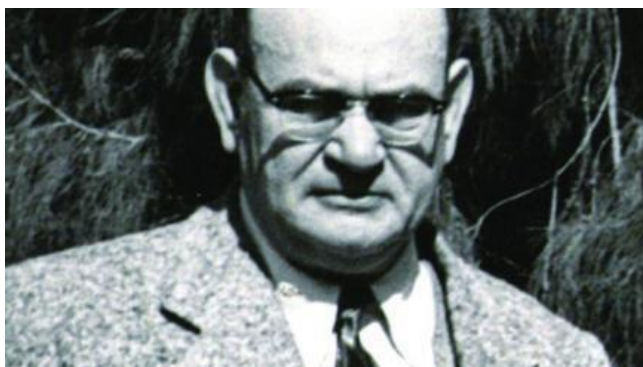


Рис.1.1. Інженер-гідротехник Симхе Бласс

Поштовхом до створення такої системи послугувало те, що перед Блассом стояло завдання збільшити врожайність сільськогосподарських угідь, які перебували в посушливій місцевості. Інженер взявся активно досліджувати процес зростання сільськогосподарських культур і прийшов до простого, і разом з тим геніального висновку: для їх повноцінного зростання потрібне збалансоване живлення, а також кисень в достатньому обсязі. Надмірне, так само як і недостатнє зволоження ґрунту може призвести до згубних наслідків для рослин. Існуючі на той момент системи поливу не дозволяли забезпечити бажаний результат.

Крапельний полив має на увазі постачання води прямо до кореня рослини за допомогою спеціальних трубок, оснащених крапельницями. Завдяки використанню кранів і трубок різного діаметру, ця інноваційна система дає можливість адаптувати полив під потреби кожної конкретної рослини. Крім того, використовуючи таку систему, можна здійснювати підживлення рослин добривами.

Автоматичні системи поливу застосовуються у багатьох сферах, починаючи від приватного використання в умовах дачі чи присадибної ділянки, і завершуючи масштабними аграрними господарствами, де йдеться про полив сотень гектарів землі. Їх використання дозволяє значно зменшити витрати води, уникнути

пересушування чи перезволоження ґрунту, а також зберегти здоров'я рослин і покращити врожайність [1].



Рис.1.2. Приклад системи поливу

Принцип автоматизації полягає у тому, що система сама «розуміє», коли необхідно подати воду рослинам, орієнтуючись на дані, які надходять з різноманітних сенсорів, таких як датчики вологості ґрунту, температури повітря, опадів тощо. Крім того, сучасні системи можуть працювати за встановленим розкладом або через мобільний застосунок, що додає ще більше зручності та контролю.

Ідея автоматичного поливу не є новою — перші спроби механізувати процес зрошення датуються ще XIX століттям. Проте саме в останні десятиліття, завдяки стрімкому розвитку мікроелектроніки, Інтернету речей (IoT) та доступності різноманітних датчиків і контролерів, такі системи стали масово доступними для широкого кола користувачів. Це дозволило поєднати традиційні методи догляду за рослинами із сучасними технологічними підходами [2].

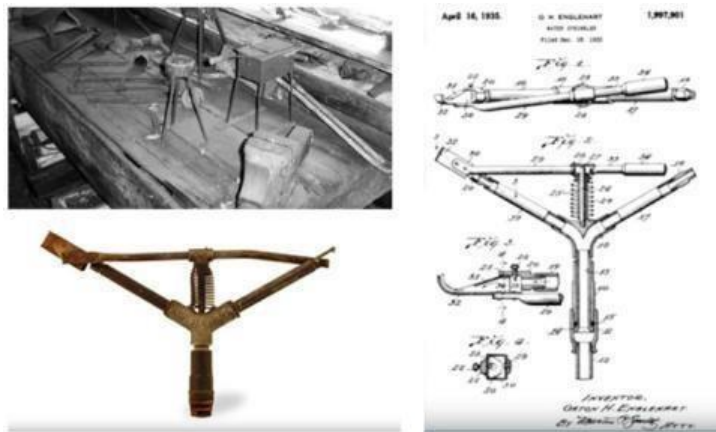


Рис.1.3. Перший приклад імпульсивного дощувача

Системи поливу поділяються на 2 категорії: ландшафтний полив та сільськогосподарський полив.

Система ландшафтного поливу включає в себе певну кількість зрошувачів (роторів, спреїв або імпульсників), крапельної лінії, електромагнітних клапанів або кранів (у разі ручної системи поливу), гідрантів (клапанів швидкого доступу), трубопровід (зональний, напірний), насосну станцію, накопичувальну ємність або резервуар, пульт управління (контролер).

Системи поливу ландшафту поділяються на три види .

- Системи автоматичного поливу — вмикають і вимикають усю систему, за запрограмованим заздалегідь графіком.
- Ручні системи поливу — вмикаються і вимикаються людиною за допомогою подачі води в систему.
- Комбіновані системи поливу — частина системи управляється контролером, інша частина людиною .
- Системи автоматичного поливу (САП) доречно назвати «розумним дощем» створеним руками людини, яким ми можемо керувати.

САП можна розділити на 4-е етапи: проектування, складання кошторису, інсталяцію і введення в експлуатацію. Як будь-яка система інженерних комунікацій, системи поливу та туманоутворення вимагають серйозного ставлення і якісного проектування. Комплектуючі повинні бути професійно

підібрані на основі типу об'єкта, умов експлуатації [2].



Рис 1.4. Система поливу на полях

Експлуатація системи поливу проста і не вимагає особливих зусиль. Найголовнішою перевагою САП, для зручності її користування, є дистанційне керування системою, завдяки йому ви зможете не сушити голову, як вам встигнути на ділянку, щоб увімкнути полив, або навпаки — вимкнути, коли йде дощ. Автоматичне керування не вимагає щоденної присутності людини на садибі, адже за допомогою контролера один раз задаються всі необхідні параметри — час поливу, його тривалість і частота.

Оскільки переважна частина системи поливу виконана з практично вічного пластика і знаходиться під землею, то про неї потрібно згадувати тільки при проведенні на ділянці земельних робіт. З цією метою після закінчення всіх робіт монтажна організація повинна надати клієнтам масштабний план реальної прокладки підземної гідросистеми.

Адже початковий план системи поливу, складений на перших етапах проектування, може не збігатися і відрізнятися від фактичного розташування системи під землею після виконання всіх необхідних монтажних робіт [2].

						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			

1.2 Порівняння систем поливу

Крапельний полив є одним з найефективніших методів зрошення, що дозволяє доставляти воду безпосередньо до кореневої системи рослин. Вода подається через спеціальні крапельниці, які рівномірно розподіляють вологу по всій площі кореневої зони. Це не тільки знижує витрати води, але й запобігає ерозії ґрунту та зменшує ризик виникнення захворювань у рослин, пов'язаних з надмірною вологістю листя.

Крапельні системи є ідеальними для садів, городів та теплиць, де необхідна точна подача води. Вони легко встановлюються і можуть бути адаптовані до різних типів рослин.

Суть цієї системи полягає в подачі води або поживного розчину безпосередньо до кореневої зони рослин у малих дозах, що дозволяє значно підвищити ефективність зрошення порівняно з традиційними методами.



Рис.1.5. Система крапельного зрошення

Система крапельного поливу, як правило, включає насосну станцію (помпу), яка забезпечує необхідний тиск у системі. На вході встановлюється гравійний фільтр для грубого очищення води, а також дисковий фільтр, що виконує функцію тонкого очищення. Це запобігає забиванню крапельниць і гарантує стабільну роботу всієї системи. Важливим компонентом є інжектор добрив, який дає

можливість одночасно з поливом вносити рідкі мінеральні добрива, тим самим оптимізуючи процес підживлення культур [3].

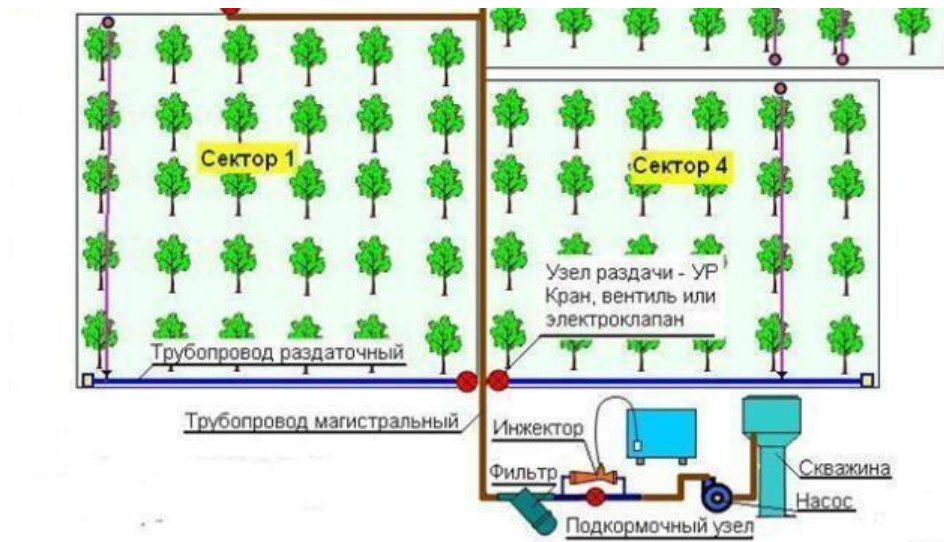


Рис.1.6. Проектування системи крапельного зрошення.

Вода транспортується через напірну магістраль до подаючої магістралі, або лейфлету, яка розподіляє потік до окремих ділянок поля. Основне зволоження відбувається за допомогою краплинних трубок із вмонтованими емітерами, що забезпечують рівномірну подачу вологи безпосередньо під рослину. Усі елементи системи з'єднуються за допомогою спеціальних стартових і з'єднувальних фітінгів, що гарантує герметичність і стабільність функціонування [3].



Рис.1.7. Приклад поливу через систему крапельного зрошення

Перевагою крапельного зрошення є його здатність значно зменшити витрати води, оскільки полив здійснюється точно у визначену точку — до кореневої

системи. Це мінімізує втрати через випаровування або стік води, що є особливо актуальним у регіонах з обмеженими водними ресурсами.

Додатковою перевагою є можливість внесення добрив разом із водою, що дозволяє точно контролювати дозування і підвищує ефективність живлення рослин. Така система також знижує трудомісткість процесу зрошення, оскільки більшість її елементів може бути автоматизована або налаштована на таймер.

Завдяки точному локалізованому поливу зменшується ріст бур'янів, оскільки волога не поширюється по всій поверхні ґрунту. Крім того, структура ґрунту зберігається краще, адже виключається надмірне зволоження, яке може призводити до його ущільнення або ерозії. У підсумку це сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур і скороченню строків визрівання.

Його впровадження є важливим кроком у напрямку сталого сільського господарства та раціонального природокористування [4].

Іншим ефективним методом є спринклерні системи, при якому вода розбризкується над полем за допомогою спеціальних трубопроводів. Така система забезпечує більш рівномірне зволоження поверхні ґрунту й підходить для більшості типів культур. В умовах потреби в контролі мікроклімату застосовують аерозольне зрошення, де використовується розпилення найдрібніших крапель для регулювання температури і вологості приземного шару атмосфери .



Рис.1.8 Приклад спринклерної системи

Спринклерні системи зрошення є одним із найбільш поширених та ефективних способів автоматизованого поливу зелених насаджень, газонів, садово-паркових територій та сільськогосподарських ділянок. Принцип їхньої роботи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			11

полягає у розпиленні води у вигляді дрібнодисперсних крапель, що імітують природний дощ. Завдяки такому способу подачі води забезпечується рівномірне зволоження поверхні ґрунту та рослинного покриву, що позитивно впливає на ріст і розвиток рослин, а також сприяє підтриманню оптимального рівня вологості ґрунту.

Ефективність роботи системи зрошення значною мірою залежить від конструктивних особливостей та типу використовуваних спринклерів. Різні моделі спринклерів відрізняються між собою принципом роботи, радіусом дії, способом розпилення води та сферою застосування. Вибір певного типу спринклера здійснюється залежно від площі зрошення, виду рослинності, необхідної інтенсивності поливу та умов експлуатації системи. [] У сучасних системах зрошення застосовуються різні види спринклерів, кожен з яких має свої конструктивні особливості та функціональні переваги. Спринклер типу 2520 є одним із найбільш поширених елементів систем дощувального зрошення. Його принцип роботи базується на подачі води під тиском через спеціальну форсунку, яка формує потік дрібнодисперсних крапель. Під дією тиску води розпилювальна частина спринклера здійснює обертальний рух, завдяки чому забезпечується рівномірне покриття всієї площі поливу. Конструкція даного спринклера дозволяє підтримувати стабільну інтенсивність зрошення навіть при зміні тиску у системі. Основною перевагою є можливість ефективного поливу великих територій із мінімальними втратами води. Такий тип спринклера Рис.1.9 широко застосовується для зрошення газонів, овочевих культур та садово-паркових зон [5].



Рис.1.9 Спринклер типу «2520»

Спринклер КА-4 працює за принципом реактивного обертання. Після подачі води через внутрішній канал потік надходить до розпилювальних лопатей, які під дією реактивної сили починають обертатися навколо власної осі. У процесі обертання вода рівномірно розподіляється по поверхні у вигляді штучного дощу. Завдяки дрібному розпиленню забезпечується оптимальне зволоження ґрунту без утворення застою води або пошкодження рослин. Спринклер КА-4 характеризується простотою конструкції, високою надійністю та стабільною роботою при тривалій експлуатації. Його застосовують у системах поливу овочевих культур, ягідників та тепличних господарств [5].



Рис.1.10. Спринклер типу «КА-4»

Принцип роботи спринклера КА-30 полягає у створенні кругового або секторного поливу шляхом обертання головки розпилювача під тиском води. Вода проходить через форсунку спеціальної форми, де відбувається її подрібнення на дрібні краплі. Далі потік рівномірно розподіляється по заданому радіусу поливу. Конструкція спринклера забезпечує високу точність розподілу води та дозволяє уникнути надмірного перезволоження окремих ділянок. Особливістю моделі КА-30 є можливість роботи на великих площах при відносно низькому споживанні води. Завдяки цьому даний тип спринклера ефективно використовується у сільському господарстві, садах та системах автоматичного зрошення.



Рис.1.11. Спринклер типу «КА-30»

Спринклер Fox належить до сучасних моделей дощувального обладнання, які забезпечують високоточне та рівномірне розпилення води. Його робота здійснюється за рахунок проходження води через внутрішній механізм із декількома соплами, які формують потік необхідної інтенсивності. Під час роботи розпилювальна головка обертається, створюючи рівномірний полив по всій зоні дії. Завдяки конструктивним особливостям спринклер забезпечує стабільну роботу навіть при невеликому тиску води у системі. Даний тип обладнання часто використовується у теплицях, розсадниках та системах мікрокліматичного зрошення, де важливим є підтримання оптимальної вологості повітря та ґрунту. Крім того, спринклер Fox сприяє зменшенню витрат води та підвищенню ефективності зрошення.



Рис.1.12. Спринклер типу «FOX»

Однією з головних переваг спринклерних систем є можливість охоплення значних площ поливу при відносно невеликих витратах води та мінімальному втручанні людини. Розпилення води відбувається через спеціальні форсунки, які формують потік у вигляді дрібних крапель певного діаметра. Це дозволяє уникнути надмірного ущільнення ґрунту та зменшити ризик утворення калюж або ерозії поверхні. Крім того, рівномірність подачі води забезпечує однакові умови зволоження для всіх рослин на ділянці, що є особливо важливим для декоративних газонів, спортивних майданчиків та паркових зон [5].

Сучасні спринклерні установки можуть працювати у різних режимах, залежно від особливостей території та потреб користувача. Найбільш поширеними є круговий, секторний та імпульсний режими поливу. Обертальні механізми дозволяють спринклерам змінювати напрямок розпилення води, забезпечуючи покриття великих площ без необхідності встановлення значної кількості обладнання. Такий підхід дає можливість суттєво зменшити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність системи зрошення.

За конструктивними особливостями спринклери поділяються на стаціонарні та рухомі. Стаціонарні моделі встановлюються у визначених точках території та використовуються переважно для постійних систем автоматичного поливу. Вони монтуються безпосередньо у ґрунт або на спеціальні опори та можуть працювати протягом тривалого часу без необхідності переміщення.

Рухомі спринклери, на відміну від стаціонарних, мають мобільну конструкцію та можуть легко переміщуватися в межах ділянки. Це дозволяє адаптувати систему поливу до змінних умов експлуатації, а також забезпечує більш гнучке використання обладнання. Рухомі системи особливо ефективні на територіях зі складною конфігурацією або у випадках, коли необхідно періодично змінювати зону поливу.

Важливим елементом сучасних спринклерних систем є автоматизоване керування процесом поливу. Для цього використовуються спеціальні контролери, які дозволяють програмувати графік роботи системи відповідно до заданих параметрів. Контролери можуть задавати час початку та завершення поливу,

тривалість роботи окремих зон, а також інтенсивність подачі води. Використання автоматичного керування значно знижує потребу у ручному обслуговуванні системи та забезпечує стабільну роботу обладнання.

Зокрема, система може оснащуватися датчиками дощу, вологості ґрунту та температури навколишнього середовища. Датчики дощу автоматично припиняють подачу води під час атмосферних опадів, що дозволяє уникнути надмірного перезволоження ґрунту та перевитрати води. Датчики вологості контролюють рівень зволоження ґрунту та активують полив лише за необхідності. Такий підхід сприяє енергоефективності системи та забезпечує раціональне використання природних ресурсів [6] .

Слід зазначити, що впровадження автоматизованих спринклерних систем має важливе екологічне та економічне значення. Раціональний розподіл води дозволяє зменшити її споживання, а автоматизація процесів сприяє скороченню витрат праці та часу на обслуговування територій. Крім того, підтримання оптимального рівня вологості позитивно впливає на стан рослинності, підвищує декоративні характеристики ландшафтних об'єктів та забезпечує комфортні умови експлуатації зелених зон.

Також поширеним є підґрунтове зрошування — технологія, яка забезпечує подачу води безпосередньо в зону розташування кореневої системи. Цей метод дозволяє мінімізувати втрати води через випаровування, забезпечити рівномірне надходження вологи до рослин та уникнути утворення ґрунтової кірки [6].



Рис.1.13. Підґрунтове зрошування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			16

Особливістю обробітку ґрунту на зрошуваних землях є необхідність проведення додаткових агротехнічних заходів, які забезпечують збереження структури ґрунту, покращення його водопроникності та підвищення ефективності використання води. До таких заходів належить попереднє планування рельєфу поля, післяполивне розпушування міжрядь у посівах просапних культур, внесення добрив і гербіцидів разом з поливною водою.

Систематичний полив значно впливає на хімічні та біологічні властивості ґрунту. Зокрема, може відбуватися вимивання нітратів, зниження концентрації мінеральних елементів, зміна гранулометричного складу та збільшення лужності ґрунтів. За тривалого зрошення з'являються ознаки деградації ґрунтової структури, тому важливо регулярно змінювати глибину зяблевого обробітку та контролювати рівень вологості [6] .



Рис.1.14.Підземне крапельне зрошення.

Ключовим елементом успішного функціонування системи зрошення є правильне планування рельєфу поля. Капітальне планування проводиться перед початком освоєння земель під зрошення, з метою усунення природних нерівностей (горбів, знижень, зворотних схилів), забезпечення рівномірного розподілу води та покращення ефективності поливу. Застосування сучасних землерийних машин (наприклад, скреперів і планувальників) дозволяє виконати ці роботи з високою точністю [6].

Після капітального вирівнювання обов'язковим є вирівнювання родючості: у зонах зі знятим верхнім шаром вносяться органічні або мінеральні добрива, виконується глибока оранка, сидерація або фітомеліорація.

У перші роки на таких полях зазвичай вирощують однорічні бобові культури для покращення структури та живлення ґрунту. У наступні роки рекомендується вирощування багаторічних трав.

На завершальному етапі відбувається поточне планування — щорічне або сезонне вирівнювання ділянок перед поливом. Це сприяє полегшенню польових робіт і підвищенню врожайності.

1.3 Недоліки

Під впливом зрошення чорноземах змінюються водний, сольовий, тепловий, мікробіологічний, газовий і поживний режими, відбуваються нові, не властиві досі чорноземам, процеси (підняття рівня ґрунтових вод, підтоплення, вторинне засолення, осолонцювання, підлуження, винесення поживних речовин і зокрема кальцію, погіршення фізичного стану), що спричиняє формування певних негативних властивостей.

Зрошувальне землеробство викликає цілу низку негативних екологічних наслідків. Головними з них є:

- Іригаційна ерозія
- Накопчення агроіррійного культурного горизонту ґрунтів;
- Вторинне засолення ґрунтів;
- Заболочування ґрунтів;
- Забруднення поверхневих і підземних вод;

Вторинне засолення — головний наслідок зрошення земель в умовах аридного клімату. Воно пов'язане з підйомом мінералізованих ґрунтових вод до земної поверхні. Ґрунтові, що містять солі, починають при цьому інтенсивно випаровуватися, в результаті чого ґрунт насичується надмірною кількістю солей. Гостра екологічна проблема зрошувального землеробства — забруднення

поверхневих та ґрунтових вод. Це результат поливу угідь і використання води для розсолонням ґрунтів. Більшість річок, води яких використовуються для зрошення мають мінералізацію 0,2-0,5 г/л. Проблеми засолення ґрунтів і вод поглиблюються застосуванням мінеральних добрив [6].

1.4 Вплив на навколишнє середовище

Негативні наслідки часто супроводжують екстенсивне зрошення. Деякі проекти, які відводили поверхневі води для зрошення, висушили джерела води, що призвело до більш екстремального регіонального клімату. Проекти, які покладалися на підземні води та викачували занадто багато з підземних водоносних горизонтів, спричинили просідання ґрунту і засолення ґрунтів [7].

Засолення зрошувальної води, своєю чергою, завдавало шкоди врожаю і просочувалося у питну воду. Шкідники та патогени також процвітали в зрошувальних каналах або ставках зі стоячою водою, що створювало регіональні спалахи таких захворювань, як малярія та шистосомоз. Уряди також використовували іригаційні схеми для заохочення міграції, особливо більш бажаного населення в регіон.

Крім того, деякі з цих великих загальнонаціональних схем взагалі не окупилися, коштуючи більше, ніж будь-яка вигода, отримана від підвищення врожайності культур.

Це явище загрожує майбутньому виробництву продуктів харчування в таких регіонах, як Північно-Китайська рівнина, регіон Пенджаб в Індії та Пакистані, а також Великі рівнини США.

1.5. Порівняння з іншими системами

1.5.1. Огляд систем автоматичного поливу Hunter

Організація автоматизованої системи поливу є важливим етапом у забезпеченні ефективного зрошення сільськогосподарських угідь, садово-паркових

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			19

територій, спортивних майданчиків та приватних земельних ділянок. Використання сучасних систем автоматичного поливу дозволяє значно підвищити ефективність використання водних ресурсів, забезпечити оптимальний рівень вологості ґрунту та створити сприятливі умови для росту і розвитку рослин. Одним із провідних виробників обладнання для автоматичного зрошення є Hunter Industries — американська компанія, яка спеціалізується на розробці та виробництві професійних систем поливу.

Компанія Hunter Industries була заснована у 1981 році у США та за час своєї діяльності стала одним із світових лідерів у галузі іригаційних технологій. Підприємство займається виробництвом обладнання для автоматичного поливу та має значну кількість зареєстрованих патентів і торгових марок у сфері систем зрошення. Продукція компанії широко використовується для поливу газонів, садів, парків, спортивних стадіонів, тепличних комплексів та сільськогосподарських територій.



Рис.1.15 Мікроконтролер автополиву «Hunter»

Системи автоматичного поливу Hunter характеризуються високою продуктивністю, надійністю та широкими можливостями автоматизації. Основний принцип роботи системи полягає у централізованому керуванні процесом подачі води до окремих зон поливу за допомогою електронного контролера.

Контролер дозволяє задавати графік зрошення, тривалість поливу, періодичність подачі води та інші параметри роботи системи. Завдяки цьому забезпечується раціональне використання водних ресурсів та мінімізується необхідність постійного втручання людини.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			20

Автоматичні системи поливу Hunter складаються з комплексу взаємопов'язаних елементів, серед яких насосне обладнання, трубопроводи, електромагнітні клапани, спринклери, датчики погодних умов та програмовані контролери. Після встановлення та налаштування система може працювати у повністю автоматичному режимі. Контролер здійснює керування відкриттям та закриттям електромагнітних клапанів, які регулюють подачу води до відповідних зон поливу.

Важливою особливістю систем Hunter є можливість адаптації режимів поливу до погодних умов. Для цього система може оснащуватися датчиками дощу, температури та вологості ґрунту. У разі випадання атмосферних опадів або підвищення вологості ґрунту система автоматично змінює або припиняє подачу води, що дозволяє уникнути перезволоження та знизити витрати водних ресурсів. Такий підхід забезпечує високу економічність та енергоефективність системи.

Системи автоматичного поливу Hunter відзначаються простотою експлуатації та тривалим терміном служби. Для початку роботи необхідно лише один раз виконати програмування контролера, після чого система функціонує автоматично відповідно до заданих параметрів. У разі необхідності користувач може змінити налаштування або перепрограмувати режими роботи системи залежно від сезонних умов чи типу рослинності.

Проектування системи автоматичного поливу здійснюється з урахуванням багатьох факторів, серед яких площа ділянки, тип ґрунту, особливості рельєфу місцевості, рівень ґрунтових вод та види рослин, які потребують зрошення. Від правильності підбору обладнання та розрахунку параметрів системи залежить ефективність роботи всієї системи поливу.

Однією з головних переваг обладнання Hunter є його висока надійність. Система забезпечує стабільну та безперебійну роботу протягом тривалого часу без необхідності частого технічного обслуговування або ремонту. Крім того, усі елементи системи виготовляються з матеріалів, стійких до впливу вологи, ультрафіолетового випромінювання та перепадів температур. Це дозволяє експлуатувати обладнання у різних кліматичних умовах [7].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			21

1.5.2.Огляд систем автоматичного поливу Rain Bird

Одним із провідних світових виробників обладнання для автоматичного зрошення є Rain Bird. Компанія спеціалізується на розробці сучасних систем поливу для сільського господарства, ландшафтного дизайну, спортивних комплексів, міських парків та приватних територій. Завдяки впровадженню інноваційних технологій та високій якості продукції обладнання Rain Bird широко використовується у багатьох країнах світу.

Компанія Rain Bird була заснована у США у 1933 році та є одним із найстаріших виробників іригаційного обладнання. За роки діяльності підприємство стало одним із лідерів у сфері автоматизованого поливу та отримало значну кількість патентів на технології зрошення. Основною метою компанії є створення ефективних систем поливу, які забезпечують економне використання водних ресурсів та високу продуктивність зрошення[7].

Для забезпечення ефективної роботи системи автоматичного поливу компанія Rain Bird пропонує декілька моделей роторних форсунок серії R-VAN, кожна з яких призначена для експлуатації в різних умовах зрошення. Вибір відповідної моделі здійснюється залежно від площі поливу, радіуса дії форсунки, конфігурації ділянки та необхідної інтенсивності зволоження.

	R-VAN 14	R-VAN 14-360	R-VAN 18	R-VAN 18-360	R-VAN 24	R-VAN 24-360	R-VAN-LCS	R-VAN-SST	R-VAN-RCS
									
Радіус поливу	Від 2,4 до 4,3 м	Від 2,4 до 4,5 м	Від 4,0 до 5,5 м	Від 4,0 до 5,5 м	Від 5,2 до 7,3 м	Від 5,2 до 7,3 м	5 × 4,6 м (ліва сторона)	5 × 9,1 м (бокова смуга)	5 × 4,6 м (права сторона)
Сектор поливу	Від 45° до 270°	360° (круговий)	Від 45° до 270°	360° (круговий)	Від 45° до 270°	360° (круговий)	Ліва кутова смуга	Бокова смуга	Права кутова смуга
Інтекованість поливу	0,6 дюйма/год (≈ 15 мм/год)	0,6 дюйма/год (≈ 15 мм/год)	0,6 дюйма/год (≈ 15 мм/год)	0,6 дюйма/год (≈ 15 мм/год)	0,6 дюйма/год (≈ 15 мм/год)	0,6 дюйма/год (≈ 15 мм/год)	0,6 дюйма/год (≈ 15 мм/год)	0,6 дюйма/год (≈ 15 мм/год)	0,6 дюйма/год (≈ 15 мм/год)
Колірне маркування форсунки									

Рис.1.16.Огляд маркування форсунок системи «RainBird»

З метою спрощення монтажу та ідентифікації кожна форсунка має спеціальне кольорове маркування. Це дозволяє швидко визначити технічні характеристики моделі та полегшує процес проектування і налаштування системи автоматичного поливу.

Під час проектування системи поливу важливе значення має схема розташування розпилювачів. Використання схеми з частковим перекриттям зон поливу може призвести до нерівномірного зрошення території, оскільки поблизу форсунки подається більша кількість води, ніж на віддалених ділянках. У результаті цього виникають ділянки з недостатнім або надмірним рівнем зволоження[7].

Найбільш ефективною вважається схема розміщення спринклерів за принципом «голова до голови». Суть даного методу полягає у тому, що струмінь води одного розпилювача повинен досягати основи сусіднього спринклера. Такий підхід забезпечує рівномірний розподіл води по всій площі поливу, підвищує ефективність зрошення та запобігає утворенню сухих або перез воложених зон [8].

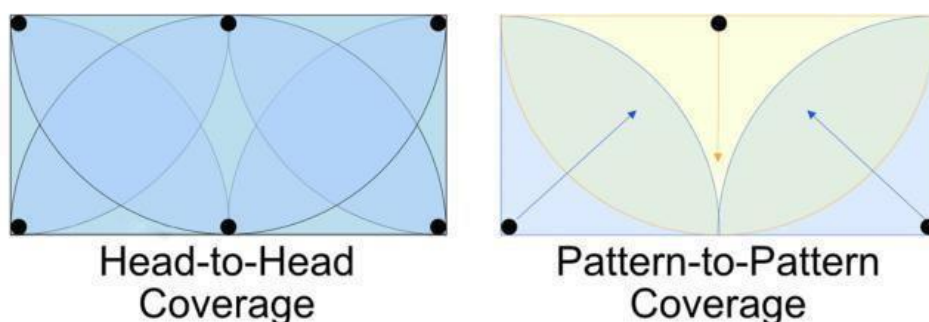


Рис.1.17. Вплив методу розміщення зрошувачів на рівномірність покриття секторів поливу

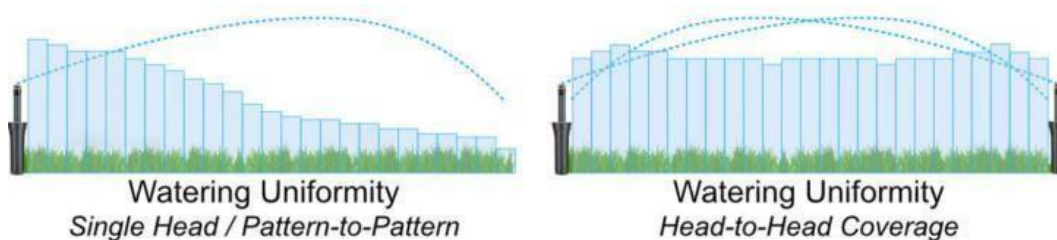


Рис.1.18. Профіль інтенсивності опадів: ліворуч — нерівномірний розподіл вологи при одиночній роботі зрошувача; праворуч — досягнення рівномірності поливу за рахунок перекриття «від головки до головки»

1.5.3.Огляд системи автополиву Gardena Smart

Іншим типом є більш просунуті системи, такі як Gardena Smart (Рис.1.20), які використовують вологоміри, Wi-Fi з'єднання та мобільні додатки. Вони можуть оцінювати не лише стан ґрунту, а й погодні умови, зчитувати прогноз погоди, а також дозволяють користувачеві керувати поливом з будь-якої точки світу через Інтернет. Однак така розкіш коштує відповідно дорого, а для встановлення потрібні певні технічні навички.



Рис. 1.20. Система Gardena Smart

На відміну від готових комерційних систем, саморобні системи, побудовані на основі Arduino або ESP32, дозволяють налаштувати полив максимально індивідуально. Наприклад, можна задати різні пороги вологості для різних зон, об'єднати систему з прогнозом погоди, створити голосове або голосове керування тощо. Основною перевагою тут є повна гнучкість та дешевизна компонентів.

Компанія Gardena є німецьким виробником садового обладнання та входить до складу групи Husqvarna Group. Продукція бренду широко використовується у приватних системах поливу, тепличних комплексах та ландшафтному дизайні. Smart-система Gardena включає контролери, датчики вологості, електромагнітні клапани, модулі керування поливом та інтеграцію з роботизованими газонокосарками.

Принцип роботи системи базується на використанні центрального шлюзу (Gateway), який забезпечує зв'язок між усіма компонентами системи та мобільним додатком користувача. Через додаток можна задавати графік поливу, контролювати витрати води, отримувати інформацію про стан ґрунту та змінювати режими

роботи обладнання. Система може автоматично припиняти полив у разі дощу або достатнього рівня вологості ґрунту, що дозволяє значно економити воду.

Система підтримує автоматичне керування декількома зонами поливу одночасно. Наприклад, контролер Gardena Smart Irrigation Control дозволяє керувати шістьма незалежними зонами зрошення, що є ефективним рішенням для великих присадибних ділянок або складних ландшафтних систем [9].

Висновки до Розділу 1

У першому розділі було розглянуто історію розвитку систем автоматизованого поливу, їх основні види, принципи роботи, переваги та недоліки. Проведено аналіз впливу таких систем на навколишнє середовище та виконано порівняння сучасних рішень, зокрема систем Hunter, Rain Bird і Gardena Smart.

У результаті дослідження встановлено, що автоматизовані системи поливу дозволяють ефективно використовувати водні ресурси, зменшують потребу в ручному догляді за рослинами та забезпечують стабільні умови для їх росту. Разом із тим існуючі системи мають певні недоліки, пов'язані з вартістю обладнання, складністю налаштування та необхідністю технічного обслуговування.

Отримані результати підтверджують доцільність розробки власної автоматизованої системи поливу, яка буде простою у використанні, доступною за вартістю та здатною забезпечити ефективний контроль вологості ґрунту.

РОЗДІЛ 2.

ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ ПОЛИВУ

2.1 Структурна схема системи автоматичного поливу

Це структурна схема автоматичної системи поливу, яка побудована на базі Arduino UNO. Система живиться від джерела живлення, яке подає енергію на мікроконтролер. Arduino UNO виконує основну керуючу функцію: зчитує дані з датчиків вологості, обробляє їх та приймає рішення про необхідність поливу. Інформація про стан ґрунту відображається на LCD-дисплеї, контрастність якого регулюється за допомогою потенціометра. Кнопка використовується для ручного керування або налаштувань.



Рис.2.1. Структурна схема

У разі, якщо виявлена недостатня вологість, Arduino активує модуль реле, який керує насосом або іншим поливним пристроєм. Світлодіоди та зумер

виконують функції сигналізації — наприклад, подають візуальні або звукові сигнали при спрацюванні системи.

2.2. Вибір апаратних компонентів системи

Для побудови автоматизованої системи поливу було використано наступні компоненти:

Arduino UNO - основний мікроконтролер, який забезпечує роботу всієї системи, зчитує дані з датчиків, обробляє їх і керує іншими компонентами.

Датчик вологості ґрунту - використовується для вимірювання рівня вологості ґрунту. Один датчик виконує основний контроль, інший контрольний для точнішої оцінки.

Насос - електричний насос, що забезпечує подачу води до рослин. Керується за допомогою реле.

Реле - електро cơханічний перемикач, що дозволяє вмикати та вимикати насос на основі сигналів з Arduino.

Рідкокристалічний дисплей LCD - дисплей 16x2 символів для виведення інформації про рівень вологості ґрунту, стан насоса та режими роботи системи.

Зумер - звуковий сигналізатор, який попереджає про критичні ситуації, такі як відсутність води.

Світлодіоди червоний, жовтий, зелений - Використовуються для індикації рівня вологості ґрунту:

- Червоний: низька вологість.
- Жовтий: середня вологість.
- Зелений: достатня вологість.

Датчик наявності води - контролює рівень води в резервуарі для запобігання роботі насоса на суху.

Кнопка-використовується для ручного управління системою увімкнення/вимкнення насоса або перемикання між автоматичним і ручним режимами роботи.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			27

9V батарея - джерело живлення для системи.

2.2.1 Мікроконтролер Arduino Uno

«Arduino» – відкрита апаратна платформа, яка складається з мікроконтролера та електронних компонентів, призначена для створення електронних пристроїв і робототехнічних систем. Вона широко використовується для автоматизації процесів та створення інтерактивних проєктів, зокрема систем розумного дому, роботизованих пристроїв, медіаінсталяцій і вимірювального обладнання.

Платформа має відкритий вихідний код і може бути запрограмована за допомогою середовища розробки Arduino IDE, яке базується на мовах Processing та Wiring. Відкрита архітектура забезпечує можливість змінювати та вдосконалювати як програмну, так і апаратну частину системи відповідно до поставлених завдань. Сумісність із різноманітними датчиками, сенсорами, виконавчими механізмами та модулями розширення дозволяє створювати проєкти різної складності та функціонального призначення.

Значне поширення ця технологія отримала в освітній сфері, оскільки сприяє вивченню основ електроніки, програмування та робототехніки. Простий інтерфейс програмування, зрозуміле середовище розробки та велика кількість навчальних матеріалів дають можливість швидко опанувати принципи роботи навіть користувачам без попереднього досвіду. Крім освітнього напрямку, вона активно застосовується у промислових системах автоматизації, наукових дослідженнях та під час розробки й тестування прототипів електронних пристроїв.

Важливою перевагою є можливість швидкого створення і перевірки нових технічних рішень без значних фінансових витрат, що суттєво скорочує час реалізації проєктів. Широка підтримка користувацької спільноти, велика кількість бібліотек і готових програмних рішень значно спрощують процес розробки. Завдяки цьому дана платформа стала популярним інструментом як серед початківців, так і серед професіоналів у сфері електроніки та робототехніки, а її універсальність дозволяє використовувати її для створення сучасних електронних систем різного призначення [13].

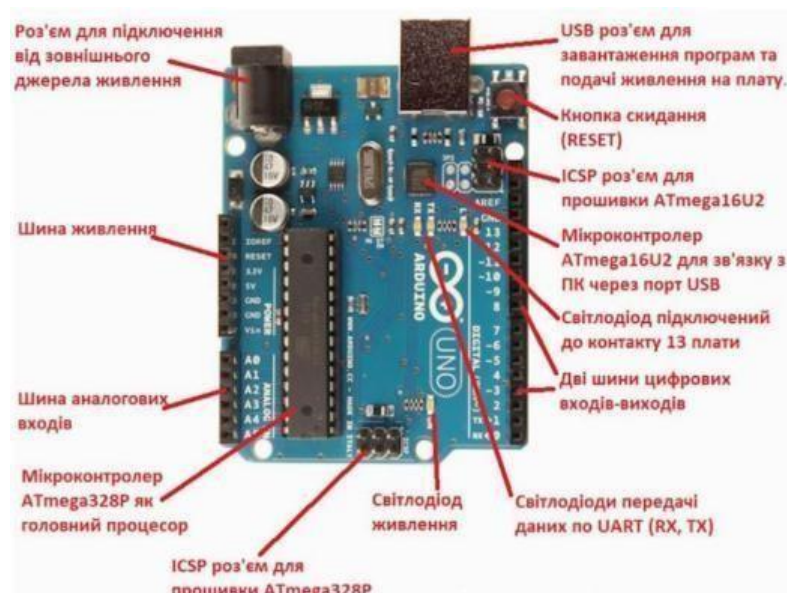


Рис.2.2 Елементи плати Arduino UNO

Arduino UNO — це мікроконтролерна плата на базі мікросхеми ATmega328P, яка є однією з найпопулярніших платформ для створення електронних проєктів і прототипів. Вона призначена для початківців, студентів та професіоналів у сфері автоматизації, робототехніки та IoT [14].

Основні характеристики

- Мікроконтролер - ATmega328;
- Робоча напруга - 5В;
- Напруга живлення (рекомендовано) - 7-12В;
- Напруга живлення (межова) - 6-20В;
- Цифрові входи-виходи - 14 (з них 6 можуть використовуватись в якості ШІМ-виходів);
- Аналогові входи – 6;
- Максимальний ток одного виходу - 40 мА;
- Максимальний вихідний ток виходу 3.3V - 50 мА;
- Flash-пам'ять 32 КБ (ATmega328) з них 0.5 КБ використовується завантажувачем;
- SRAM - 2 КБ (ATmega328);
- EEPROM - 1 КБ (ATmega328);
- Тактова частота - 16 МГц;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		29

2.2.2 Склад датчиків системи

Датчик вологості ґрунту – вимірює рівень вологи у ґрунті.



Рис. 2.4. Датчик вологості ґрунту

Датчик вологості ґрунту — це електронний компонент, який використовується для вимірювання рівня вологи в ґрунті. Найчастіше в навчальних і аматорських проєктах використовують аналоговий датчик типу YL-69 або аналогічний, який складається з зонда (дві металеві пластини) та перетворювача сигналу (модуля).

Основні характеристики:

Тип виходу: аналоговий (напруга залежить від вологості), іноді цифровий (з порогом)

Живлення: 3.3–5 В

Сигнальний вихід: AOUT (аналоговий), DOUT (цифровий, за наявності компаратора)

Діапазон вимірювання: сухий → вологий (зміна опору між електродами)

Цифровий датчик вологості ґрунту, на виході видає 1 або 0 в залежності від того, наскільки вологий ґрунт. Використовується для контролю за домашніми квітами, в теплицях та ін., Може служити датчиком для автоматичних систем поливу. У комплекті йде плата, що перетворює аналоговий сигнал датчика в цифровий сигнал (нуль - одиниця), побудована на основі мікросхеми LM393 та потенціометра, яким регулюється поріг спрацьовування датчика[15].

Для використання датчика потрібно зібрати на його основі макет (підключити живлення, підключити до контролера, помістити датчик в середовище вимірювання). Потім потрібно записати на контролер спеціальну програму, яка дозволяє працювати з датчиком. Після цього можна починати роботу. На платі є синій світлодіод, який горить, коли на датчик підключений до джерела живлення. На платі є червоний світлодіод, який горить, коли датчик передає дані в контролер.

Управління датчиком здійснюється або від Arduino контролера, або від іншого керуючого мікропроцесорного пристрою за допомогою спеціальних програм.

На платі розташований змінний резистор, який використовується для налаштування порогу спрацьовування датчика (чутливості) [15].

Датчик вологості ґрунту має два інтерфейси для підключення до живлення та до мікроконтролера, для підключення чутливого елемента:

для підключення до живлення та до мікроконтролера використовується 4-контактний штирьовий інтерфейс. Позначення контактів: VCC - напруга живлення; GND - загальний контакт; D0 - цифровий вихід; A0 - аналоговий вихід;

для підключення чутливого елемента використовується 2-контактний штирьовий інтерфейс.

Живлення датчика здійснюється або від Arduino контролера, або від іншого керуючого мікропроцесорного пристрою, або зовнішнього джерела живлення (блоку живлення, батареї). Напруга живлення датчика 3,3 - 5В.

Коли ґрунт вологий — між електродами знижується електричний опір, і сигнал на виході датчика змінюється. Чим вища вологість, тим нижча напруга на аналоговому виході. Це дозволяє Arduino точно визначити рівень вологи та, наприклад, автоматично увімкнути полив.

Температурний датчик

DHT11 — компактний цифровий датчик, який одночасно вимірює вологість повітря та температуру навколишнього середовища й віддає дані у цифровому вигляді через однопровідний інтерфейс. Завдяки простому підключенню та

стабільним показникам модуль зручно використовувати у DIY-проектах, метеостанціях, навчальних STEM-роботах і базових системах розумного дому.

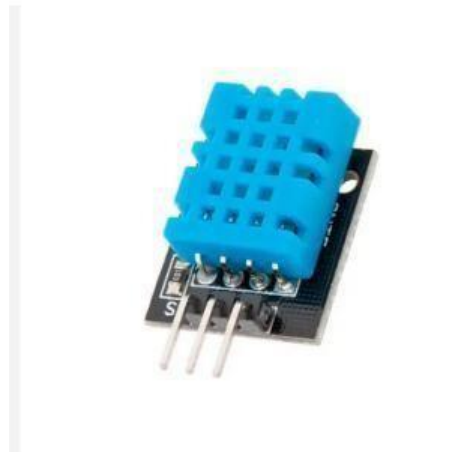


Рис . 2.5. Датчик температури DHT-11

Основні характеристики:

- Тип виходу: цифровий (один сигнальний пін)
- Діапазон температур: від 0°C до +50°C
- Точність вимірювання температури: $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- Діапазон вологості: 20% – 90% RH
- Точність вологості: $\pm 5\% \text{ RH}$
- Живлення: 3.3–5 В
- Розміри: 28.4 x 13.1 мм.

Датчик дощу (Rain Sensor) — це простий електронний модуль, призначений для виявлення наявності вологи або крапель дощу на своїй поверхні. Часто використовується в системах автоматичного захисту, поливу, метеостанціях та проєктах на базі Arduino[16].



Рис.2.6. Датчик дощу

Основні характеристики:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		32

Склад: сенсорна пластина (металева або друкована плата) + модуль порівняння сигналу (на базі компаратора);

Тип

виходу:

- Аналоговий (АО): пропорційний рівню вологості
- Цифровий (DO): сигнал HIGH або LOW залежно від встановленого порогу;

Розміри: компактні, з отворами для кріплення;

- Датчик рівня води – контролює наявність води у резервуарі.
- Механізм поливу:
- Електромагнітні клапани – відкривають/закривають подачу води;
- Помпа (насос) – використовується для подачі води з резервуара;
- Система крапельного або розбризкуючого поливу;

Живлення:

- Акумулятор, батарейки, сонячні панелі або електромережа;
- Інтерфейс керування (опційно);
- Датчик рівня води підключається до мікроконтролера таким чином: VCC до живлення 3.0–5.0V, GND до землі джерела живлення, AOUT до аналогового входу мікроконтролера[17].

Принцип роботи датчика досить простий. Контакти живлення та сенсорні доріжки утворюють змінний резистор, опір якого змінюється залежно від рівня занурення у воду. Чим більше датчик занурений у воду, тим краща провідність і менший опір. Чим менше датчик контактує з водою, тим гірша провідність і більший опір. На основі цього датчик формує вихідну напругу, пропорційну опору, що дозволяє визначити рівень води[17].

Для підключення до Arduino контакт VCC з'єднується з 5V, контакт GND із землею, а сигнальний контакт S (Signal) з аналоговим входом A0. Через постійний контакт з вологою датчик має обмежений термін служби, а безперервна подача живлення пришвидшує корозію. Тому рекомендується подавати живлення лише під час зчитування даних, підключивши контакт VCC до цифрового піну D7 та керуючи його станом HIGH/LOW.

2.2.3.Релейний модуль

Модуль одноканального реле є важливим елементом систем на базі мікроконтролера Arduino, оскільки забезпечує безпечне керування електричними пристроями, що працюють від вищої напруги або споживають значний струм. Даний модуль використовується як електромеханічний комутатор, який дозволяє за допомогою низьковольтного сигналу від мікроконтролера керувати навантаженнями, що значно перевищують допустимі параметри виходів Arduino.

Принцип роботи полягає в тому, що при подачі керуючого сигналу напругою 5 В від мікроконтролера спрацьовує електромагнітна котушка реле, яка переміщує контакти та замикає або розмикає електричне коло навантаження. Завдяки цьому можна керувати різноманітними електроприладами, такими як насоси, системи освітлення, нагрівальні елементи та інше обладнання, що працює від мережі змінного або постійного струму.



Рис.2.7 Модуль реле 1-канальний

Однією з головних переваг є електрична ізоляція між мікроконтролером і силовою частиною схеми.

Це дозволяє захистити Arduino від перевантажень, коротких замикань та впливу високої напруги. Використання реле значно підвищує надійність і безпечність роботи автоматизованої системи, особливо під час керування потужними споживачами електроенергії[18].

У розробленій системі релейний модуль використовується для керування водяним насосом. Коли датчики фіксують недостатній рівень вологості ґрунту, мікроконтролер формує сигнал на вхід реле, після чого його контакти замикаються

та подають живлення на насос. Після досягнення необхідного рівня вологості керуючий сигнал зникає, реле повертається у вихідний стан і вимикає насос. Такий підхід забезпечує автоматизацію процесу поливу без участі користувача. Для зручності контролю роботи модуль оснащений світлодіодною індикацією, яка сигналізує про наявність живлення та стан реле. Це дозволяє швидко визначити, чи отримує модуль керуючий сигнал від мікроконтролера та чи перебуває реле в активному стані [18].

Основні технічні характеристики одноканального релейного модуля:

- напруга живлення – 5 В постійного струму;
- кількість каналів – 1;
- максимальний комутований струм – до 10 А;
- допустима напруга навантаження – до 250 В змінного струму або до 30 В постійного струму;
- рівень керуючого сигналу – 3,3 В або 5 В;
- наявність світлодіодної індикації стану роботи.

2.2.4 Насос постійного струму

Для системи автоматичного поливу в розробленому пристрої використовується мініатюрний водяний насос Рис.2.8 постійного струму з робочою напругою 3–6 В. Даний насос призначений для перекачування невеликих об’ємів води та широко застосовується в навчальних проєктах на базі Arduino, системах автоматичного поливу кімнатних рослин, декоративних фонтанах і малогабаритних системах циркуляції рідини.



Рис.2.8 Насос постійного струму

Конструкція насоса складається з електродвигуна постійного струму та робочого колеса (крильчатки), яке обертається під дією двигуна. Під час роботи крильчатка створює перепад тиску, завдяки чому вода надходить через вхідний отвір і виштовхується через вихідний патрубок.

Насос характеризується компактними розмірами, невеликою масою та низьким енергоспоживанням, що робить його зручним для використання в автономних системах[19].

У розробленій системі автоматичного поливу насос виконує функцію подачі води до рослини. Після отримання сигналу від датчика вологості ґрунту мікроконтролер Arduino аналізує поточний стан ґрунту. Якщо рівень вологості є нижчим за встановлене значення, мікроконтролер через релейний модуль подає живлення на насос. Вода починає надходити з резервуара до рослини через систему трубок. Після досягнення необхідного рівня вологості насос автоматично вимикається, що дозволяє економно використовувати воду та електроенергію.

Використання насоса постійного струму напругою 3–6 В має низку переваг. Насамперед це безпечна робота при низькій напрузі, що виключає ризик ураження електричним струмом під час експлуатації. Крім того, насос має низький рівень шуму, простий у підключенні та не потребує складного обслуговування. Завдяки невеликому споживанню струму він може працювати від автономних джерел

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			36

живлення, що особливо важливо для компактних систем автоматизації [19]. Основними технічними характеристиками мініатюрного водяного насоса є:

- робоча напруга живлення – 3–6 В;
- тип двигуна – двигун постійного струму;
- споживаний струм – до 220 мА;
- продуктивність – до 120 л/год;
- висота підйому води – до 1 м;
- компактні габаритні розміри;

2.2.5 LCD-дисплей 16×2 з інтерфейсом I2C

Для візуального відображення інформації в розробленій системі автоматичного поливу використовується рідкокристалічний дисплей LCD 1602 з інтерфейсом I2C. Застосування дисплея дозволяє користувачеві в режимі реального часу контролювати основні параметри роботи системи без необхідності підключення до комп'ютера або використання додаткових засобів моніторингу.

LCD 1602 є одним із найбільш поширених символьних дисплеїв, що використовуються в мікроконтролерних системах на базі Arduino. Дисплей здатний відображати два рядки по шістнадцять символів у кожному, що забезпечує достатній обсяг інформації для контролю стану автоматизованої системи. На екран можуть виводитися текстові повідомлення, числові значення, службова інформація та результати вимірювань, отримані від підключених датчиків. Для обміну даними між мікроконтролером і дисплеєм використовується інтерфейс I2C. Даний інтерфейс являє собою послідовну шину передачі даних, яка забезпечує зв'язок між електронними пристроями за допомогою лише двох сигнальних ліній: лінії даних SDA та лінії синхронізації. Використання інтерфейсу I2C дозволяє значно скоротити кількість виводів мікроконтролера, необхідних для підключення дисплея. Це особливо важливо під час розробки компактних систем, де кількість доступних контактів є обмеженою.



Рис.2.9 Рідкокристалічний дисплей LCD 1602

Однією з головних переваг використання є простота підключення та програмування. Для роботи дисплея достатньо підключити живлення та дві сигнальні лінії до плати Arduino. Завдяки цьому спрощується монтаж пристрою та зменшується кількість з'єднувальних проводів, що підвищує надійність роботи всієї системи[20].

На екран можуть виводитися значення вологості ґрунту, рівень води в резервуарі, повідомлення про роботу насоса, а також службові повідомлення про стан системи. Це дозволяє оперативно отримувати інформацію про функціонування пристрою та контролювати процес поливу рослин.

Наявність вбудованого підсвічування забезпечує комфортне зчитування інформації незалежно від рівня освітлення навколишнього середовища. Завдяки високій контрастності символів відображені дані добре помітні навіть на значній відстані. Це підвищує зручність експлуатації системи та спрощує контроль за її роботою [20].

2.3 Аналіз недоліків та обмежень системи

Незважаючи на численні переваги та широке розповсюдження, системи автоматичного поливу не позбавлені певних недоліків. Одним з найбільш суттєвих

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			38

є залежність від електропостачання. У випадках, коли живлення переривається (наприклад, під час відключення електроенергії або несправності акумулятора), система стає повністю або частково недієздатною, що особливо критично в періоди тривалої посухи.

Ще одним слабким місцем є необхідність регулярного обслуговування. Хоча система і є "автоматичною", це не означає, що вона працює без втручання людини. З часом можуть засмічуватись трубки, ламатися клапани, виходити з ладу датчики. Наприклад, дешеві сенсори вологості ґрунту можуть вийти з ладу після кількох тижнів роботи через вплив вологи та сольових відкладень у ґрунті.

Без регулярного очищення або калібрування ці сенсори можуть передавати недостовірні дані, що, в свою чергу, призводить до неправильного поливу.

Також варто згадати фінансову сторону питання. Базові системи, зроблені своїми руками (на базі Arduino або ESP), коштують недорого, але вимагають технічних знань. А готові комерційні рішення, які не потребують зборки, часто мають високу ціну. Це може бути перешкодою для деяких користувачів, особливо якщо мова йде про великі ділянки або теплиці. Не менш важливою проблемою є обмежена адаптивність до різних типів рослин. Наприклад, одна система може підходити для помідорів, але бути неефективною для кактусів або орхідей, які мають абсолютно різні вимоги до поливу. У цьому випадку потрібне детальне налаштування кожної зони поливу, що підвищує складність системи.

І, нарешті, не всі автоматичні системи є достатньо "розумними", щоб реагувати на зміну погоди. Деякі не враховують реальний дощ або прогноз погоди і можуть почати полив навіть під час зливи. Це не лише даремне використання води, а й можливість пошкодження рослин через перезволоження.

2.4. Принцип роботи

Принцип роботи ґрунтується на поєднанні сенсорів, електроніки та виконавчих механізмів, які діють за визначеним алгоритмом. На рис.2.10

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			39

представлена блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи поливу рослин.

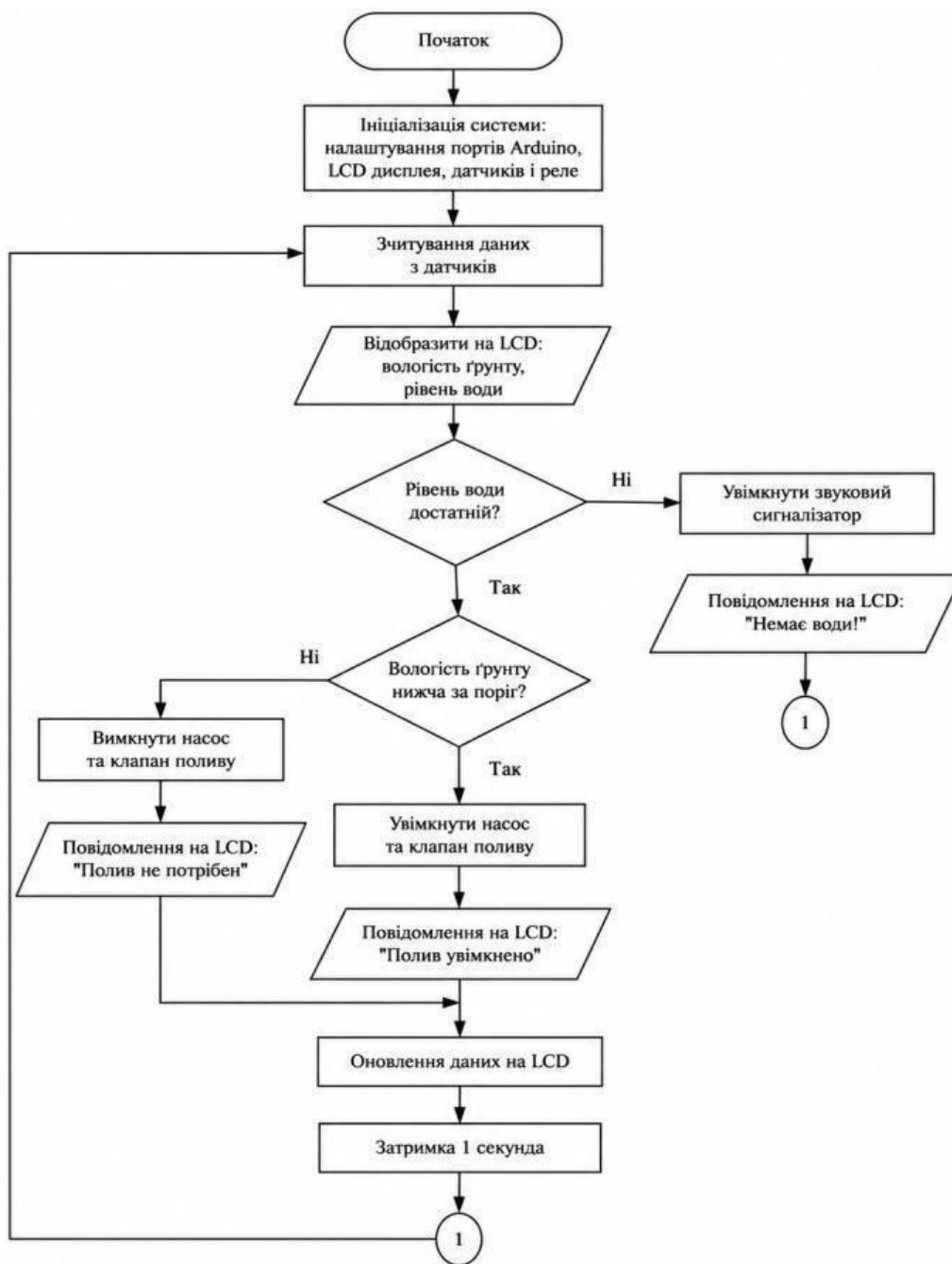


Рис.2.10 Блок-схема алгоритму автоматизованої системи поливу рослин

Основна ідея полягає в тому, що система має визначити, чи потребують рослини води, і, якщо так — здійснити полив у потрібному обсязі та у потрібний час.

Розглянемо типовий сценарій роботи такої системи. У ґрунт вставляється спеціальний датчик вологості, який постійно фіксує поточний рівень вологості. Його показники надходять до контролера (наприклад, Arduino). У контролері закладено певний поріг — умовно кажучи, якщо вологість опускається нижче 30%, потрібно почати полив. Контролер аналізує отримані значення та приймає рішення.

Якщо система вирішує, що полив потрібен, вона надсилає сигнал до електромагнітного клапана або водяної помпи, які відкривають подачу води з резервуару або централізованого водопостачання. Після закінчення поливу, який може тривати за таймером або досягнення певного рівня вологості, клапан закривається, і система повертається в режим очікування.

У деяких системах є також датчики дощу, які дозволяють уникнути поливу під час опадів, або датчики температури, які не дозволяють поливати рослини в години надмірної спеки, щоб уникнути термічного стресу.

2.5 Розробка віртуальної системи автополиву

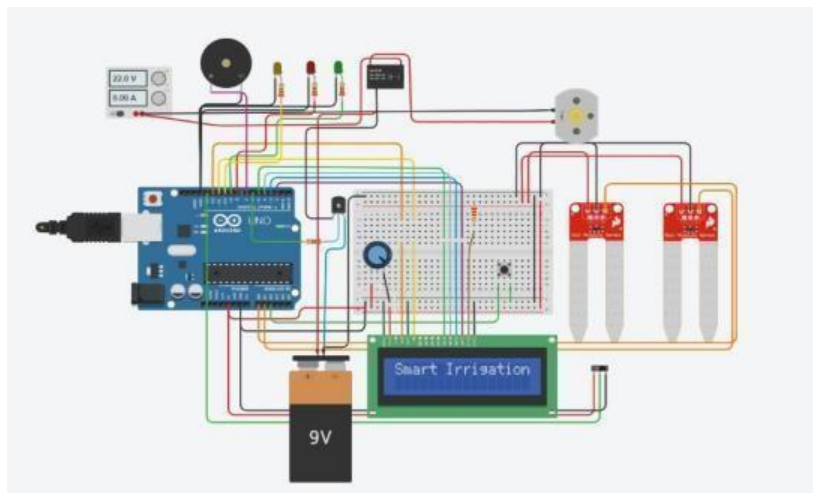


Рис. 2.10. Початкова стадія роботи системи автоматичного поливу

На цьому скріншоті зображена початкова стадія роботи системи автоматичного поливу: На екрані відображається текст «Smart Irrigation», який є початковим повідомленням системи.

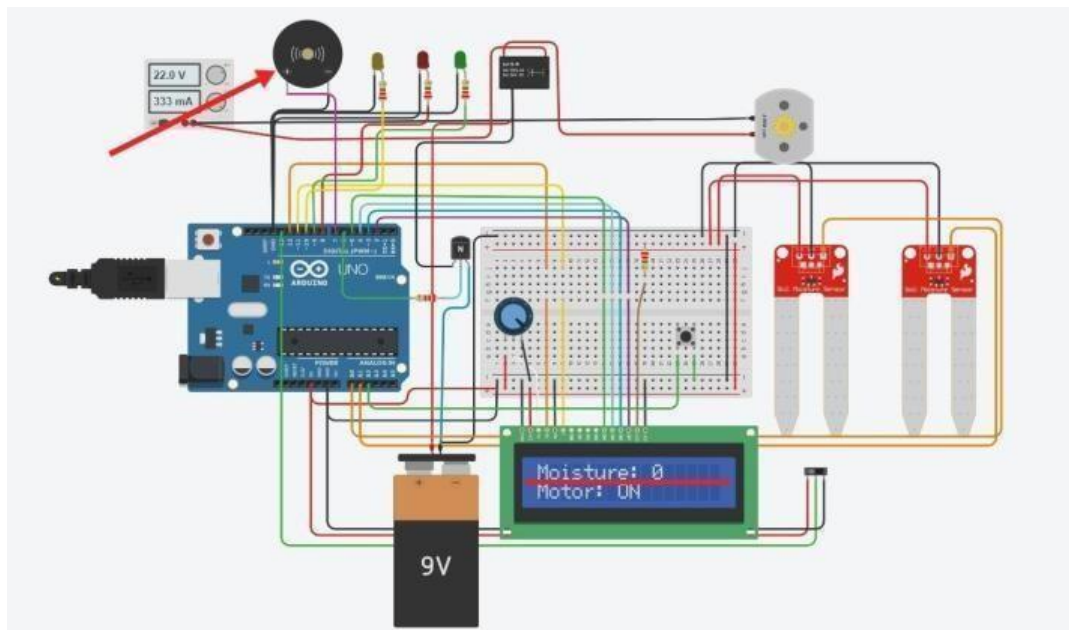


Рис. 2.11. Схема при критичному рівні вологості ґрунту

Даний скріншот демонструє роботу системи автоматичного поливу при критично низькому рівні вологості ґрунту. На дисплеї показано значення вологості Moisture: 0, яке зчитується з датчика вологості, та стан насоса Motor: ON, що увімкнений для подачі води. Окрім цього, система активує зумер (звуковий сигнал), що служить попередженням про критичну ситуацію. Також зумер може спрацьовувати при таких умовах:

Насос увімкнений, але води немає в резервуарі;

Насос працює занадто довго, перевищивши заданий таймаут;

У моїй схемі світлодіоди червоний, жовтий і зелений використовуються для індикації рівня вологості ґрунту. Вони спрацьовують залежно від значення вологості, яке вимірюється датчиком вологості

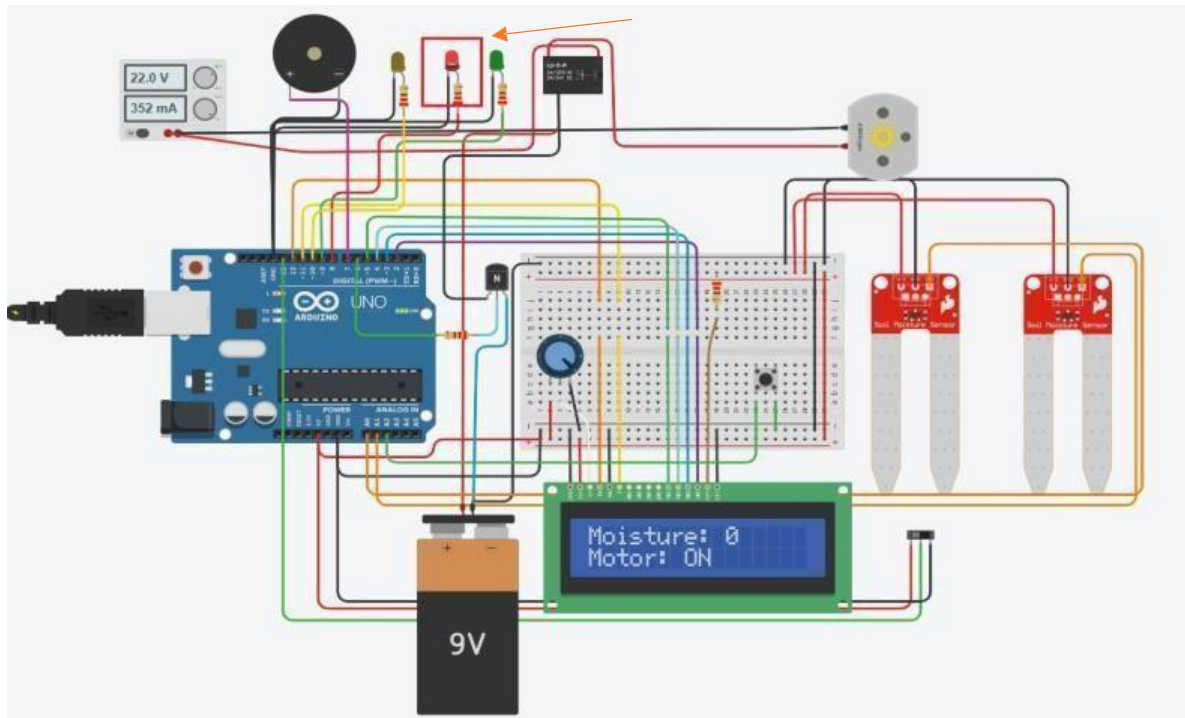


Рис.2.12. На схемі спрацьовує червоний світлодіод

Червоний світлодіод активується при критично низькому рівні вологості, коли показник вологості менший за половину порогового значення ($\text{threshold}/2$).

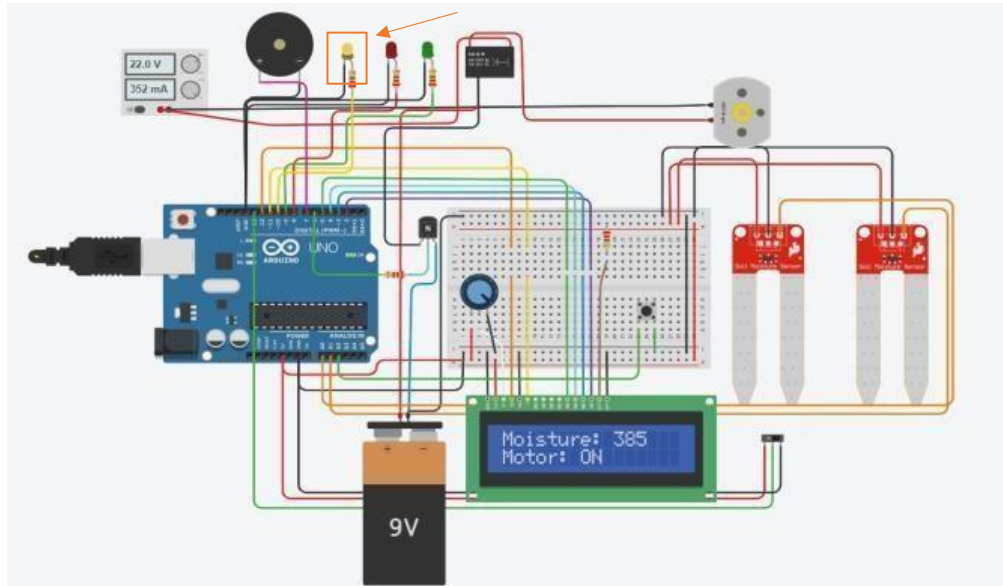


Рис.2.13. На схемі спрацьовує жовтий світлодіод

Жовтий світлодіод активується при середньому рівні вологості, коли показник вологості знаходиться між половиною порогового значення ($\text{threshold}/2$) і самим порогом (threshold).

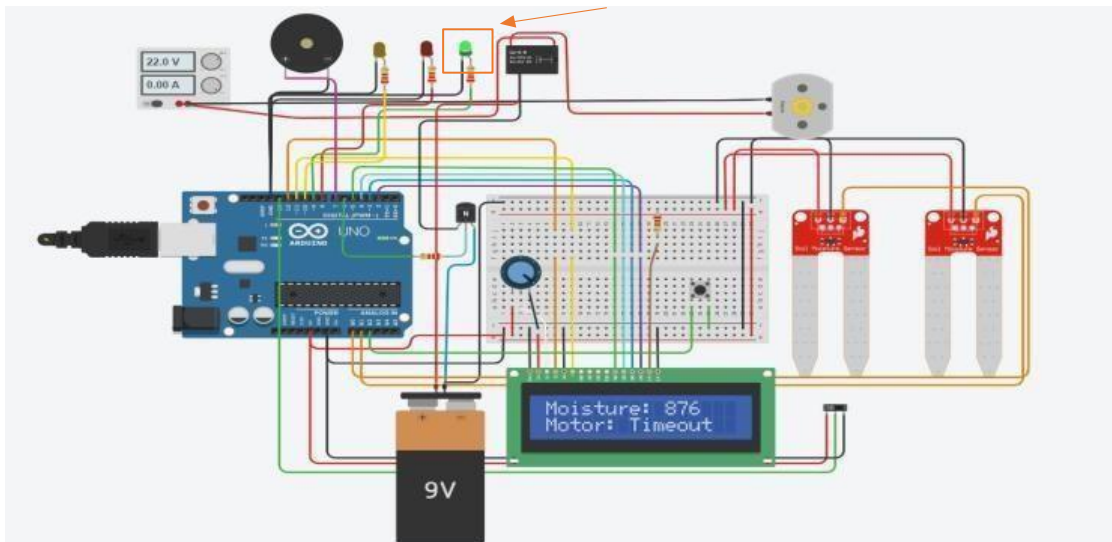


Рис.2.14. На схемі спрацьовує зелений світлодіод

Зелений світлодіод активується при достатньому рівні вологості, коли показник вологості дорівнює або перевищує порогове значення (threshold).

Також, в мене є ручний режим у системі, який означає, що користувач може самостійно керувати насосом, незалежно від автоматичних показників вологості ґрунту або стану датчика води. У цьому режимі всі автоматичні функції вимикаються, і насос працює тільки за вказівкою користувача через кнопку.

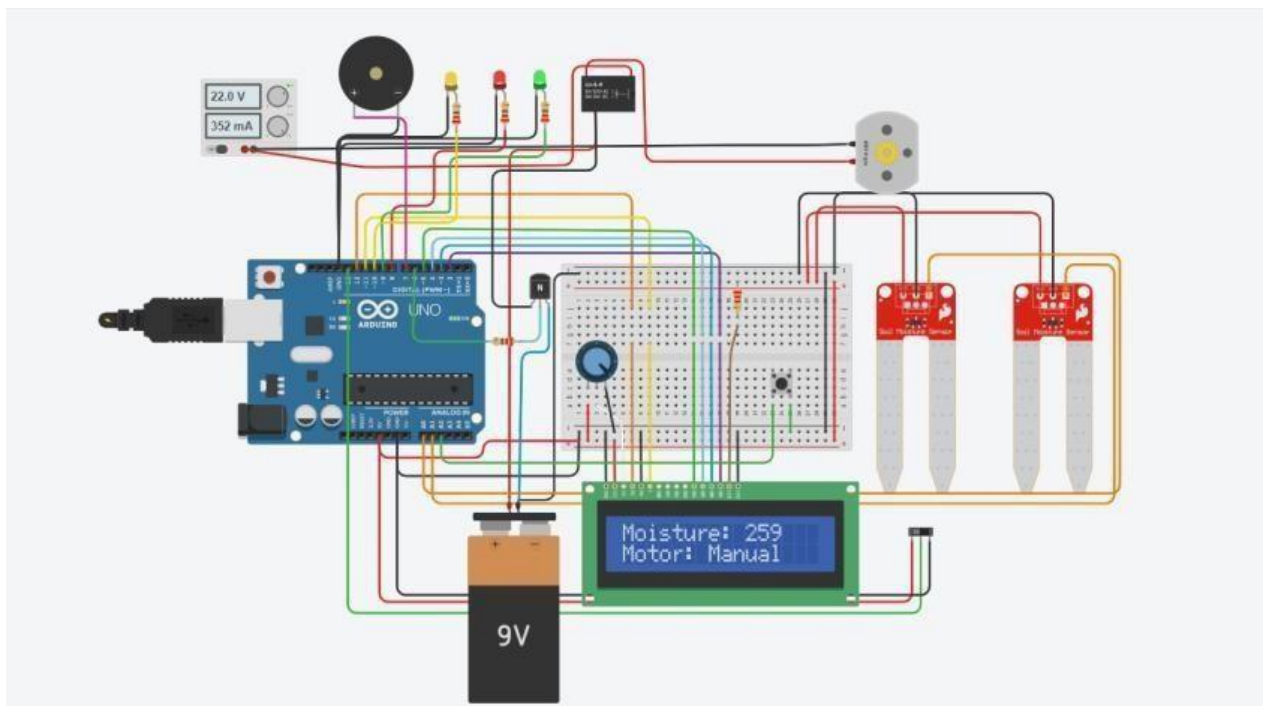


Рис.2.15. На схемі активований ручний режим та насос перебуває в стані очікування

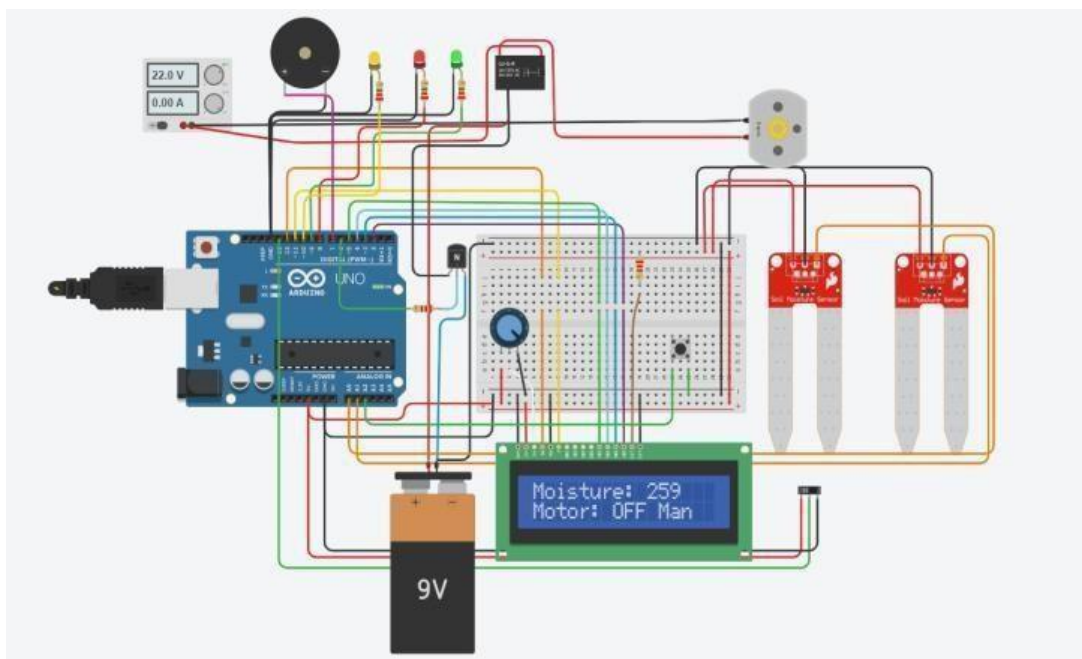


Рис.2.16. На схемі активований ручний режим та насос насос вимкнений вручну

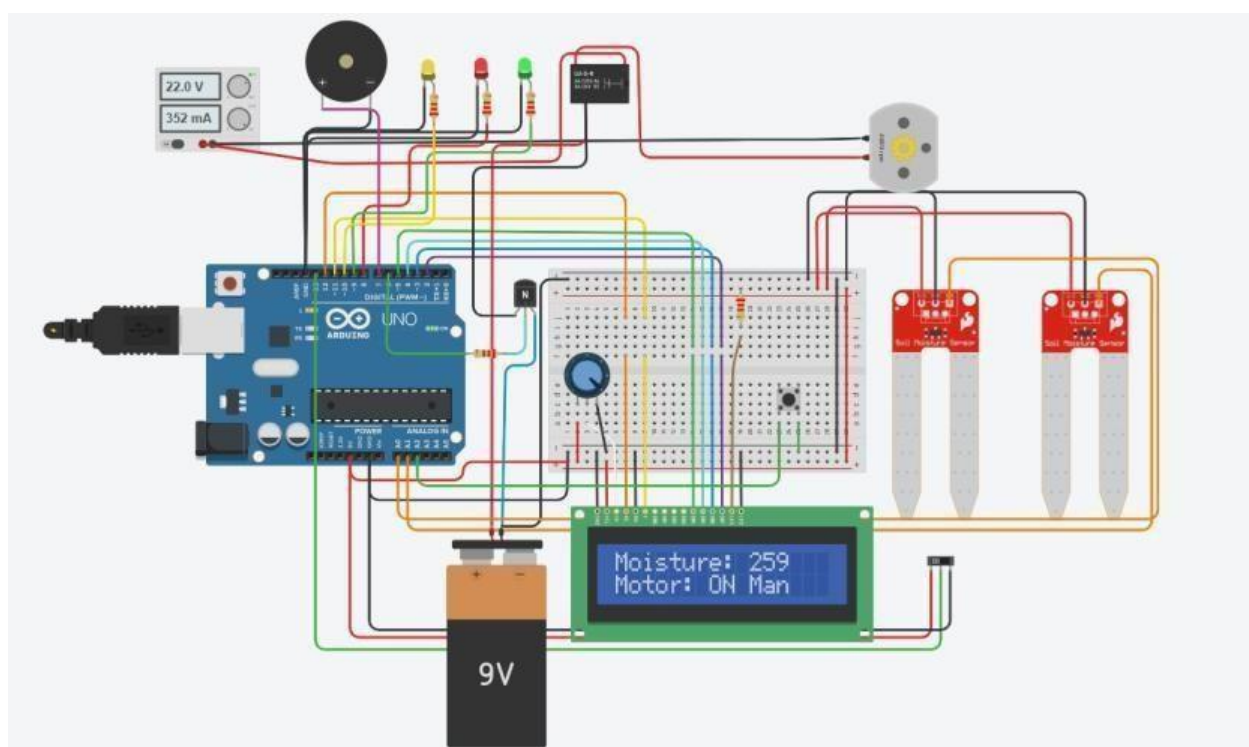


Рис.2.17. На схемі активований ручний режим та насос насос увімкнений вручну

Цей режим дозволить повністю контролювати роботу насоса, незалежно від датчиків. Він гарантуватиме, що полив завжди можна виконати вручну, навіть у випадку непередбачених обставин.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		45

Також в моїй роботі я використовую ползунковий перемикач, підключений до 13-го піну. Перемикач імітує поведінку датчика, який в реальній системі визначає наявність або відсутність води. Це дозволяє протестувати систему в умовах, коли резервуар з водою наповнений або порожній.

У результаті виконання програми система автоматичного поливу працює успішно та виконує всі задані мною функції. Основні результати роботи такі, як автоматичний режим де насос вмикається автоматично при низькому рівні вологості ґрунту.

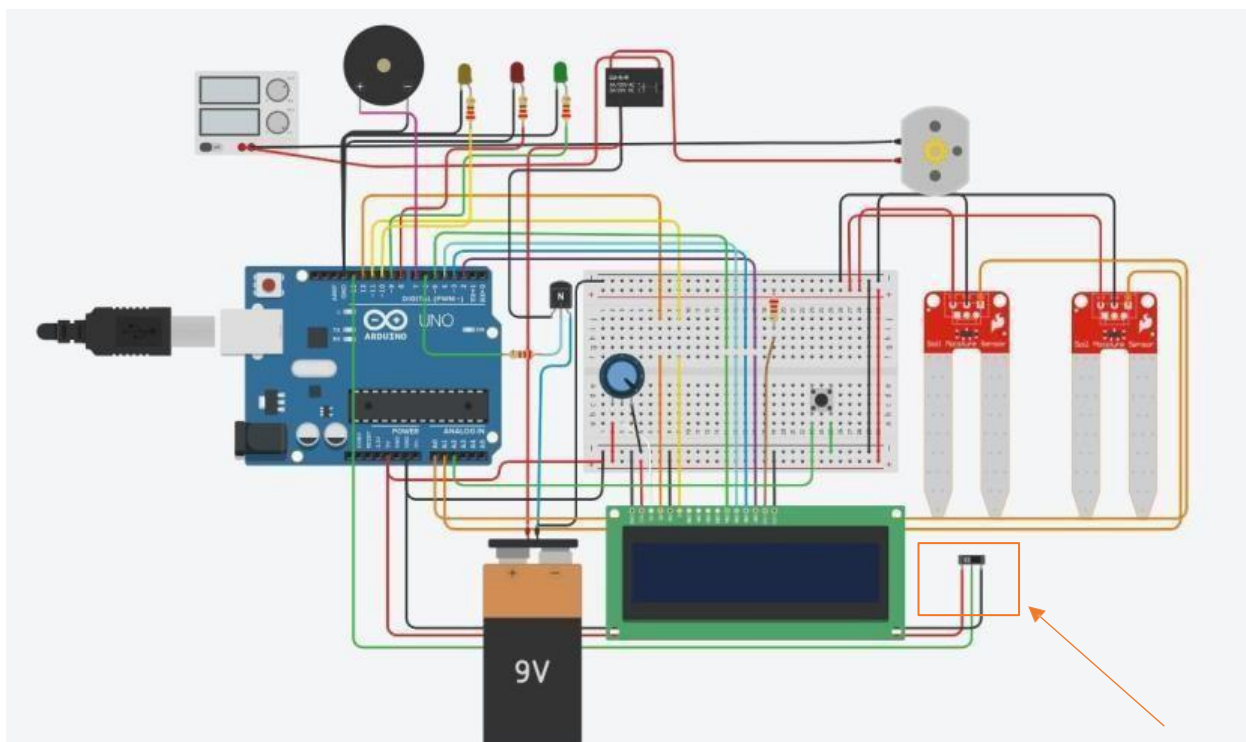


Рис.2.18. Ползунковий перемикач на схемі

Також ручний режим, де перемикання між автоматичним і ручним режимами працює стабільно. У ручному режимі користувач може самостійно вмикати та вимикати насос незалежно від показників датчиків. LCD-дисплей чітко відображає рівень вологості та стан системи. Світлодіоди коректно сигналізують про поточний стан вологості (низька, середня, достатня). Зумер активується у критичних ситуаціях, таких як відсутність води або перевищення часу роботи насоса.

Реалізований захист насоса від роботи без води. Система автоматично вимикає насос після закінчення заданого часу роботи (таймаут). Програма

стабільно працює в симуляційному середовищі Tinkercad і виконує всі поставлені завдання.

2.6. Розробка електричної схеми системи

На рисунку 2.19 представлено електричну схему автоматизованої системи поливу рослин :

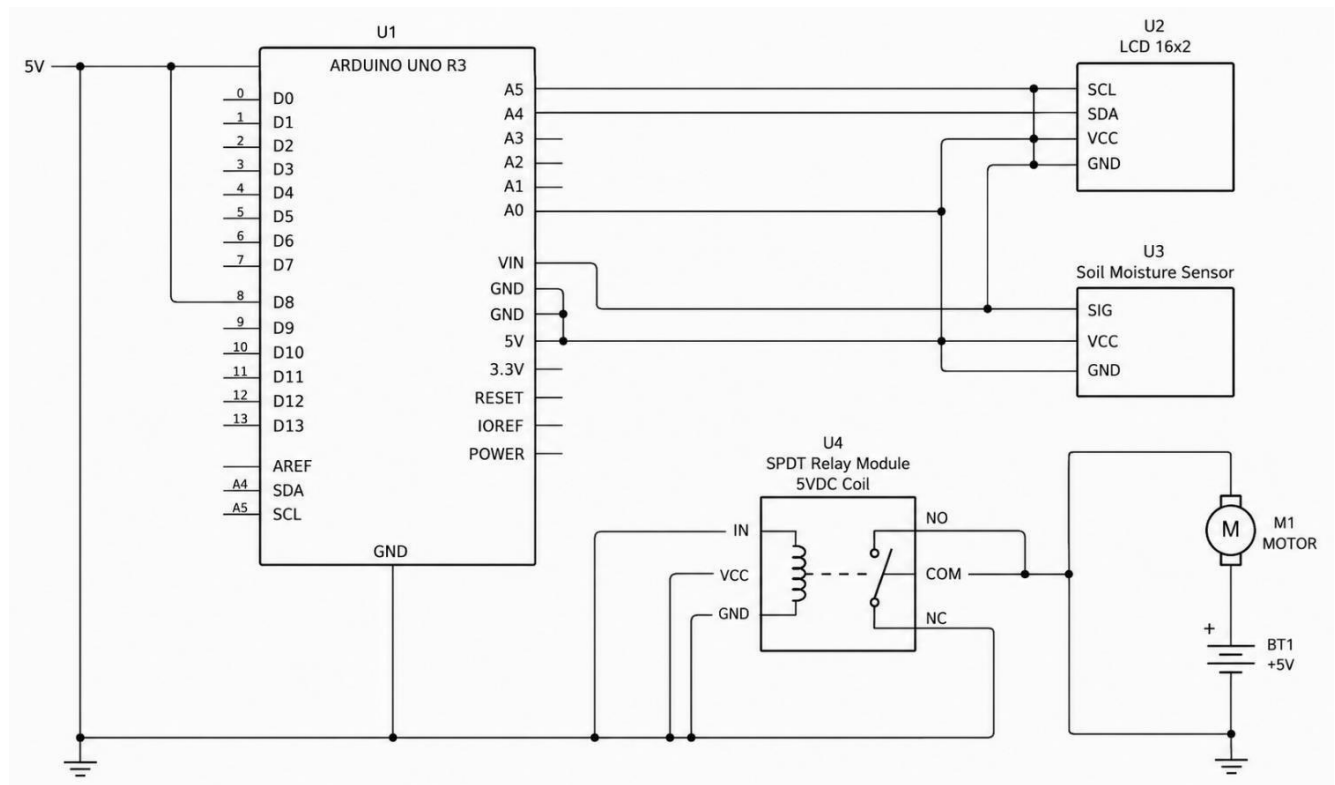


Рис.2.19 Електрична принципова схема пристрою

Схема побудована за модульним принципом і складається з підсистеми керування, підсистеми збору даних, підсистеми індикації та виконавчого механізму. Основою схеми є мікроконтролерна плата Arduino Uno, яка виконує роль центрального керуючого пристрою. До мікроконтролера підключені всі периферійні елементи системи, що дозволяє організувати обмін даними між окремими вузлами та реалізувати алгоритм автоматичного поливу. Для контролю стану ґрунту використовується датчик вологості, який формує аналоговий сигнал, пропорційний рівню вологості.

Отримані значення надходять до аналогового входу мікроконтролера, де перетворюються в цифровий формат для подальшої обробки. Використання аналогового режиму роботи датчика дозволяє підвищити точність вимірювання та забезпечити більш стабільну роботу системи.

Відображення інформації про поточний стан здійснюється за допомогою LCD-дисплея. Для підключення дисплея використано інтерфейс I2C, що дало можливість скоротити кількість необхідних з'єднань між елементами системи. На дисплей виводиться інформація про стан вологості ґрунту та режим роботи виконавчого механізму. Оскільки насос споживає значно більший струм, ніж можуть забезпечити вихідні лінії мікроконтролера, між Arduino та насосом встановлено релейний модуль.

Такий підхід дозволяє електрично розділити коло керування та силове коло навантаження, підвищуючи надійність і безпечність роботи системи. Живлення виконавчого механізму здійснюється від окремого джерела постійної напруги. Це дозволяє уникнути перевантаження плати Arduino та забезпечує стабільну роботу насоса під час тривалих циклів поливу. Релейний модуль виконує функцію комутації зовнішнього джерела живлення, вмикаючи або вимикаючи насос відповідно до команд, сформованих мікроконтролером.

2.7. Розробка реальної моделі системи автоматичного поливу

Під час розробки реальної моделі було прийнято рішення спростити структуру системи порівняно з віртуальною моделлю. Це пов'язано з тим, що окремі компоненти, які використовувалися на етапі моделювання, не є критично необхідними для реалізації основної функції автоматичного поливу. Крім того, зменшення кількості елементів дозволило спростити монтаж, підвищити надійність роботи пристрою та знизити загальну вартість системи.

У віртуальній моделі передбачалося використання додаткових елементів індикації та керування, зокрема кнопок керування, звукового сигналізатора та датчика рівня води. Кнопки могли використовуватися для ручного запуску або

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			48

зупинки процесу поливу, а також для налаштування параметрів роботи системи. Звуковий асигналізатор забезпечував подачу звукових повідомлень у разі виникнення певних подій або аварійних ситуацій. Датчик рівня води дозволяв контролювати кількість води в резервуарі та запобігати роботі насоса за відсутності води. Однак під час розробки реального прототипу було встановлено, що для демонстрації принципу автоматичного поливу та виконання поставлених завдань достатньо використання лише основних функціональних елементів. У результаті остаточно конструкція системи була реалізована на основі мікроконтролера Arduino Uno, датчика вологості ґрунту, релейного модуля, насоса та LCD-дисплея з інтерфейсом I2C.

Основним елементом системи є мікроконтролер Arduino Uno, який забезпечує виконання програмного алгоритму та координацію роботи всіх підключених пристроїв. Для отримання інформації про стан ґрунту використовується датчик вологості, що здійснює постійний контроль рівня вологості та передає отримані дані до мікроконтролера. На основі цих даних система приймає рішення щодо необхідності запуску процесу поливу. Виконавчим пристроєм системи є насос постійного струму, який забезпечує подачу води до рослини. Оскільки насос споживає відносно великий струм, його підключення до мікроконтролера здійснюється через релейний модуль.

Для підвищення зручності експлуатації системи використовується LCD-дисплей 16×2, на якому відображається поточний стан вологості ґрунту та режим роботи системи. Завдяки цьому користувач може в режимі реального часу контролювати роботу пристрою та спостерігати за процесом автоматичного поливу. Монтаж системи виконувався на макетній платі з використанням з'єднувальних провідників.

Такий спосіб реалізації дозволив швидко виконати складання пристрою, здійснити перевірку правильності підключень та за необхідності вносити зміни до конструкції без виготовлення друкованої плати. Після завершення монтажу було проведено перевірку працездатності кожного окремого вузла та системи в цілому. У процесі тестування було підтверджено коректну роботу всіх основних функцій.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			49

Датчик вологості своєчасно реагував на зміну стану ґрунту, мікроконтролер коректно обробляв отримані дані, а релейний модуль забезпечував вмикання та вимикання насоса відповідно до заданого алгоритму. Інформація про поточний стан системи успішно відображалася на LCD-дисплеї.

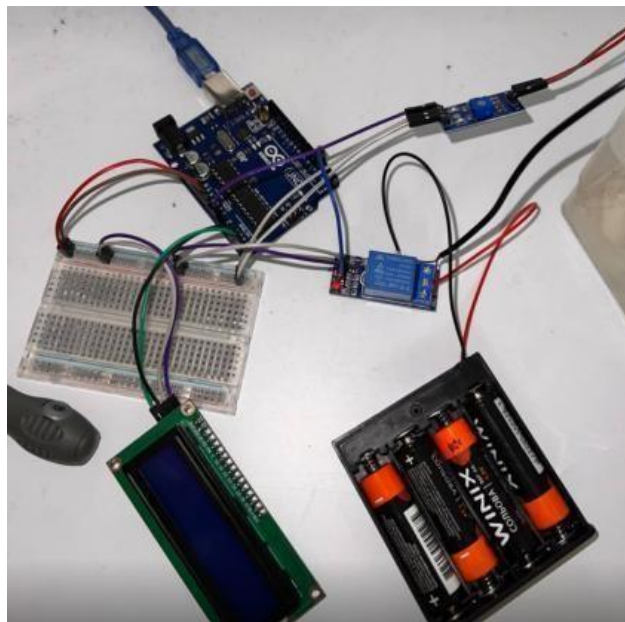


Рис.2.20 Зібрана до використання система автополиву

Незважаючи на спрощення конструкції порівняно з віртуальною моделлю, створений прототип повністю виконує поставлені функції та може бути використаний як основа для подальшого вдосконалення системи.

2.8 Розробка програмного забезпечення

Для реалізації алгоритму автоматичного поливу було розроблено програмне забезпечення в середовищі Arduino IDE із використанням мови програмування C++. Програма забезпечує безперервний контроль вологості ґрунту, аналіз отриманих даних та автоматичне керування насосом залежно від поточного стану ґрунту.

Для роботи системи використовуються бібліотеки «Wire.h» та «LiquidCrystal_I2C.h». Бібліотека Wire.h забезпечує обмін даними через інтерфейс

I2C, а бібліотека *LiquidCrystal_I2C.h* використовується для керування рідкокристалічним дисплеєм та відображення інформації про роботу системи.

На початку програми створюється об'єкт дисплея із зазначенням адреси I2C-пристрою та розміру екрана 16×2 символи. Також оголошується змінна *moisture*, призначена для зберігання поточного значення вологості ґрунту. Для визначення моменту запуску поливу використовується константа *DRY_LEVEL*, яка задає порогове значення вологості. Якщо показник датчика перевищує встановлений поріг, система вважає ґрунт сухим та запускає процес поливу.

У функції *setup()* виконується початкове налаштування системи. Цифровий вивід D3 конфігурується як вихід для керування релейним модулем. Після запуску системи насос переводиться у вимкнений стан, що запобігає його випадковому вмиканню під час ініціалізації обладнання.

Після ініціалізації дисплея на екрані відображається стартове повідомлення «*Smart Irrigation*», яке інформує користувача про запуск системи. Через дві секунди екран очищується та система переходить до основного режиму роботи.

Основна логіка функціонування реалізована у функції *loop()*, яка безперервно виконується після завершення етапу ініціалізації. На початку кожного циклу виконується зчитування аналогового сигналу з датчика вологості ґрунту, підключеного до входу A0. Отримане значення зберігається у змінній «*moisture*» та одночасно передається до монітора послідовного порту для контролю та налаштування роботи системи. Поточне значення вологості також відображається на LCD-дисплеї, що дозволяє користувачу в реальному часі спостерігати за станом ґрунту. Після цього програма порівнює отримане значення з установленим порогом «*DRY_LEVEL*».

Якщо значення вологості перевищує встановлений поріг, система визначає стан ґрунту як сухий (DRY). В цьому випадку на дисплеї відображається відповідне повідомлення, після чого формується сигнал на релейний модуль для ввімкнення насоса. Насос працює протягом 2,5 секунди, забезпечуючи подачу води до рослини.

Після завершення циклу поливу насос вимикається, а на дисплеї відображається повідомлення про очікування. Далі програма витримує паузу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			51

тривалістю 5,8 секунди. Дана затримка необхідна для того, щоб вода встигла проникнути в ґрунт та рівномірно розподілитися в зоні розташування датчика вологості. Після завершення паузи виконується повторне вимірювання вологості, і система приймає нове рішення щодо необхідності подальшого поливу. Якщо значення вологості менше або дорівнює встановленому порогу, система визначає стан ґрунту як вологий (WET). У цьому випадку насос залишається вимкненим, а на дисплеї відображається повідомлення про достатній рівень вологості. Після короткої затримки програма повторно виконує вимірювання, забезпечуючи постійний моніторинг стану ґрунту.

Розроблене програмне забезпечення реалізує простий та ефективний алгоритм автоматичного поливу, який дозволяє підтримувати необхідний рівень вологості ґрунту, запобігати надмірному зволоженню та раціонально використовувати водні ресурси.

```

1  #include <Wire.h>
2  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3
4  LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
5
6  int moisture;
7
8  const int DRY_LEVEL = 600;
9
10 void setup() {
11
12     pinMode(3, OUTPUT);
13
14     digitalWrite(3, HIGH);
15
16     Serial.begin(9600);
17
18     lcd.init();
19     lcd.backlight();
20
21     lcd.setCursor(0, 0);
22     lcd.print("SmartIrrigation");
23     delay(2000);
24     lcd.clear();
25 }
26
27 void loop() {
28
29     moisture = analogRead(A0);
30
31     Serial.print("Moisture: ");
32     Serial.println(moisture);
33
34     lcd.setCursor(0, 0);
35     lcd.print("Value:");
36     lcd.print(moisture);

```

Рис 2.20. Програмний код системи автополиву

```

37 lcd.print(" ");
38
39 if (moisture > DRY_LEVEL) {
40
41     lcd.setCursor(0, 1);
42     lcd.print("Condition:DRY ");
43
44     digitalWrite(3, LOW);
45     delay(2500);
46
47     digitalWrite(3, HIGH);
48     lcd.setCursor(0, 1);
49     lcd.print("Pump: WAIT ");
50
51     delay(5800);
52 }
53 else {
54
55     digitalWrite(3, HIGH);
56
57     lcd.setCursor(0, 1);
58     lcd.print("Condition:WET ");
59
60     delay(500);
61 }
62

```

Рис.2.21. Фрагмент коду

2.9 Тестування та результати проробленої роботи

На рисунку 2.22 представлено розроблений макет системи автоматичного контролю вологості під час проведення тестування. До складу макета входять плата Arduino Uno, релейний модуль, датчик вологості, LCD-дисплей 16×2, насос та ємність із водою. З'єднання між елементами виконано за допомогою макетної плати та з'єднувальних провідників.

Під час тестування перевірялася робота системи за різних значень вологості. Поточні показники відображалися на дисплеї у вигляді числового значення та текстового повідомлення про стан середовища. Як видно з рисунка, у момент проведення експерименту на дисплеї відображалось значення «370» та повідомлення «WET», що відповідає достатньому рівню вологості. Також на рисунку можна спостерігати активний стан релейного модуля, про що свідчить світіння світлодіодного індикатора.

Це означає, що система коректно виконала команду керування відповідно до отриманих даних. Для перевірки роботи виконавчого механізму було використано насос, підключений до резервуара з водою через гнучкий шланг. У процесі

випробувань було підтверджено правильність роботи розробленого пристрою. Система стабільно реагувала на зміни показників вологості, своєчасно виконувала керуючі команди та відображала результати вимірювань на дисплеї. Отримані результати свідчать про працездатність створеного макета та можливість його подальшого використання для автоматизації процесів контролю вологості та поливу.

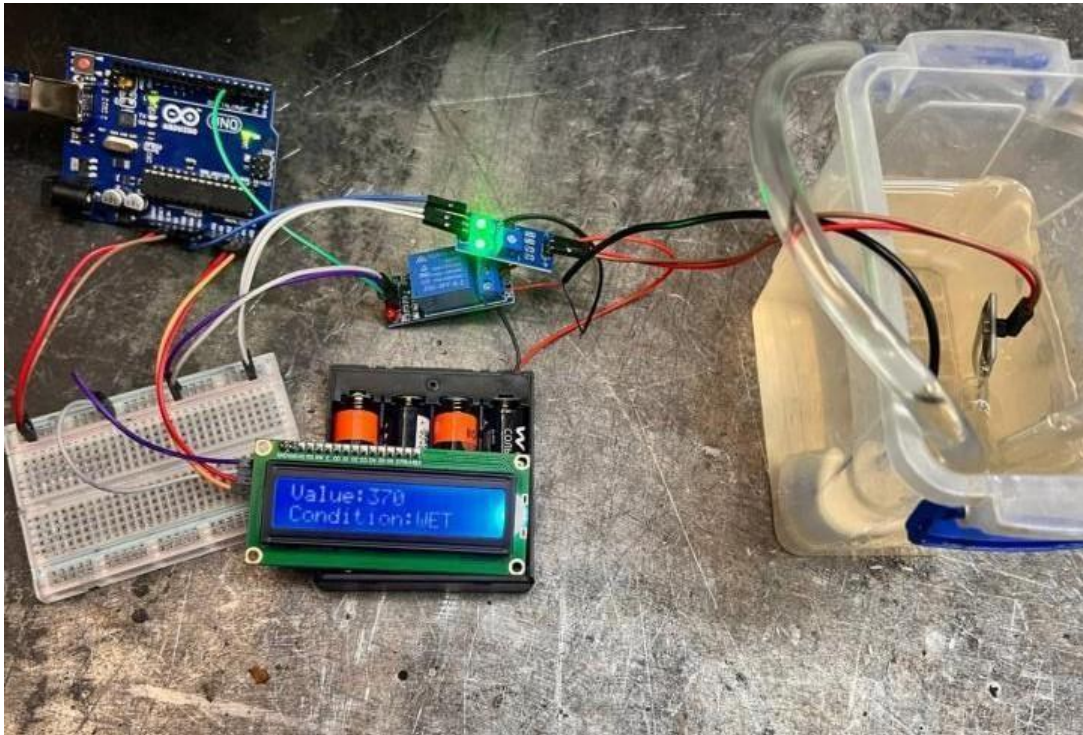


Рис.2.22 Поточний стан датчику при значенні «WET»



Рис.2.23 Датчик повністю занурений у резервуар

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		54

На рис. 2.24 наведено результат тестування системи при зміні контрольованого параметра. На відміну від попереднього експерименту, де на дисплеї відображався стан «WET», у даному випадку система зафіксувала значення «809» та визначила стан середовища як «DRY». Отримане значення перевищує встановлений поріг, тому було сформовано сигнал на активацію виконавчого механізму. Після досягнення порогового значення датчик зафіксував недостатній рівень вологості та передав відповідний сигнал до системи керування.

У результаті було активовано релейний модуль, який здійснив запуск водяного насоса для подальшого зволоження контрольованого середовища. Під час випробувань спостерігалася зміна показників на дисплеї залежно від поточного стану середовища. Відображення повідомлення «Condition: DRY» свідчить про правильне спрацювання алгоритму класифікації отриманих даних. Одночасно із цим активувався релейний модуль, що підтверджується світінням його індикатора.

Отримані результати демонструють роботу системи в іншому режимі порівняно з попереднім тестом.

Якщо при значенні «370» система визначала стан як «WET», то при значенні «809» було зафіксовано стан «DRY». Таким чином було перевірено реакцію системи на зміну вхідних даних та коректність переходу між різними режимами роботи. Проведений експеримент показав, що відображувана на дисплеї інформація відповідає заданим умовам, а зміна стану відбувається відповідно до встановлених порогових значень. Це дозволило перевірити роботу системи як у режимі достатньої вологості, так і в режимі її недостатнього рівня вологості.

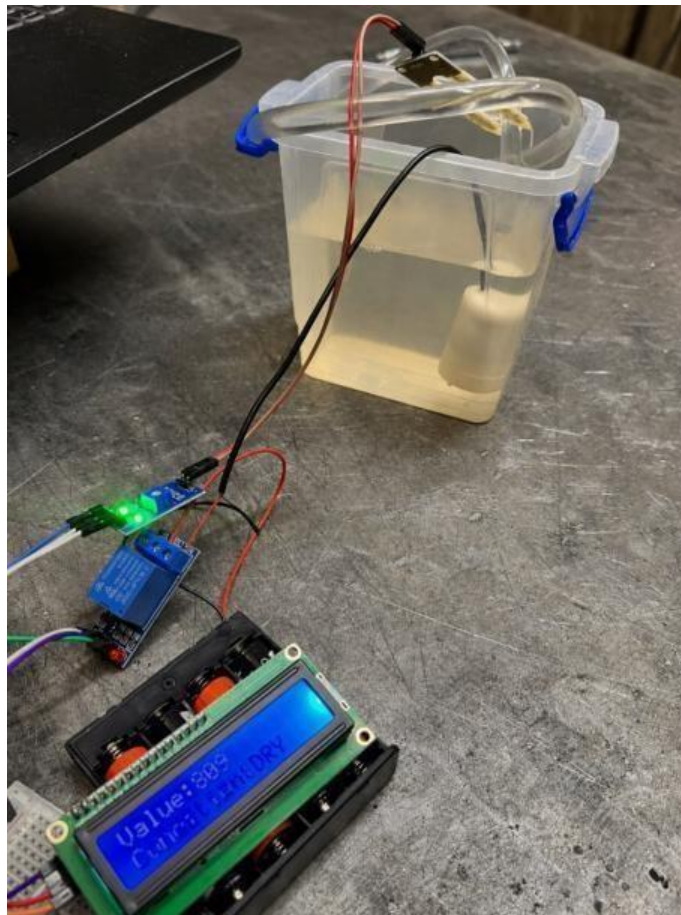


Рис.2.24 Робота системи при виявленні недостатньої вологості



Рис.2.24. Спрацювання датчика подавши команду на полив

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		56

На рис. 2.25 показано роботу розробленої системи в режимі очікування після подачі води. У даному режимі система реалізує функцію затримки повторного поливу, яка необхідна для забезпечення часу на проникнення води до контрольованої зони та стабілізацію показників вологості.



Рис.2.25 Режим затримки повторного поливу після подачі води

Після активації насоса та подачі води датчик ще певний час може фіксувати попередні значення вологості, оскільки волога не миттєво досягає місця встановлення датчика. Для усунення можливих помилкових спрацьовувань у програмному забезпеченні передбачено режим очікування, під час якого тимчасово призупиняється прийняття рішень щодо повторного запуску поливу.

Як видно з рисунка, на дисплеї відображається значення «609» та повідомлення «Pump: WAIT». Дане повідомлення інформує користувача про те, що система перебуває в режимі затримки та очікує оновлення показників вологості після завершення подачі води. У цей період здійснюється контроль стану датчика без виконання додаткових команд на запуск насоса.

Використання такого режиму дозволяє уникнути надлишкового поливу, який може виникати через інерційність процесу зволоження ґрунту. Після завершення встановленого інтервалу затримки система повторно аналізує показники датчика

та приймає рішення щодо подальшої роботи відповідно до поточного рівня вологості.

2.10 Можливості модернізації системи

Розроблена система автоматичного поливу успішно виконує основне завдання – контроль вологості ґрунту та автоматичне керування насосом. Проте сучасні технології дають змогу значно розширити її функціональні можливості та зробити систему більш зручною, надійною та ефективною. Однією з переваг використання платформи Arduino Uno є можливість легкої модернізації без суттєвих змін у вже створеній конструкції.

Одним із найбільш перспективних напрямів удосконалення системи є впровадження бездротового керування. Для цього до системи можна додати модуль Wi-Fi або замінити Arduino Uno на мікроконтролер *ESP8266* чи *ESP32*, який уже має вбудований бездротовий інтерфейс. У такому випадку користувач зможе отримувати інформацію про стан рослин через смартфон або персональний комп'ютер. Крім того, з'явиться можливість дистанційно керувати процесом поливу, переглядати поточні показники вологості та змінювати параметри роботи системи без фізичного доступу до пристрою.



Рис.2.26 Wi-Fi модуль ESP8266 ESP-01

Ще одним напрямом модернізації є створення мобільного застосунку. У сучасному світі більшість людей користується смартфонами, тому можливість

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			58

контролювати роботу системи через мобільний пристрій значно підвищить її зручність. За допомогою спеціального застосунку користувач зможе отримувати повідомлення про низький рівень вологості, запуск або завершення поливу, а також переглядати історію роботи системи. Такий підхід зробить систему більш сучасною та наблизить її до комерційних рішень, що використовуються у розумному будинку.

Важливим удосконаленням може стати встановлення датчика рівня води в резервуарі. У поточній реалізації система контролює лише стан ґрунту та не має можливості визначити наявності води у ємності. Якщо резервуар спорожніє, насос може працювати без води, що призведе до його перегрівання або виходу з ладу. Використання датчика рівня води дозволить своєчасно визначати нестачу води та автоматично блокувати запуск насоса до моменту поповнення резервуара.

Крім того, систему можна доповнити звуковою або світловою індикацією. Наприклад, у разі відсутності води в резервуарі або виникнення несправності може вмикатися звуковий сигналізатор або світлодіодний індикатор. Це дозволить швидше реагувати на можливі проблеми та забезпечить більш надійне функціонування пристрою.

Цікавим напрямом модернізації є використання датчика температури та вологості повітря. У реальних умовах потреба рослин у воді залежить не лише від вологості ґрунту, а й від температури навколишнього середовища. У спекотні літні дні вода випаровується значно швидше, тому полив може знадобитися частіше. Отримуючи додаткову інформацію про температуру повітря, система зможе більш точно визначати необхідність поливу та адаптувати свою роботу до поточних погодних умов.

Ще одним перспективним напрямом є застосування датчика освітленості. Відомо, що інтенсивність випаровування вологи значною мірою залежить від кількості сонячного світла. Якщо система зможе враховувати рівень освітленості, вона буде приймати більш обґрунтовані рішення щодо часу та тривалості поливу. Наприклад, полив можна автоматично переносити на ранкові або вечірні години, коли втрати води через випаровування є мінімальними.

Для підвищення автономності системи можна використовувати сонячні панелі. Такий підхід особливо актуальний для теплиць, присадибних ділянок або місць, де відсутній постійний доступ до електромережі. Сонячна панель разом з акумулятором забезпечуватиме живлення системи протягом усього дня. Використання відновлюваних джерел енергії дозволить зменшити витрати на електроенергію та зробить систему більш екологічною.

Подальший розвиток системи може бути пов'язаний із використанням декількох датчиків вологості одночасно. У поточній реалізації контроль здійснюється лише в одній точці. Проте на практиці вологість ґрунту може суттєво відрізнятися в різних частинах ділянки. Встановлення кількох датчиків дозволить отримувати більш точну інформацію про стан ґрунту та виконувати полив окремих зон незалежно одна від одної. Такий підхід широко використовується в сучасних системах автоматичного зрошення.

Окремої уваги заслуговує можливість створення системи збору статистичних даних. У цьому випадку всі виміряні значення вологості можуть записуватися до пам'яті або передаватися на сервер для подальшого аналізу. Це дозволить відстежувати зміни вологості протягом тривалого часу, оцінювати ефективність поливу та оптимізувати режими роботи системи. Зібрана інформація може бути корисною як для домашнього використання, так і для дослідницьких цілей.

Ще одним напрямом модернізації є використання годинника реального часу (RTC-модуля). Завдяки цьому система зможе виконувати полив не лише на основі показників датчика, а й відповідно до заданого графіка. Наприклад, навіть за однакової вологості ґрунту полив може виконуватися лише в певні години доби. Це особливо корисно для тепличних господарств та систем догляду за рослинами, які потребують суворого дотримання режиму зрошення.



Рис.2.27 Модуль DS1307 годинник реального часу

Отже, розроблена система автоматичного поливу має значний потенціал для подальшого розвитку та вдосконалення. Використання додаткових датчиків, бездротових технологій, альтернативних джерел живлення та засобів віддаленого моніторингу дозволить підвищити функціональність системи, зробити її більш автономною та адаптованою до реальних умов експлуатації. Незважаючи на простоту базової конструкції, вона може слугувати основою для створення більш складних та інтелектуальних систем автоматичного догляду за рослинами.

2.11 Проєктування корпусу системи автоматичного поливу

Для забезпечення зручності експлуатації та захисту електронних компонентів розроблено корпус системи автоматичного контролю вологості. Корпус має прямокутну форму із загальними габаритними розмірами $200 \times 180 \times 60$ мм, що дозволяє розмістити всередині основні елементи пристрою, зокрема плату керування, модуль реле, джерело живлення та з'єднувальні провідники.

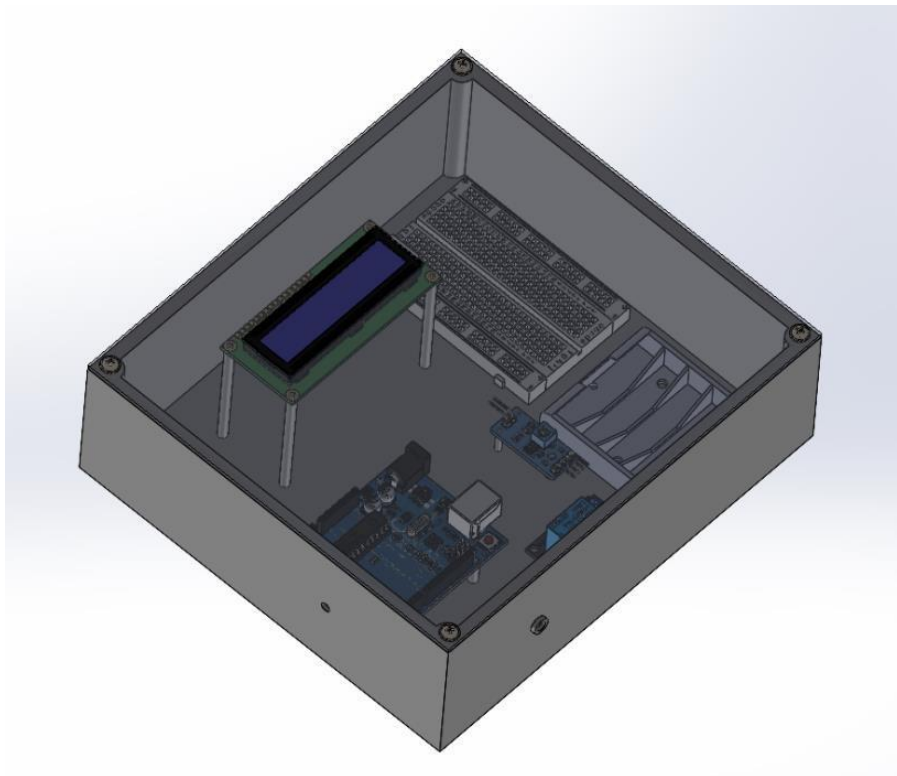


Рис.2.25 Тривимірна модель корпусу системи автополиву

Конструкція корпусу складається з основної частини та знімної кришки. Для надійного кріплення кришки передбачено чотири монтажні отвори, розташовані по кутах передньої панелі. Фіксація здійснюється за допомогою гвинтів $M5 \times 20$ мм із кроком різьби 0,5 мм, що забезпечує достатню міцність з'єднання та можливість багаторазового відкривання корпусу під час обслуговування пристрою. Головною і внутрішнім шестигранником

На передній панелі корпусу виконано прямокутний виріз для встановлення LCD-дисплея, через який користувач може контролювати поточні параметри роботи системи та переглядати службову інформацію. Розміри вирізу підібрано відповідно до габаритів використовуваного дисплейного модуля, що забезпечує його надійне розміщення та зручність зчитування інформації.

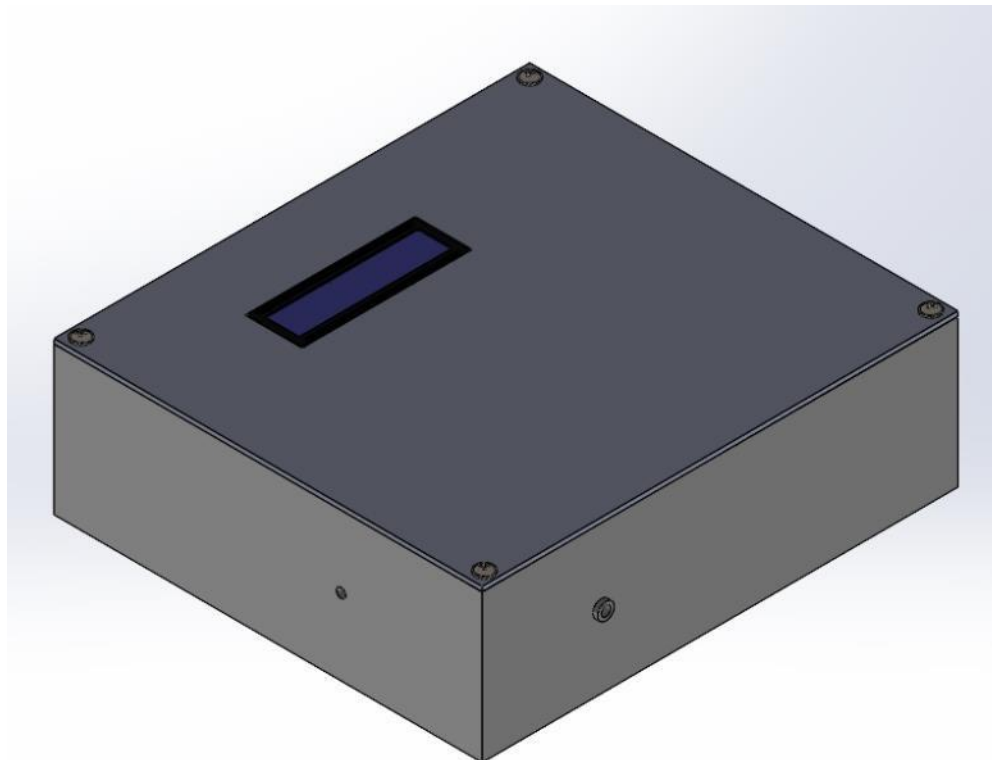


Рис.2.27 Тривимірна модель корпусу у зборі

На боковій поверхні корпусу Рис.2.28., передбачено отвір для підключення зовнішнього джерела живлення. Таке розташування роз'єму дозволяє виконувати підключення без необхідності відкривання корпусу та спрощує експлуатацію пристрою.

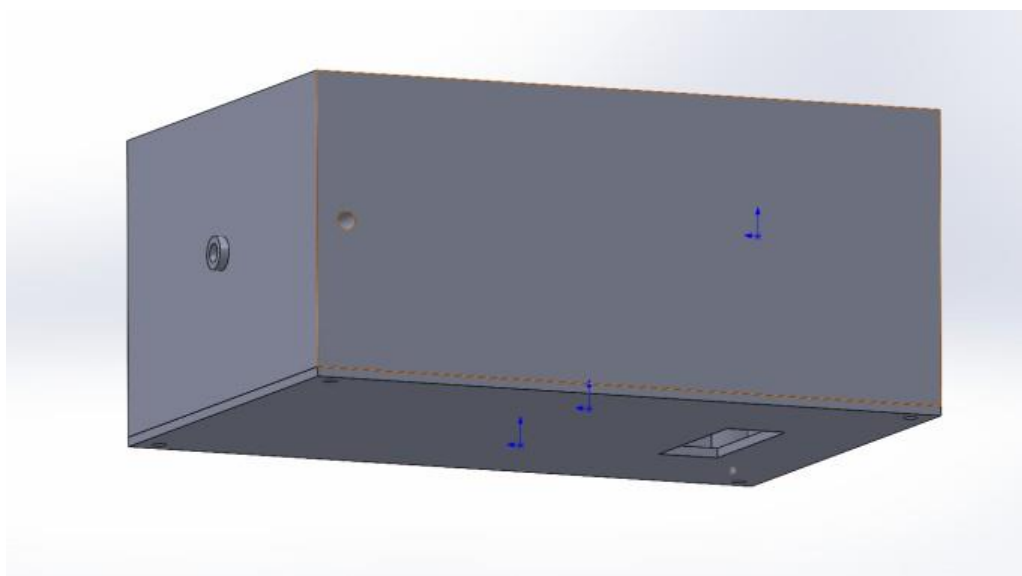


Рис.2.28 Вид збоку на корпус системи

Під час проектування корпусу основна увага приділялася простоті конструкції, компактності та можливості подальшого виготовлення за допомогою технологій 3D-друку або механічної обробки. Обрана конструкція забезпечує захист електронних компонентів від механічних пошкоджень, а також надає пристрою завершеного зовнішнього вигляду.

Висновки до Розділу 2

У даному розділі було розроблено систему автоматичного поливу на базі мікроконтролера Arduino Uno. Виконано аналіз та вибір основних компонентів системи, розглянуто їх призначення та особливості використання.

Було створено структурну та електричну схеми системи, на основі яких розроблено як віртуальну модель у середовищі моделювання, так і реальний прототип пристрою. Під час створення реальної системи кількість елементів була зменшена порівняно з віртуальною моделлю, що дозволило спростити конструкцію та зосередитися на реалізації основних функцій автоматичного поливу.

Також було розроблено програмне забезпечення, яке забезпечує контроль вологості ґрунту, автоматичне керування насосом та відображення інформації на LCD-дисплеї. Реалізований алгоритм дозволяє підтримувати необхідний рівень вологості ґрунту без постійного втручання користувача.

У результаті виконаної роботи отримано працездатну систему автоматичного поливу, яка може використовуватися для догляду за рослинами та слугувати основою для подальшого вдосконалення й розширення функціональних можливостей.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєктування було проведено аналіз сучасних систем автоматизованого поливу рослин, розглянуто історію їх розвитку, основні принципи роботи, переваги та недоліки різних способів зрошення. Також було виконано порівняння існуючих комерційних систем автоматичного поливу та визначено особливості їх використання.

На основі проведеного аналізу було розроблено власну систему автоматичного поливу на базі мікроконтролера Arduino Uno. Для реалізації проєкту було обрано необхідні апаратні компоненти, серед яких датчик вологості ґрунту, релейний модуль, насос постійного струму та LCD-дисплей для відображення інформації про роботу системи.

У процесі роботи було створено структурну та електричну схеми системи, розроблено віртуальну модель для перевірки працездатності основних вузлів, а також зібрано реальний прототип пристрою. Для керування системою було розроблено програмне забезпечення, яке забезпечує автоматичний контроль вологості ґрунту та вмикання насоса лише за необхідності.

Під час тестування було підтверджено працездатність розробленої системи. Вона коректно реагує на зміну вологості ґрунту, автоматично запускає процес поливу при пересиханні та припиняє його після досягнення необхідного рівня вологості. Використання дисплея дозволяє контролювати поточний стан системи та спрощує її експлуатацію.

Також було розглянуто можливі напрямки подальшого вдосконалення системи, зокрема впровадження бездротового керування, використання додаткових датчиків та реалізацію віддаленого моніторингу параметрів роботи.

Отже, поставлена мета дипломної роботи була досягнута. У результаті виконаної роботи розроблено працездатну систему автоматичного поливу, яка дозволяє підтримувати необхідний рівень вологості ґрунту без постійного

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			65

втручання користувача та може бути використана як основа для створення більш складних систем автоматизації догляду за рослинами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1]. Аверчев О. В., Сидякіна О. В., Берднікова О. Г., Ладичук Д. О. Вирощування сільськогосподарських культур при застосуванні краплинного зрошення : навч. посіб. Херсон : Молодий вчений, 2019. 132 с. ISBN 617-7640-45-4.

[2]. Hunter: обладнання для автоматичного поливу від виробника [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ukrpoliv.com.ua/ua/producer/hunter> — Дата звернення: 11.05.2026.

[3]. Підземне крапельне зрошення (SDI): особливості та переваги [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://irrigator.ua/podzemnoe-kapelnoe-oroshenie-sdi-copy/> — Дата звернення: 11.05.2026.

[4]. Спринклерне зрошення: принципи та обладнання [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://agroex.com.ua/sprinklernoe-oroshen/> — Дата звернення: 11.05.2026.

[5]. Системи автоматичного поливу: огляд та переваги [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://perejaslav.org.ua/articles/sistemi-avtomatichnogo-polivu-oglyad-ta-perevagi.html> — Дата звернення: 04.05.2026.

[6]. Крапельний полив: історія винаходу та користь від застосування [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://avtopoliv.com.ua/kapelnyy-poliv.-istoriya-izobreteniya-i-polza-ot-primeneniya/> — Дата звернення: 11.05.2026.

[7]. Знайомство з системою спринклерного зрошення [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua.yby-irrigation.com/info/know-the-sprinkler-system-irrigation-82469877.html> — Дата звернення: 11.05.2026.

[8]. Green Garth. З чого складається система автоматичного поливу [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.greengarth.com.ua/blog/avtomatychnyj-polyv/z-chogo-skladayetsya-systema-avtomatychnogo-polyvu/> — Дата звернення: 04.05.2026.

[9]. Green Garth. Автоматичний полив (архівні дані) [Електронний ресурс]. Режим доступу:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			67

<https://web.archive.org/web/20160130173238/http://www.poliv.com.ua/news/id/61> —

Дата звернення: 04.05.2026.

[10]. Aquatoria. Проектування системи краплинного зрошення [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://aquatoria.kiev.ua/ru/blog/avtomaticheskij-poliv/995-proektirovanie-sistemy-kapelnogo-orosheniya> — Дата звернення: 04.05.2026.

[8]. СпецПоливСервіс. Переваги автоматичного поливу [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://poliv-service.kiev.ua/ua/a432250-avtomaticheskij-poliv-preimuschestva.html> — Дата звернення: 04.05.2026.

[12]. Автоматична система для поливу: принцип роботи і комплектація [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pik.net.ua/2025/02/21/avtomatychna-systema-dlya-polyvu-pryntsyp-roboty-i-komplektatsiya/> — Дата звернення: 04.05.2026.

[13]. Огляд плат Arduino [Електронний ресурс]. URL: <https://distancionka.com/ua/blog/arduino/obzor-plat-arduino/> (дата звернення: 04.05.2026).

[14] Arduino огляд та характеристики [Електронний ресурс]. URL: <https://radioman.com.ua/viewtopic.php?t=12> (дата звернення: 04.05.2026).

[15] Arduino Without Headers: характеристики та особливості [Електронний ресурс]. URL: <https://evo.net.ua/arduino-leonardo-without-headers/> (дата звернення: 04.05.2026).

[16] Arduino Mega 2560. Технічна документація [Електронний ресурс]. URL: <https://doc.arduino.ua/hardware/Mega2560> (дата звернення: 04.05.2026).

[17] Методичні матеріали з використання платформи Arduino [Електронний ресурс]. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d7fa0663-3988-422d-9be0-758e90c95eb0/content> (дата звернення: 04.05.2026).

[18] Arduino Uno: опис та технічні характеристики [Електронний ресурс]. URL: <https://radioman.com.ua/viewtopic.php?t=14> (дата звернення: 04.05.2026).

[19] Arduino Due. Технічна документація [Електронний ресурс]. URL: <https://doc.arduino.ua/hardware/Due> (дата звернення: 04.05.2026).

[20] Arduino Pro Mini Pinout, Datasheet, Features, IDE and Simulation [Електронний ресурс]. URL:

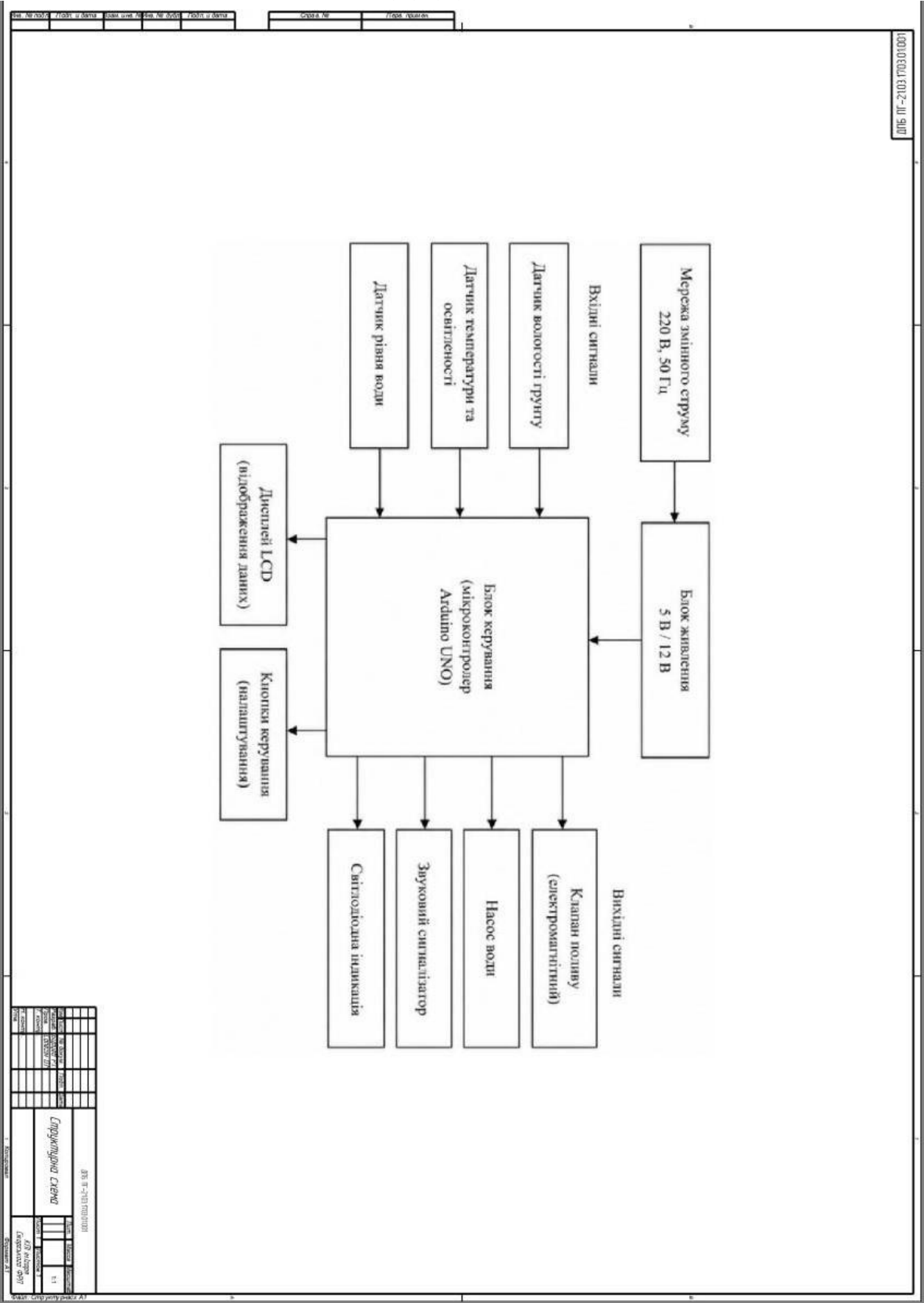
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			68

<https://www.richardelectronics.com/blog/projects/arduino/arduino-pro-mini-pinout-datasheet-features-ide-and-simulation> (дата звернення: 04.05.2026).

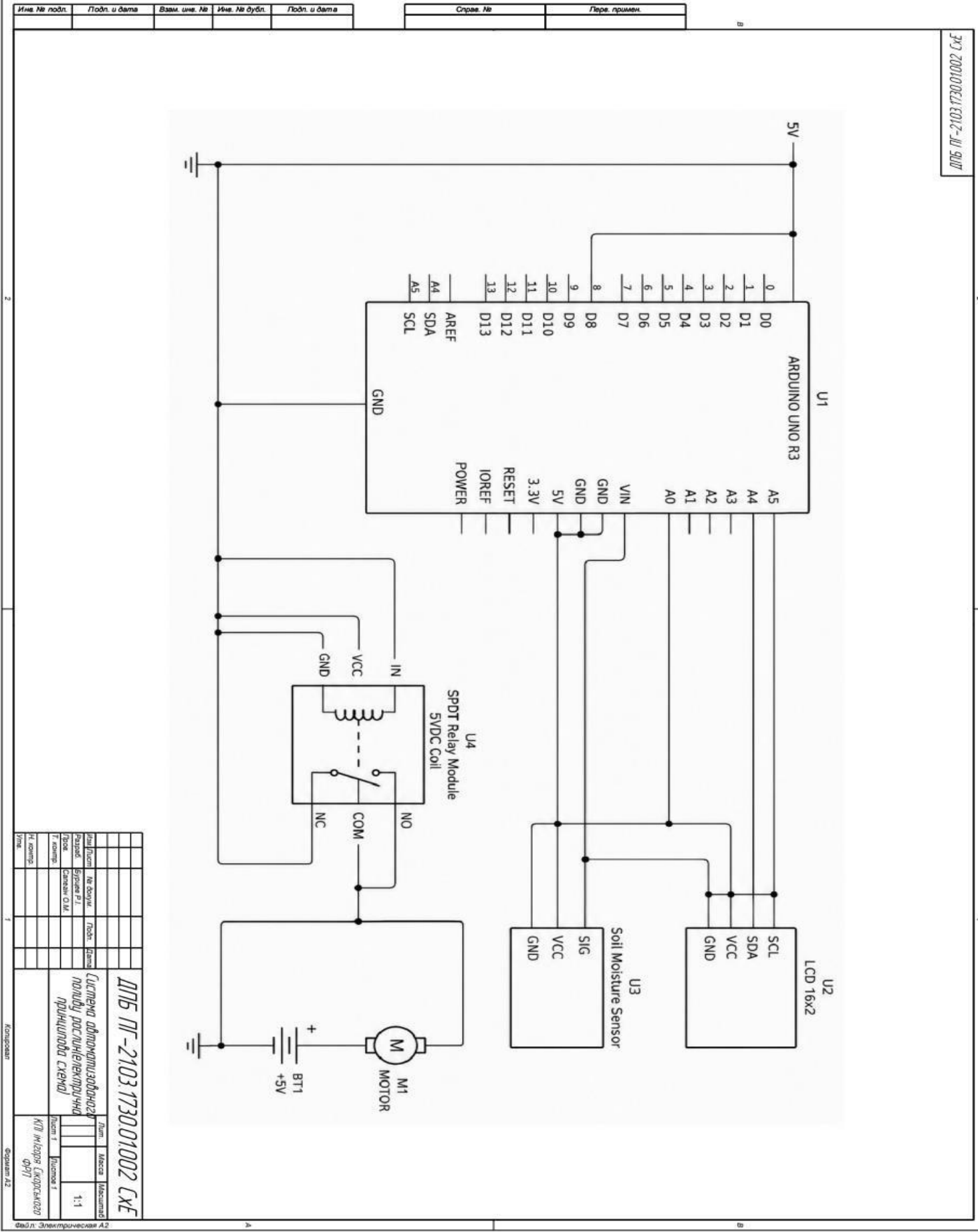
[21] Датчик вологості ґрунту (гігрометр) [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/prod521-datchik-vlajnosti-pochvi-gigrometr> (дата звернення: 04.05.2026).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис			69

ДОДАТОК А



ДОДАТОК Б

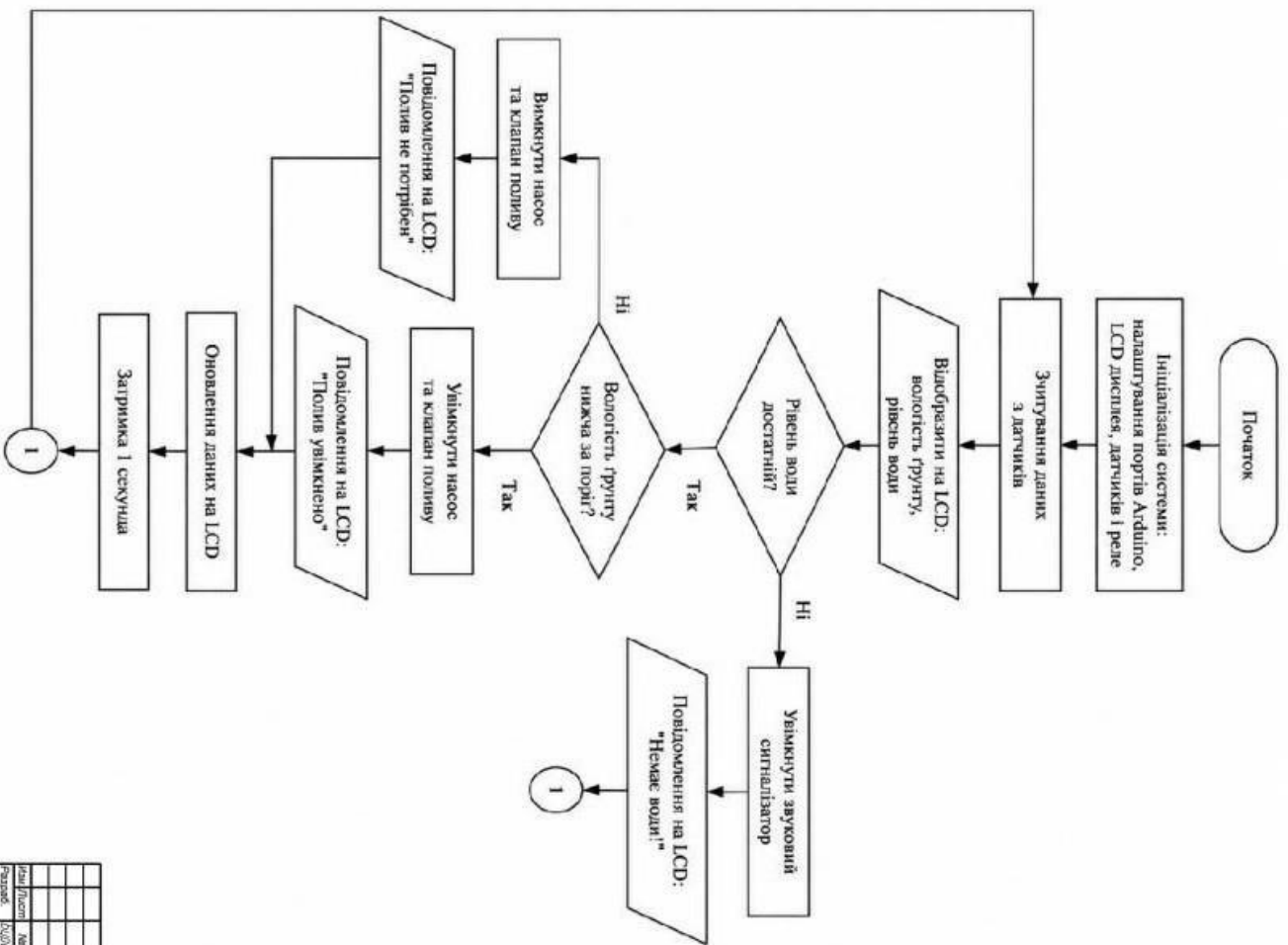


ДПБ ПР-2103.1730.01002 СКЕ

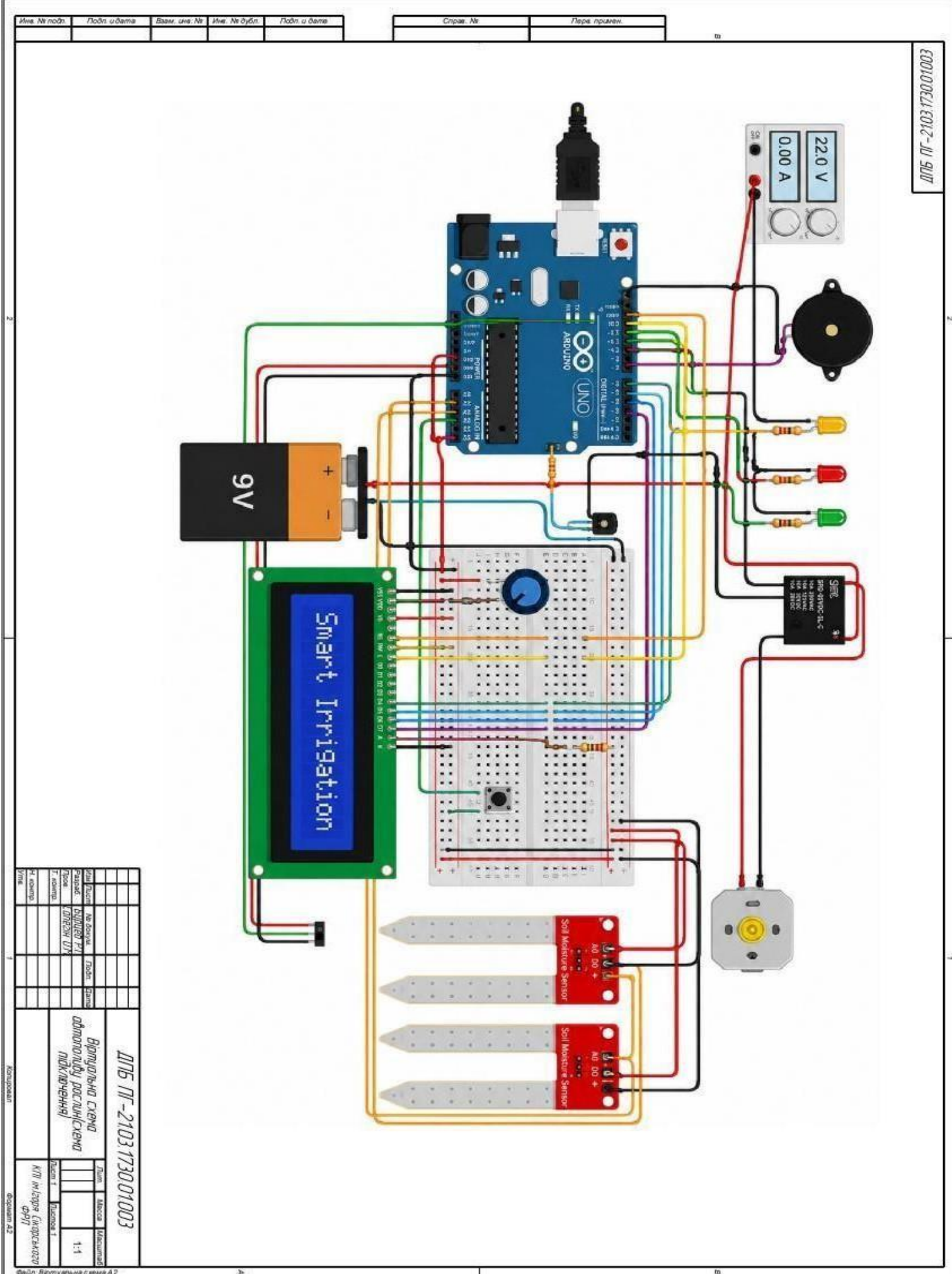
ДОДАТОК В

Име. Не пошл.	Пошл. и дата	Взим. име. Не	Име. Не дубл.	Пошл. и дата

Справа. №	Левая. примен.

[illegible]

ДОДАТОК Г

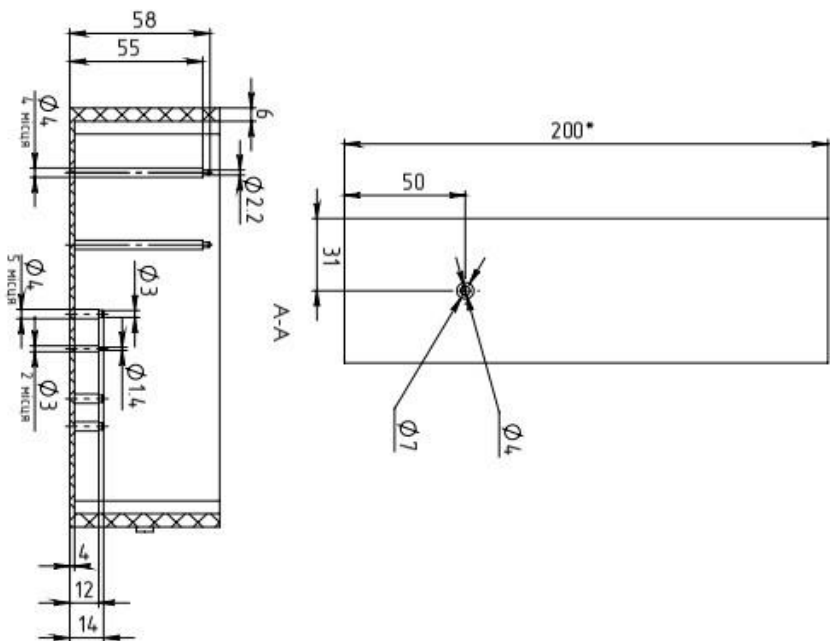
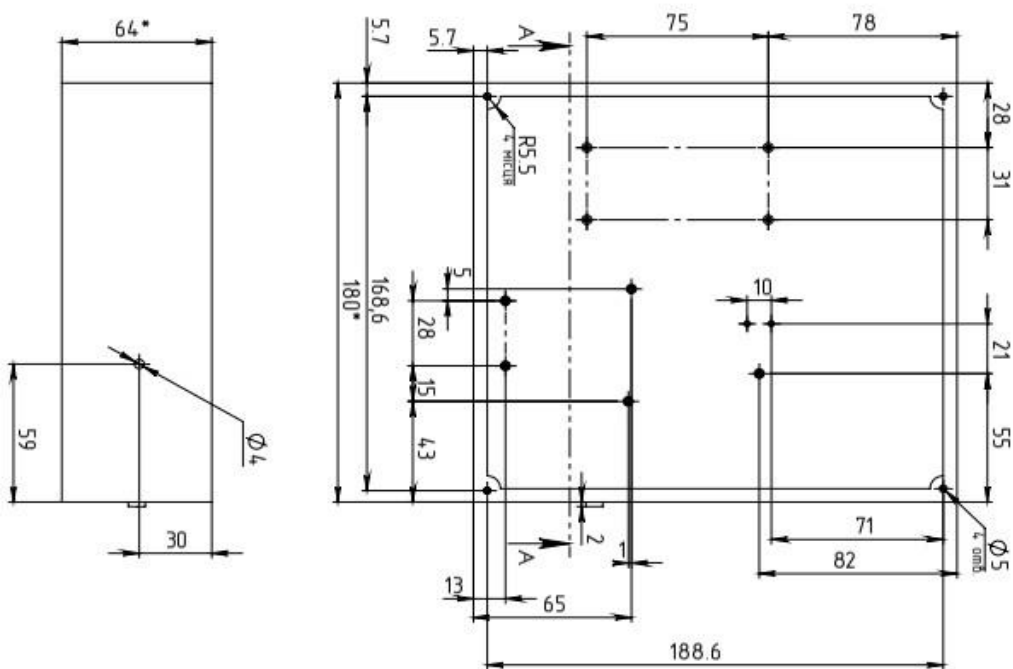


ДПБ ПГ-2103.1730.01003

ДОДАТОК Д

інв. № оргз	Підпис та дата	Взам. інв. №	інв. № дудл	Підпис та дата	Довід. №	Первинне заст

ДПБ.ПГ-21.03.1730.01.001

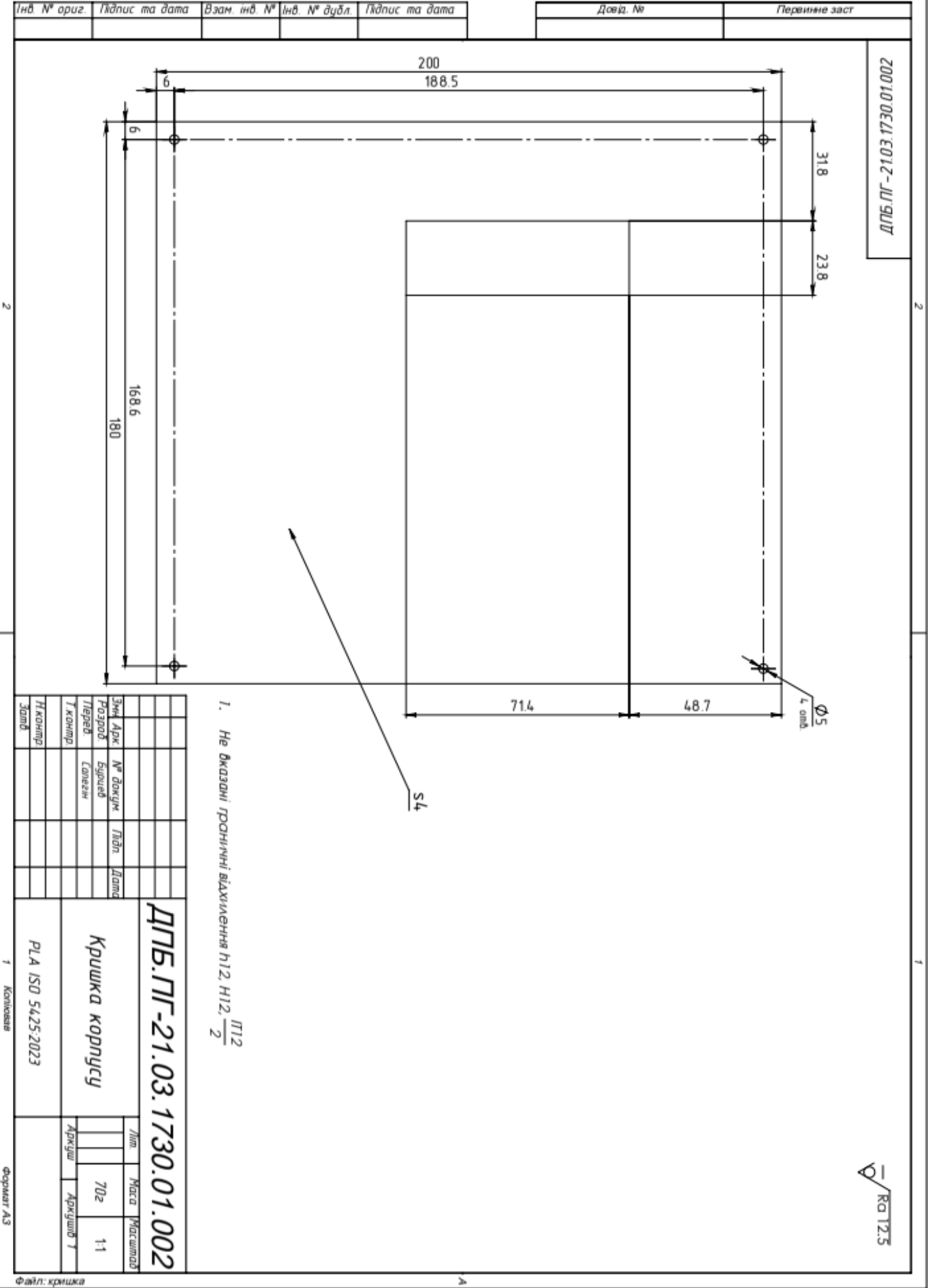


1. *Розмір для довідок
2. Не вказати проміжні відхилення h12, H12, $\frac{H12}{2}$
3. Не вказати факти 0,5x4,5°

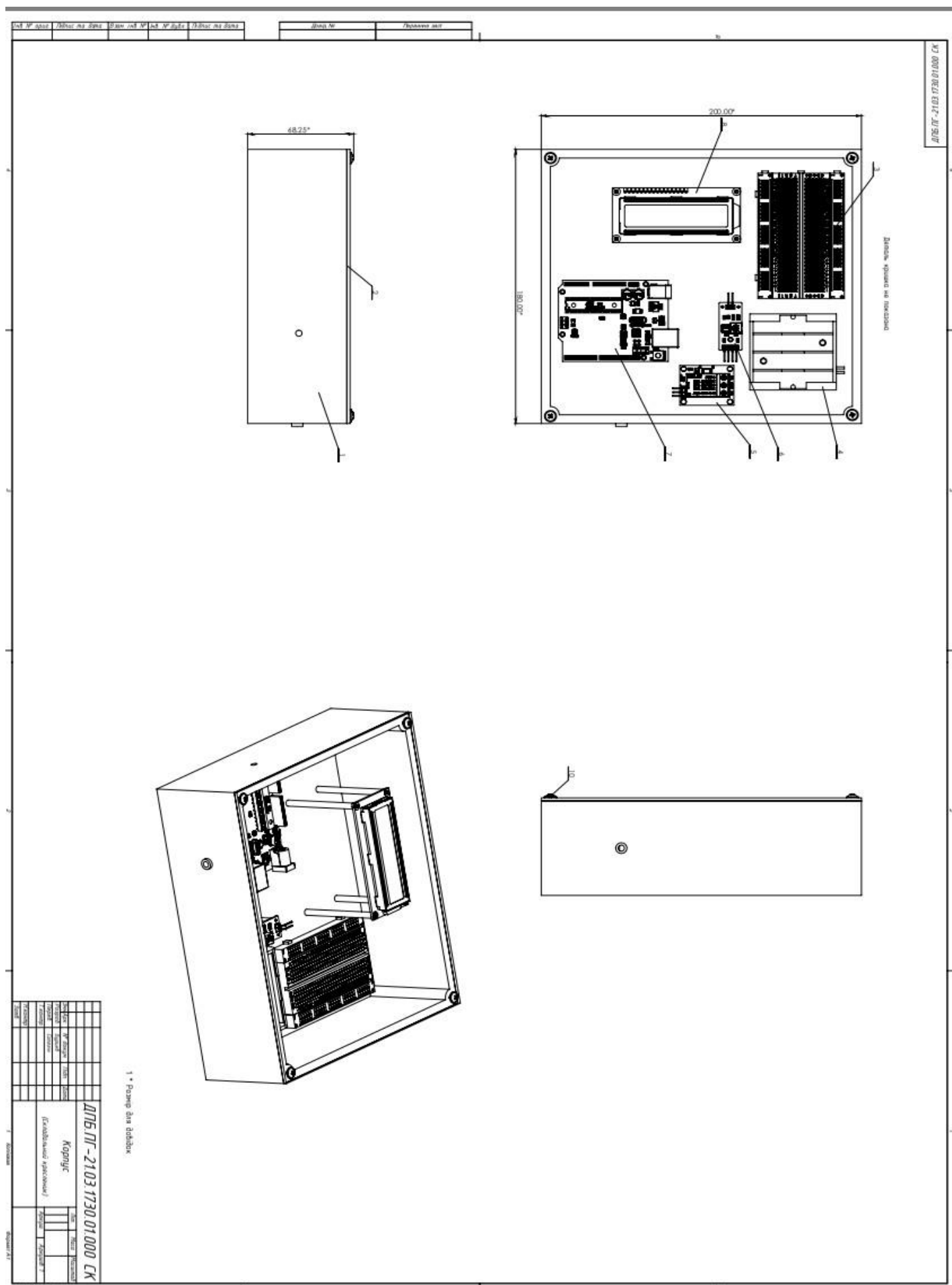
[illegible]

Ro 12.5

ДОДАТОК Е



ДОДАТОК Є



ДОДАТОК Ж

