

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено: В.о.

завідувача кафедри АСНК

_____Галина БОГДАН

«_____» _____ 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 полів»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПМ-11

Спужак Владислав Андрійович

Керівник:

к.т.н., доцент

Писарець Анна Валеріївна

Рецензент:

к.т.н., доцент

Козир Олег Васильович

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДПБ.ПМ-01.06.21.000.ПЗ	Пояснювальна записка	62	
3	A2	ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 СС	Структурна схема	1	
4	A2	ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЕС	Принципова електрична схема	1	
5	A1	ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 БСА	Блок-схема алгоритму	1	
6	A1	ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 СК	Складальне креслення	1	
7	A1	ДПБ.ПМ-11.17.1760.000	Робочі креслення деталей	1	
8	A4	ДПБ.ПМ-11.17.1760.003 СП	Специфікація	1	

				ДПБ.ПМ-11.17.1760.000.00		
	ПБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Розробн.	Спужак В.А.				1	64
Керівн.	Писарець А.В.				КПІ ім. І. Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-11	
Консульт.						
Н/контр.						
В.о. зав.каф.	Богдан Г.А.					

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Галина БОГДАН

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Спужаку Владиславу Андрійовичу

1. Тема проєкту «Система автоматизованого поливу полів», керівник проєкту Писарець Анна Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від « 26 » травня 2025 р. № 1765-с

2. Термін подання студентом проєкту 26 травня 2025 року

3. Вихідні дані до проєкту: площа зрошення — 100 м × 100 м (1,0 га); культура — томати; геометрична висота підйому води — 3 м.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Огляд існуючих іригаційних систем. Розробка автоматизованої системи іригації. Математична модель системи. Моделювання роботи іригаційної системи. Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

5.1. Система автоматизованого поливу полів. Структурна схема. 1 арк. ф. А2. 5.2. Система автоматизованого поливу полів. Принципова електрична схема. 1 арк. ф. А2. 5.3. Система автоматизованого поливу полів. Складальний кресленик. 1 арк. ф. А1. 5.4. Система автоматизованого поливу полів. Робочі креслення деталей.

1 арк. ф. А1. 5.5. Система автоматизованого поливу полів. Блок-схема алгоритму
1 арк. ф. А1.

6. Дата видачі завдання 24 березня 2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Ознайомлення з завданням дипломного проєкту та постановка задач	До 15.04.2025	
2	Огляд літературних джерел та аналіз існуючих аналогів	До 22.04.2025	
3	Розробка схеми системи та опис її елементів	До 04.05.2025	
4	Розробка математичної моделі системи	До 15.05.2025	
5	Моделювання роботи системи	До 24.05.2025	
6	Оформлення пояснювальної записки	До 29.05.2025	
7	Оформлення графічних матеріалів	До 03.06.2025	

Студент

Владислав СПУЖАК

Керівник

Анна ПИСАРЕЦЬ

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Система автоматизованого поливу полів»**

Київ – 2025 року

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті розроблено автоматизовану систему крапельного зрошення, яка забезпечує ефективне управління подачею води до сільськогосподарських культур. Система використовує сучасні електронні компоненти для моніторингу параметрів довкілля та керування процесом поливу як в автоматичному, так і в ручному режимі. Проведено проєктування схемотехніки, розроблено алгоритм роботи та реалізовано віртуальну симуляцію для попереднього тестування функціональності. Створена математична модель обґрунтовує вибір основних гідравлічних параметрів, зокрема витрати води, характеристик трубопроводів і насосного обладнання. Результати досліджень підтверджують працездатність запропонованого рішення та його доцільність для використання в умовах дрібного агровиробництва.

Ключові слова: автоматизація, іригація, крапельна система, моніторинг, керування, симуляція.

THE ANNOTATION

This thesis presents the development of an automated drip irrigation system designed to ensure efficient water delivery to agricultural crops. The system utilizes modern electronic components for environmental monitoring and supports both automatic and manual irrigation modes. The project includes circuit design, algorithm development, and virtual simulation for preliminary functionality testing. A mathematical model has been developed to justify key hydraulic parameters such as water flow rate, pipeline specifications, and pump characteristics. The conducted research confirms the operability of the proposed solution and its feasibility for small-scale agricultural use.

Keywords: automation, irrigation, drip system, monitoring, control, simulation, hydraulic calculations.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ІРИГАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	10
1.1 Основні компоненти іригаційної системи	10
1.2 Класифікація іригаційних систем	12
1.3 Принцип дії крапельної системи поливу	13
1.4 Типові технічні рішення в галузі автоматизованого зрошення.....	15
1.5 Висновки до розділу 1	17
2. РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІРИГАЦІЇ	18
2.1 Принцип роботи іригаційної системи.....	18
2.2 Розробка гідравлічної системи.....	19
2.3 Висновки до розділу 2	20
3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ	22
4. ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІРИГАЦІЇ	27
4.1 Визначення функціональних вимог до системи	27
4.2 Вибір мікроконтролера	28
4.3 Вибір сенсорів.....	30
4.4 Вибір виконавчих елементів	33
4.5 Вибір інтерфейсів для взаємодії з користувачем.....	40
4.6 Вибір джерел живлення.....	42
4.7 Вибір модуля бездротового з'єднання	43
4.8 Висновки до розділу 4	45
5. ВІРТУАЛЬНА СИМУЛЯЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ	46
5.1 Розробка структурної схеми	46
5.2 Розробка принципової електричної схеми	47
5.3 Розробка блок-схеми алгоритму.....	49
5.4 Розробка симуляції роботи системи.....	50
5.5 Висновки до розділу 5	53
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	56

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Спужак В.А.			Система автоматизованого поливу полів	Літ.	Арк.
Перевір.							6
							62
Н. Контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК; Гр. ПМ-11	
Затверд.		Писарець А.В.					

ВСТУП

Сільське господарство в Україні відіграє провідну роль у структурі національної економіки, забезпечуючи продовольчу безпеку, експортний потенціал та розвиток сільських територій. Останніми роками спостерігається посилення впливу кліматичних змін, що виражається у зменшенні кількості опадів, тривалих посушливих періодах, підвищенні середньорічних температур і нерівномірному розподілі вологи. У таких умовах підвищується значення ефективного управління водними ресурсами, зокрема через впровадження сучасних іригаційних систем. Автоматизована система поливу є технічним рішенням, яке дозволяє регулювати подачу води залежно від фактичного стану ґрунту, часу доби або погодних умов, що, у свою чергу, забезпечує раціональне використання води, покращує врожайність і знижує потребу в ручній праці.

В Україні значна частина сільськогосподарських угідь розташована в регіонах із недостатнім природним зволоженням, що суттєво впливає на стабільність агровиробництва. Традиційні методи поливу часто є неефективними, супроводжуються втратами води, нерівномірним зрошенням та перевитратами ресурсів. В умовах високої вартості води та енергоресурсів, а також дефіциту кадрів, автоматизація процесів зрошення стає необхідністю. Такі системи можуть ефективно застосовуватися як на відкритих полях, так і в тепличному господарстві, у садівництві, виноградарстві та навіть у декоративному озелененні.

Якщо не вдосконалювати та не впроваджувати автоматизацію в системи іригації, це може призвести до зниження ефективності агровиробництва, втрати врожаїв, зменшення якості продукції та деградації ґрунтів. У свою чергу, надмірна залежність від людського фактора призводить до зростання помилок в управлінні водними ресурсами, особливо у великих господарствах. Безсистемне використання води може також спричинити екологічні проблеми – виснаження водоносних горизонтів, заболочення або засолення ґрунтів.

Метою цього дипломного проєкту є розробка та створення прототипу автоматизованої системи крапельного зрошення, яка б забезпечувала ефективне керування поливом сільськогосподарських культур на основі показників вологості

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

грунту. Система має передбачати можливість виведення поточної інформації про стан поливу на дисплей та використання накопиченої дощової води як джерела зрошення. У процесі роботи було поставлено завдання дослідити існуючі системи іригації, обґрунтувати вибір технічних компонентів, розробити електронну схему, створити модель системи у віртуальному середовищі, реалізувати програмну логіку, побудувати фізичний прототип та оцінити ефективність запропонованого рішення.

В Україні впровадження автоматизованих систем зрошення перебуває на стадії активного, проте нерівномірного розвитку. З огляду на посилення кліматичних змін – таких як нерегулярність опадів, тривалі періоди посухи та деградація ґрунтів – потреба в точному та ресурсоефективному поливі набуває дедалі більшого значення. Водночас рівень запровадження автоматизації значно варіюється залежно від регіону, типу господарства та доступу до фінансування. У південних областях, зокрема в Одеській, Херсонській та Миколаївській, де зрошення має критичне значення для аграрного виробництва, автоматизовані системи впроваджуються активніше. [1].

У великих агропромислових господарствах автоматизація іригації впроваджується переважно за допомогою інженерних компаній, які розробляють комплексні проекти з використанням сучасних іноземних технологій. Найпоширенішими є системи із зональним управлінням, централізованим контролем та віддаленим моніторингом. У тепличному виробництві автоматизоване зрошення стало усталеною практикою, особливо в господарствах, орієнтованих на експорт або інтенсивне овочівництво. Такі рішення, як правило, інтегрують полив із живленням рослин (фертигацією) та охоплюють контроль мікроклімату: температури, освітлення та концентрації вуглекислого газу [2].

Водночас поширення автоматизованих технологій стримується низкою чинників. Серед основних бар'єрів – висока вартість професійних систем, обмежений рівень технічної підготовки фермерів, недостатній доступ до кваліфікованої інженерної підтримки, перебої в енергопостачанні, а також обмежена участь держави у стимулюванні впровадження інновацій. До того ж, військовий

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конфлікт, що триває на частині території України, спричинив часткову або повну втрату іригаційної інфраструктури, що унеможлиблює модернізацію в окремих регіонах.

Попри ці обмеження, останніми роками спостерігаються позитивні тенденції: зростає кількість доступних грантів, активізується підтримка з боку міжнародних організацій, розвивається аграрний консалтинг, а також поширюються відкриті технології, що робить автоматизацію поливу доступнішою для дрібних і середніх господарств.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ІРИГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Іригаційна система – це сукупність технічних засобів, інженерних споруд, трубопроводів, механізмів керування та алгоритмів управління, призначених для штучного зрошення земель з метою підтримання оптимального рівня вологості ґрунту для росту сільськогосподарських культур [3].

Такі системи забезпечують подачу води до кореневої зони рослин у необхідній кількості та в потрібний час, компенсуючи нестачу природних опадів. Іригаційні системи можуть працювати за фіксованим графіком або адаптувати свою роботу до погодних умов і стану ґрунту – вручну або автоматично. Вони особливо актуальні в регіонах із посушливим кліматом, недостатнім зволоженням чи нерівномірним розподілом опадів протягом сезону.

1.1 Основні компоненти іригаційної системи

Іригаційна система є технічно складним комплексом, що складається з ряду функціонально пов'язаних компонентів, які забезпечують забір, подачу, розподіл і контроль води для зрошення сільськогосподарських культур. Кожен із цих компонентів виконує окрему роль, а їхня взаємодія забезпечує ефективність та надійність роботи всієї системи.

До основних елементів типових іригаційних систем належать [4]:

- *Джерело водопостачання* – резервуар, свердловина, річка чи інший водозбірник, з якого здійснюється забір води. У системах із замкненим контуром часто використовуються накопичувальні баки, які наповнюються дощовою водою або поповнюються вручну.
- *Насосна установка* – забезпечує створення необхідного тиску для подачі води до зрошувальних ліній. Потужність насоса визначається з урахуванням площі поля, витрати води, напору та гідравлічних втрат у системі.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- *Фільтраційний блок* – очищує воду від механічних домішок, які можуть спричинити засмічення крапельниць або пошкодження клапанів. Залежно від якості води використовуються сітчасті, дискові або піщані фільтри.
- *Розподільна мережа трубопроводів* – система магістральних і розгалужених труб, яка транспортує воду від джерела до поливних зон. Вона може включати як підземну, так і наземну частину.
- *Клапани і регулятори* – керують подачею води до окремих ділянок системи. Зокрема, електромагнітні (соленоїдні) клапани автоматично відкривають або перекривають потік відповідно до сигналів від контролера.
- *Зрошувальні пристрої* – елементи, що безпосередньо подають воду до рослин. У випадку крапельного зрошення це крапельниці або стрічки, які дозують воду малими порціями безпосередньо до кореневої зони.
- *Сенсорна система* – включає сенсори вологості ґрунту, рівня води, тиску або метеорологічні модулі, що дозволяють контролювати стан середовища в реальному часі та передавати дані до контролера.
- *Контролер або мікроконтролер* – електронний пристрій, що виконує функції логічного управління, аналізує показники сенсорів, формує сигнали керування насосом, клапанами та іншими елементами. У сучасних реалізаціях можуть застосовуватись контролери типу STM32, Arduino, ESP32 тощо.
- *Інтерфейс користувача* – елементи взаємодії з оператором, які включають дисплеї для відображення інформації, кнопки та перемикачі для ручного керування, або засоби бездротового моніторингу через веб-інтерфейс.

Кожен з компонентів відіграє критично важливу роль у забезпеченні стабільної, надійної та економної роботи іригаційної системи. Комплексний підхід

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

до їх вибору та інтеграції є основою для ефективного зрошення сільськогосподарських культур із мінімальними затратами води та енергії.

1.2 Класифікація іригаційних систем

Іригаційні системи класифікуються за кількома ключовими критеріями, серед яких визначальними є спосіб подачі води до рослин і спосіб управління зрошенням [4]. Ці ознаки мають безпосередній вплив на ефективність функціонування системи, її енерговитратність, ступінь автоматизації, витрати водних ресурсів та придатність до конкретних агротехнічних умов.

За способом подачі води виділяють кілька основних типів іригаційних систем [4].

Поверхневі (гравітаційні) системи передбачають подачу води самопливом через спеціально підготовлені канали, борозни або тераси. Вони є найпростішими у реалізації, не потребують складного обладнання, проте характеризуються значними втратами води через інфільтрацію та випаровування, а також ризиком ерозії ґрунту.

Дощувальні системи забезпечують подачу води у вигляді імітації природних опадів через розбризкувачі або дощувальні машини. Їх перевагою є рівномірність зволоження та можливість покриття великих площ, проте вони є енерговитратними і менш ефективними за наявності сильного вітру.

Найефективнішим з точки зору економії води є *крапельне зрошення*, при якому вода надходить безпосередньо до кореневої зони рослин невеликими дозами. Такий спосіб дозволяє зменшити випаровування, знизити вологість міжрядь та покращити врожайність, хоча й потребує якісної фільтрації води та регулярного обслуговування.

Підповерхневі системи функціонують завдяки мережі трубопроводів, розміщених під шаром ґрунту, що дозволяє уникнути втрат вологи та не перешкоджає механічній обробці ґрунту. Водночас такі системи мають високу вартість монтажу і складні в обслуговуванні.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аерозольні або мікрозрошувальні системи подають воду у вигляді тонкої суспензії, що дозволяє охолоджувати мікроклімат, зволожувати листову поверхню рослин, і тому активно використовуються у парниках, теплицях та розсадниках.

Крім того, іригаційні системи класифікують за способом управління подачею води [4].

Найпростішими є *механічні або ручні системи*, в яких увімкнення та вимкнення подачі води здійснюється вручну. Такі системи є дешевими та простими у реалізації, однак вимагають постійної присутності людини, не дозволяють точно дозувати воду та є непридатними для великих площ.

Більш прогресивними є *автоматизовані системи*, які працюють на основі елементарних електронних компонентів — таймерів, реле, сенсорів вологості, електромагнітних клапанів. У таких системах полив може запускатися у заданий час або залежно від рівня вологості ґрунту, що знижує участь людини та підвищує сталість зрошення.

Найсучаснішим класом є *цифрові або smart-іригаційні системи*. Вони базуються на мікроконтролерах, з'єднанні з інтернетом, хмарних технологіях і мобільних застосунках, що дозволяє реалізувати дистанційне управління, моніторинг, адаптивне планування поливу та інтеграцію з прогнозами погоди. Дані з численних сенсорів аналізуються системою, яка приймає рішення про подачу води автоматично, відповідно до поточних кліматичних умов, фази розвитку рослин, агротехнічного плану тощо. Такі системи дозволяють значно знизити витрати води та підвищити врожайність, проте мають високу вартість та потребують певного рівня технічної підготовки персоналу.

1.3 Принцип дії крапельної системи поливу

Розглянувши основні типи іригаційних систем, зосередимося на принципах функціонування крапельного зрошення, яке є одним із найпоширеніших рішень для точного та економного поливу.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крапельне зрошення є однією з найбільш ефективних і водозберігаючих технологій подачі вологи до кореневої зони рослин. Інтеграція цієї методики в автоматизовані системи забезпечує точне дозування води при мінімальному її споживанні та низьких енерговитратах. Основний принцип полягає у повільному, контрольованому поданні води безпосередньо в зону росту коріння, що створює сприятливі умови для розвитку рослин навіть у посушливих умовах. Завдяки цілеспрямованому розподілу вологи, система мінімізує втрати води через випаровування або стік, що особливо важливо для регіонів з обмеженими запасами прісної води [5].

В автоматизованих конфігураціях крапельне зрошення реалізується через магістральні трубопроводи, обладнані стаціонарними або регульованими крапельницями. Кожен сегмент системи може бути підключений до електромагнітного клапана, керованого контролером. У більш складних рішеннях впроваджується зональне управління, що дає змогу індивідуально налаштовувати полив для різних ділянок або культур. Такий підхід є особливо ефективним у тепличному господарстві або при змішаному вирощуванні культур з різними потребами у воді [5].

До ключових технічних особливостей крапельного зрошення належать потреба у попередньому фільтруванні води для запобігання засміченню крапельниць, а також періодичне промивання трубопроводів. Контроль тиску в системі здійснюється за допомогою регуляторів або насосів, що гарантують рівномірний розподіл води по мережі. Автоматизоване керування дозволяє стабілізувати ці процеси та мінімізувати потребу в ручному втручанні. У разі використання вологомірів дані зчитуються з певною періодичністю, і при зниженні вологості нижче встановленого порогу система автоматично активує полив до досягнення заданого рівня [6]. Такий механізм дозволяє ефективно використовувати воду та уникати надмірного зволоження, яке може спричинити загнивання кореневої системи, зниження врожайності та розвиток захворювань [7].

Окремої уваги заслуговує можливість використання альтернативних джерел водопостачання, зокрема дощової води або очищених стічних вод, що

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

накопичуються у спеціальних резервуарах. Завдяки цьому технологія крапельного зрошення стає придатною для віддалених районів із відсутнім або обмеженим доступом до централізованих водопровідних мереж. Гнучкість конфігурації та сумісність із засобами автоматизованого керування роблять її універсальним рішенням як для малих фермерських господарств, так і для великих агропромислових підприємств. Це сприяє стабільному виробництву навіть в умовах кліматичної нестабільності та дефіциту водних ресурсів.

1.4 Типові технічні рішення в галузі автоматизованого зрошення

Автоматизовані системи поливу стрімко розвиваються в усьому світі, включаючи Україну, оскільки дозволяють підвищити ефективність використання водних ресурсів, зменшити втрати вологи та знизити трудовитрати. Основу таких систем складають електронні контролери, крапельні або спринклерні механізми, сенсори вологості, метеодані та елементи дистанційного керування. Типовими рішеннями для реалізації автоматизованого поливу є системи на основі крапельного зрошення або зрошення форсунками, які активуються за таймером або в залежності від сигналів сенсорів.

На глобальному ринку вирізняються кілька лідерів у галузі іригаційних технологій. Компанія Netafim (Ізраїль) є провідним виробником крапельних систем зрошення, орієнтованих на великі сільськогосподарські площі. Їхні продукти підтримують метеомоніторинг, сенсори вологості, централізоване керування, а також інтеграцію з хмарними платформами [8]. Rain Bird (США) спеціалізується на модульних рішеннях для садів, теплиць і полів середнього розміру, з підтримкою Wi-Fi і мобільного доступу, а також автоматичним керуванням на основі метеоданих [9]. GARDENA (Німеччина) представляє побутові смарт-рішення для присадибних ділянок, з можливістю програмування циклів поливу через мобільний застосунок, Bluetooth або Wi-Fi [10]. Для користувачів, які прагнуть адаптувати систему під свої потреби, існують DIY-рішення на основі контролерів OpenSprinkler, які дозволяють створити багатозонну систему поливу з відкритим програмним забезпеченням та

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

підтримкою вебінтерфейсу [11]. У бюджетному сегменті варто відзначити Xiaomi Smart Garden, яка пропонує системи з сенсорами температури та вологості для точкового догляду за рослинами, переважно в декоративному або кімнатному форматі [12].

Щоб здійснити об'єктивне порівняння згаданих систем, використаємо однакові вхідні параметри: площа зрошення — 10×10 м (100 м^2), кількість крапельниць — 200 (по 2 на 1 м^2), витрата однієї крапельниці — 0,5 л/год, тривалість поливу — 6 годин на добу. Це дає загальну добову потребу у воді на рівні 600 літрів. Порівняльні характеристики різних систем подано у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристики іригаційних систем

Система	Тип зрошення	Орієнтовна витрата (л/год)	Робочий тиск (бар)	Керування	Сенсори
Netafim Techline CV	Крапельне	~100	1–4	Автоматичне, хмарне	Волога, тиск, погода
Rain Bird 1800 Series	Спринклерне	~98 (на форсунку)	2.1–3.8	Автоматичне, Wi-Fi	Метеостанція, вологість
Gardena Smart System	Комбіноване	20–60 (залежить від комплекту)	0.5–12	Смарт-додаток	Обмежено
OpenSprinkler (DIY)	Крапельне/Спринклерне	Залежить від конфігурації	Залежить від клапанів	Веб-інтерфейс	Волога, дощ
Xiaomi Smart Garden	Крапельне	~10–20	Низький	Смарт-додаток	Температура, вологість

На основі наведеного аналізу можна зробити висновок, що для зрошення ділянки розміром 10×10 м за вказаними умовами найбільш оптимальними є системи Netafim та Gardena [13]. Netafim забезпечує високу точність і надійність, хоча вимагає професійного встановлення та значних фінансових інвестицій. Gardena — більш доступне рішення, яке чудово підходить для приватного використання з можливістю гнучкого налаштування циклів поливу. OpenSprinkler є найкращим варіантом для технічно підготовлених користувачів, які бажають створити індивідуальну систему [14]. Rain Bird забезпечує ефективне спринклерне зрошення, але для площі 100 м^2 може бути надмірним за споживанням води. Xiaomi Smart

Garden доцільно використовувати лише для догляду за окремими декоративними рослинами, оскільки її продуктивності недостатньо для зрошення всієї ділянки.

1.5 Висновки до розділу 1

У першому розділі здійснено ґрунтовний огляд теоретичних основ функціонування сучасних іригаційних систем. Аналіз основних компонентів показав, що ефективне зрошення залежить від злагодженої роботи джерела води, насосного обладнання, трубопроводів, регулюючих пристроїв, сенсорів і контролера.

Розгляд класифікацій систем за способом подачі води та рівнем автоматизації дозволив виділити крапельне зрошення як найбільш водоощадну і гнучку технологію. Аналіз типових рішень засвідчив широкий спектр існуючих систем — від побутових smart-пристроїв до промислових комплексів з хмарною аналітикою.

Окрему увагу приділено принципу дії крапельного зрошення, що забезпечує мінімальні втрати води та точне дозування вологи в кореневу зону. Автоматизація процесу за допомогою сенсорів і контролера знижує потребу в ручному втручанні, а можливість використання альтернативних джерел води підвищує універсальність рішення.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІРИГАЦІЇ

2.1 Принцип роботи іригаційної системи

Принцип роботи іригаційної системи полягає в забезпеченні цілеспрямованої подачі води до рослин шляхом створення контрольованого гідравлічного потоку від джерела водопостачання до крапельниць. Система функціонує за рахунок тиску, який створюється в трубопроводах, що дозволяє транспортувати воду до кореневої зони рослин через мережу крапельного зрошення. У процесі подачі вода проходить через основний магістральний трубопровід, далі розгалужується по розподільчих лініях і надходить до крапельниць, де відбувається її поступове та рівномірне вивільнення безпосередньо в ґрунт.

Подача води починається з резервуара або водного баку, з якого вода надходить до напірного трубопроводу. За рахунок створення тиску насосним агрегатом вода транспортується до основної магістралі системи. На вході в магістраль встановлено керуючий елемент — гідравлічний або електромеханічний клапан, який відкриває або перекриває потік води залежно від команди від керуючого модуля.

Основна магістраль розгалужується на лінії розподілу, які подають воду до зрошувальних елементів, розміщених рівномірно по всій площі. У випадку крапельного зрошення вода надходить у систему тонкими порціями, що дозволяє зменшити втрати на випаровування та проникнення в глибші шари ґрунту. Тиск у системі підтримується в межах, необхідних для стабільної роботи зрошувальних пристроїв, і може регулюватися за допомогою редукторів тиску або характеристик самого насоса.

Контроль завершення поливу здійснюється за сигналом керуючої системи, яка фіксує досягнення достатнього рівня вологості. Після завершення подачі води клапан перекриває магістраль, а насос вимикається, припиняючи гідравлічну циркуляцію в системі. У разі відсутності води в резервуарі або спрацювання аварійного сенсора система блокує подальшу подачу, запобігаючи роботі «всуху».

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, гідравлічний принцип роботи полягає у спрямованому переміщенні води від накопичувального джерела до зони поливу з використанням тиску, керованих клапанів і розгалуженої трубопроводної мережі. Це дозволяє забезпечити точне та ефективне зрошення з мінімальними втратами і високим рівнем надійності навіть на ділянках із невеликою площею.

2.2 Розробка гідравлічної системи

Гідравлічна схема — це умовно-графічне зображення системи, яка забезпечує переміщення рідини від джерела до споживача за допомогою насосів, трубопроводів, клапанів та інших елементів [15]. Вона необхідна на етапі проєктування для візуалізації взаємозв'язків між компонентами, розрахунку тиску й витрат води, а також для подальшої експлуатації та обслуговування системи [16]. У межах даного проєкту було побудовано гідравлічну схему крапельної системи поливу, призначену для зрошення ділянки площею 10×10 м. У цій конфігурації реалізовано найпростіший одно-зонний контур подачі води, до складу якого входять джерело водопостачання, насос, клапан, магістральний трубопровід, розподільчий елемент і крапельні лінії з крапельницями.

Вода накопичується в баку (поз. 1), з якого вона надходить до насоса (поз. 2), що створює необхідний тиск у системі. Далі потік проходить по магістральній трубу (поз.4) проходить до керувального клапана (поз. 3), який відкриває або перекриває подачу води в крапельні лінії (поз. 5). З крапельних ліній вода через крапельниці або випускні отвори (поз. 6) дозовано подається безпосередньо до кореневої зони рослин. Такий підхід дозволяє зменшити втрати води на випаровування та стік, забезпечуючи ефективне зрошення з мінімальними втратами. А за потреби масштабування зон, до магістральної труби під'єднуються додаткові клапани і похідні від них крапельні лінії. Це забезпечує наявність зонування для ефективнішого керування поливом.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опис усіх елементів гідравлічної схеми, їх призначення та умовні позначення наведено в таблиці 2.1, а графічне зображення схеми подано на рисунку 2.1.

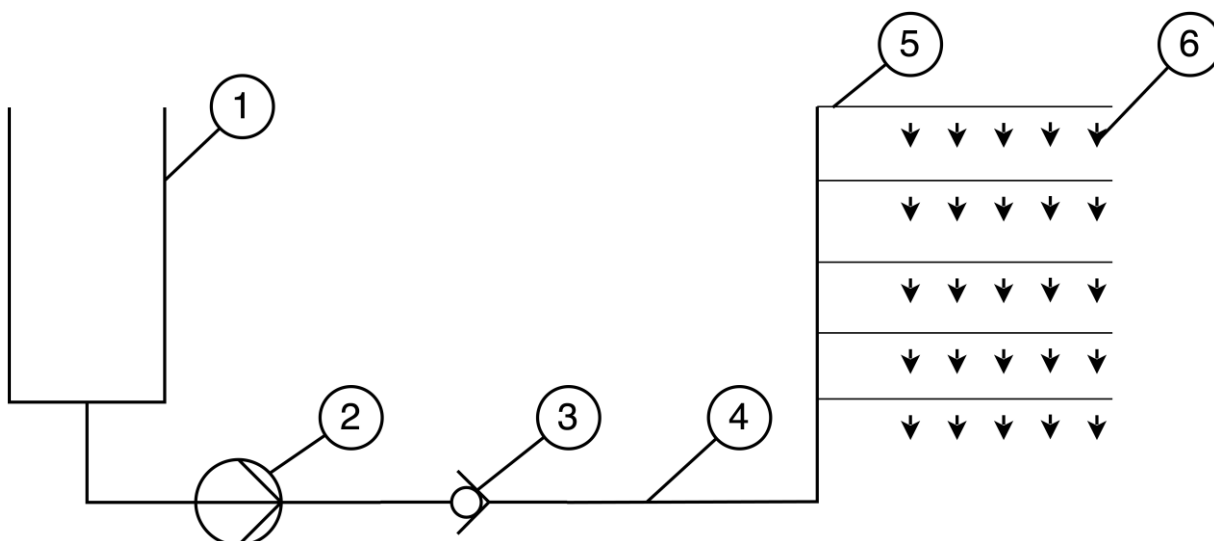


Рисунок 2.1 — Принципова гідравлічна схема системи іригації

Таблиця 2.1 – Перелік компонентів гідравлічної схеми

№	Назва компонента	Призначення
1	Бак для води	Джерело водопостачання, накопичує дощову або подану воду
2	Насос	Створює необхідний тиск для подачі води
3	Клапан (соленоїдний або ручний)	Керує відкриттям/перекриттям потоку води
4	Магістральна труба	Транспортує воду до зони розподілу
5	Крапельні лінії	Розподіляють воду по площі ділянки
6	Крапельниці (випускні отвори)	Забезпечують дозовану подачу води до кореневої зони

2.3 Висновки до розділу 2

У розділі проаналізовано принцип роботи автоматизованої системи крапельного зрошення, що забезпечує прицільну подачу води до кореневої зони рослин через керований гідравлічний потік, який регулюється насосом, клапанами та трубопровідною мережею. Такий підхід дозволяє ефективно зволожувати ґрунт із мінімальними втратами води.

Розроблено гідравлічну схему, яка охоплює ключові елементи системи: джерело води, насос, керуючий клапан, магістраль, крапельні лінії та крапельниці. Ця схема слугує основою для технічного проектування, спрощує діагностику та модернізацію системи, а також забезпечує адаптацію до конфігурації з однією зоною поливу, з можливістю масштабування на більші площі.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ

Для забезпечення ефективного функціонування автоматизованої системи іригації необхідно побудувати математичну модель, яка формалізує взаємодію всіх її компонентів. Така модель дозволяє розрахувати об'єм подачі води, визначити параметри трубопроводів, втрати тиску та необхідну потужність насоса. Це, своєю чергою, дає змогу обґрунтовано підібрати обладнання, уникнути перевитрати ресурсів та забезпечити стабільність роботи системи [17].

Об'єктом іригації є ділянка площею 1 гектар (100×100 м), призначена для вирощування томатів — культури, яка є однією з найпоширеніших в Україні.

Враховуючи агротехнічні вимоги до поливу томатів, на кожен квадратний метр встановлюється 2 крапельниці [18]. Таким чином, загальна кількість крапельниць становить:

$$N = 100 \text{ м} \times 100 \text{ м} \times 2 = 20\,000 \text{ шт.}$$

Для системи обрано крапельниці зі стандартною витратою 1,5 л/год — це одна з найбільш поширених рішень у фермерських господарствах, оскільки така витрата забезпечує ефективне зволоження кореневої зони без надлишкових втрат вод [19].

Годинна витрата води для всієї ділянки:

$$Q = N \times q. \quad (3.1)$$

Де:

N — кількість крапельниць, шт;

q — витрата однієї крапельниці, л/год.

Підставляючи значення:

$$Q = 20\,000 \times 1,5 = 30\,000 \text{ л/год} = 30 \text{ м}^3/\text{год.}$$

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для томатів оптимальна добова норма поливу становить 8 - 10 л/м², що забезпечується при 6 годинах поливу на добу (1,5 л/год × 6 год = 9 л/м²). Така тривалість дозволяє уникати надмірного зволоження, зменшує втрати на випаровування і відповідає рекомендаціям агрономів [20]. Добова витрата становить:

$$Q_{\text{доб}} = Q \times t = 30 \times 6 = 180 \frac{\text{м}^3}{\text{доб}}. \quad (3.2)$$

Для виконання гідравлічних розрахунків зручно розглянути зменшену ділянку 10×10 м. Такий підхід дає змогу наочно продемонструвати обчислення та масштабувати їх на більшу площу.

Площа — 100 м², кількість крапельниць — 200 шт, витрата — 200 × 1,5 = 300 л/год = 0,0000833 м³/с.

Відповідно до конструкції системи, на кожен метр ширини припадає одна крапельна лінія, довжина якої 10 м. Отже, маємо 10 ліній по 10 м — загальна довжина трубок 100 м. Магістральна труба прокладена вздовж одного боку (10 м), тому ефективна довжина трубопроводів становить:

$$32L = 100 \text{ м} + 10 \text{ м} = 110 \text{ м}.$$

Для визначення внутрішнього діаметра труби скористаємося рівнянням:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}. \quad (3.3)$$

Де:

D — внутрішній діаметр труби, м;

Q — витрата води, м³/с; (на площу 1 га)

v — швидкість потоку, м/с

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Приймаючи швидкість потоку у трубі на рівні $v = 1$ м/с, що відповідає рекомендованим межам для систем з крапельним зрошенням, підставимо значення:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,00833}{3,14 \times 1}} \approx 0,103 \text{ м} \approx 103 \text{ мм.}$$

За результатами розрахунків, оптимальний внутрішній діаметр труби для забезпечення подачі всієї витрати води на 1 га (30 м³/год) при швидкості потоку 1 м/с становить близько 103 мм.

Приймаємо трубу з внутрішнім діаметром 110 мм, що забезпечує запас для зменшення втрат тиску та нормальної роботи при зростанні витрати. Матеріал — поліетилен низького тиску (ПНТ), який стійкий до корозії, ультрафіолету та має низький коефіцієнт шорсткості [21].

Перевіримо швидкість потоку при $D = 0,11$ м:

$$v = \frac{4Q}{\pi \times D^2}. \quad (3.4)$$

Де:

$Q = 0,00833$ м³/с — витрата води (для ділянки 1 га),

$D = 0,11$ м — внутрішній діаметр труби.

Підставимо значення:

$$v = \frac{4 \times 0,00833}{3,14 \times 0,11^2} \approx 0,88 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Це значення підтверджує доцільність вибраного діаметра.

Далі розрахуємо втрати напору за формулою Дарсі–Вейсбаха [22]:

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_f = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}. \quad (3.5)$$

Де:

λ — коефіцієнт гідравлічного опору (приймаємо $\lambda = 0,03$ для пластикових труб при ламінарному або перехідному режимі потоку),

$L = 110$ м — зведена ефективна довжина трубопроводу,

$D = 0,11$ м — діаметр труби,

$v = 0,88$ м/с — швидкість потоку,

$g = 9,81$ м/с² — прискорення вільного падіння.

Підставимо значення:

$$h_f = 0,03 \times \frac{110}{0,11} \times \frac{0,88^2}{2 \times 9,81} \approx 2,6 \text{ м.}$$

Геометрична висота підйому $H_r = 3$ м. Загальний напір [23]:

$$H = h_f + H_r = 2,6 + 3 = 5,6 \text{ м.} \quad (3.6)$$

На основі отриманих значень напору H та витрати Q можна також визначити необхідну гідравлічну потужність насоса за формулою [24]:

$$P = \rho \times g \times Q \times H. \quad (3.7)$$

Де:

P — гідравлічна потужність насоса, Вт;

$\rho = 1000$ кг/м³ — густина води;

$g = 9,81$ м/с² — прискорення вільного падіння;

$Q = 30$ м³/год = $0,00833$ м³/с — витрата води на 1 га;

$H = 5,6$ м — загальний напір.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставимо значення:

$$P = 1000 \times 9,81 \times 0,00833 \times 5,6 \approx 458 \text{ Вт.}$$

З урахуванням коефіцієнта корисної дії насоса $\eta \approx 0,7$, електрична потужність двигуна повинна становити:

$$P_{\text{ел}} = \frac{P}{\eta} \approx \frac{458}{0,7} \approx 654 \text{ Вт} \approx 0,65 \text{ кВт.}$$

Це значення показує, що для ефективної роботи системи з повним одночасним поливом достатньо насоса потужністю до 1 кВт.

3.1 Висновки до розділу 3

Визначено основні параметри системи, необхідні для обґрунтування вибору її компонентів, а саме: загальну кількість крапельниць системи за площею ділянки та агротехнічними вимогами до поливу; годинну та добову витрати води; загальну довжину труб; внутрішній діаметр труби з урахуванням вимог до швидкості потоку води; втрати напору за довжиною трубопроводу, а також гідравлічну та електричну потужності насосу.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІРИГАЦІЇ

4.1 Визначення функціональних вимог до системи

Автоматизована система іригації повинна забезпечувати ефективне використання водних ресурсів під час зрошення сільськогосподарських культур на полі площею 1,0 га. Основне призначення системи полягає у стабільній подачі води в необхідному обсязі з урахуванням поточного рівня вологості ґрунту, наявності води в резервуарі, а також обраного режиму роботи — автоматичного або ручного.

Згідно з математичною моделлю, передбачено встановлення двох крапельниць на кожен квадратний метр площі. Витрата однієї крапельниці становить 1,5 л/год, а загальна кількість крапельниць досягає 20 000 штук. Сумарна витрата води становить 30 000 л/год (30 м³/год), що відповідає потребі в подачі води протягом 6 годин на добу. Визначено, що робочий тиск у системі повинен бути не нижче 6 м водяного стовпа.

Система має забезпечувати контроль вологості ґрунту в реальному часі за допомогою сенсорів, контроль рівня води у резервуарі, а також відображення поточного стану системи на дисплеї. На основі отриманих даних система повинна самостійно запускати або зупиняти насос відповідно до заданих порогів вологості. Також передбачено можливість ручного керування поливом через кнопки «ПУСК» і «СТОП», що дозволяє втручатися у роботу системи під час тестування, обслуговування або в аварійних ситуаціях.

Крім того, для зручності моніторингу передбачається можливість надсилання повідомлень про зміну стану системи до веб-інтерфейсу. Такий підхід дозволяє оперативно реагувати на зміни та здійснювати базову діагностику навіть за відсутності оператора на місці.

Підсумовуючи, функціональні вимоги до автоматизованої системи іригації включають:

- автоматичне керування поливом залежно від поточної вологості ґрунту;

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- стабільну подачу води з продуктивністю 30 м³/год;
- контроль рівня води у резервуарі;
- ручне керування запуском і зупинкою поливу;
- візуальну індикацію режиму роботи на дисплеї;
- передачу повідомлень про стан системи на веб-сервіс;
- забезпечення електробезпеки, включаючи аварійне знеструмлення при необхідності.

4.2 Вибір мікроконтролера

Обчислювальна частина автоматизованої системи іригації виконує функції зчитування сигналів із сенсорів, прийняття логічних рішень відповідно до алгоритму, керування виконавчими пристроями (насосом, індикацією, кнопками), а також передачі даних до зовнішніх пристроїв. Для реалізації зазначеного функціоналу доцільно використати мікроконтролер з достатньою кількістю цифрових і аналогових входів/виходів, підтримкою комунікаційних інтерфейсів (I²C, UART), широкими можливостями програмування і низьким енергоспоживанням.

На першому етапі було розглянуто два варіанти контролерів: Arduino Uno R3 (рис.4.1) [25] та STM32F103C8T6 (плата Blue Pill) (рис.4.2) [26]. Arduino Uno є зручним у використанні, має велику спільноту розробників і підтримку бібліотек, однак поступається STM32 за швидкістю, кількістю периферії та енергетичною ефективністю. У таблиці 4.1 наведено порівняння технічних характеристик обох платформ [25; 26].



Рисунок 4.1 — Мікроконтролер
Arduino UNO R3

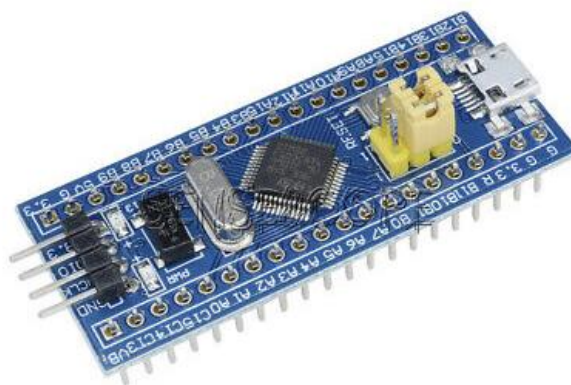


Рисунок 4.2 — Мікроконтролер
STM32F103C8T6

Таблиця 4.1 Порівняльна таблиця технічних характеристик
Arduino Uno та STM32F103C8T6

№	Параметр	Arduino Uno	STM32F103C8T6
1	Ядро	AVR 8-біт (ATmega328P)	ARM Cortex-M3, 32-біт
2	Тактова частота	16 МГц	до 72 МГц
3	ОЗП (SRAM)	2 КБ	20 КБ
4	Флеш-пам'ять	32 КБ	64 КБ
5	Аналогові входи (ADC)	6	до 10 (12-біт)
6	PWM-виходи	6	до 12
7	UART / SPI / I2C	1 / 1 / 1	3 / 2 / 2
8	USB	Тільки програмування	Повноцінний USB-порт
9	Живлення	5 В	3.3 В (з підтримкою 5 В через резистори)
10	Енергоспоживання (робочий режим)	~15–20 мА	~2.5 мА
11	Температурний діапазон	0...+70 °C	–40...+85 °C
12	Підтримка бездротових протоколів	Немає	Можлива інтеграція через UART/I2C
13	Можливість розширення	Обмежена	Висока

Як видно з таблиці 4.1, STM32 значно перевершує Arduino Uno за всіма ключовими параметрами, зокрема: обсягом оперативної пам'яті, кількістю і

розширюваністю інтерфейсів, продуктивністю, енергоспоживанням і температурною стійкістю. Це робить його більш придатним для використання у складних умовах сільськогосподарського середовища, де можливі пил, волога, вібрації, перепади температур та інші фактори, які можуть впливати на стабільність системи. Ці переваги забезпечують підвищену стабільність і масштабованість системи, а також дозволяють безперешкодно реалізовувати додаткові функції, зокрема багатозонне зрошення, бездротовий зв'язок, погодозалежну логіку, архівування даних тощо.

Таким чином, у межах дипломного проєкту з розробки автоматизованої системи іригації для експлуатації на ділянці площею 1,0 га в якості основного мікроконтролера було обґрунтовано обрано STM32F103C8T6, який найбільш повною мірою відповідає поставленим вимогам до функціональності, надійності та енергетичної ефективності системи.

4.3 Вибір сенсорів

Сенсорна підсистема автоматизованої іригаційної системи виконує функцію зчитування інформації про поточний стан середовища, на основі якої приймаються рішення про необхідність поливу. У межах даного проєкту передбачено застосування двох типів сенсорів: сенсора вологості ґрунту та сенсора рівня води у резервуарі.

Для вимірювання вологості ґрунту використано аналоговий сенсор FC-28 (рис. 4.3), що забезпечує безперервне зчитування вологості за допомогою двох металевих електродів, розміщених у ґрунті [27]. Пристрій видає аналоговий сигнал, який змінюється залежно від провідності ґрунту — чим більше вологи, тим нижчий опір і вища напруга на виході. Сенсор підключається до аналогового входу мікроконтролера, що дозволяє реалізувати динамічне регулювання меж порогу поливу. Сенсор працює в діапазоні живлення 3,3–5 В, що дозволяє використовувати його зі STM32 через вбудований компараторний модуль.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивно FC-28 складається з двох частин: вимірювальних щупів і модуля з компаратором на мікросхемі LM393. У цьому проєкті використовується аналоговий вихід A0, оскільки він дозволяє отримувати поступове значення вологості. З метою забезпечення надійної роботи в польових умовах електронна частина сенсора повинна бути розміщена в герметичному корпусі [27].

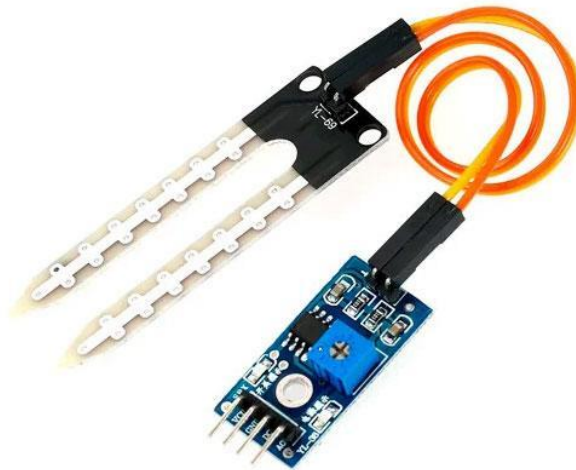


Рисунок 4.3 — Сенсор вологості ґрунту

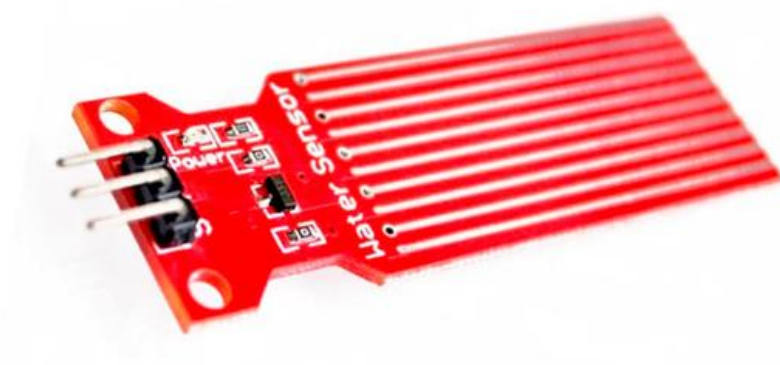
Одним із ключових параметрів автоматичного управління поливом є вибір критичного рівня вологості ґрунту, при якому система активує насос. Це значення визначається експериментально під час калібрування сенсора FC-28. Як правило, аналоговий сигнал FC-28 варіюється в діапазоні 0–1023 (при 10-бітному АЦП), де значення нижче 400–500 вказують на високий рівень вологості, а значення вище 600–700 — на пересихання. У цьому проєкті критичний рівень встановлено на рівні 650, що відповідає помірно сухому ґрунту і потребі у поливі [27].

Для ефективного контролю вологості ґрунту необхідно враховувати розміри зрошуваної ділянки. На полі площею 10×10 м (0,01 га) достатньо встановити 1 сенсор у центрі ділянки або декілька — по кутах і в центрі для підвищення точності. Натомість на полі площею 1 гектар доцільно використовувати щонайменше 9–16 сенсорів, рівномірно розподілених по всій території з урахуванням особливостей рельєфу, типу ґрунту та зони зрошення. Це дозволяє забезпечити репрезентативність

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

даних про вологість та приймати точні рішення щодо запуску або припинення поливу.

Контроль рівня води у резервуарі реалізовано за допомогою поплавкового сенсора T1592 (рис.4.4) — герконового перемикача з магнітним замиканням, який замкнений або розімкнений залежно від положення поплавка [28]. Сенсор працює у двох стабільних станах і підключається до цифрового входу мікроконтролера. Принцип роботи полягає в тому, що коли рівень води падає нижче встановленої межі, поплавок опускається і розмикає контакт, що сигналізує про нестачу води [28].



Риснунок 4.4 — Сенсори рівня води

Сенсор T1592 є надійним рішенням для систем крапельного поливу, завдяки простоті конструкції, низькому енергоспоживанню та герметичному виконанню. Робоча напруга сенсора — до 100 В, максимальний струм — до 0,5 А, що достатньо для логічного входу STM32. Він кріпиться вертикально або горизонтально на стінці резервуара і не потребує складного монтажу [28].

Кількість сенсорів T1592 визначається залежно від об'єму резервуара та розміру зрошуваної ділянки. Для невеликої ділянки площею 10×10 м зазвичай достатньо одного поплавкового сенсора, який контролює нижній критичний рівень води. Проте для забезпечення більш точного контролю рівня у великому баку доцільно використовувати два сенсори — один для фіксації мінімального рівня, інший — максимального. У випадку використання системи на площі 1 гектар ($100 \times$

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

100 м), яка передбачає більший об'єм подачі води та, можливо, декілька резервуарів, доцільно встановити щонайменше два сенсори на кожен бак для безперервного моніторингу. У разі одного великого резервуара — мінімум два сенсори для контролю верхнього і нижнього рівнів є обов'язковими.

Таким чином, вибрані сенсори повністю відповідають функціональним і технічним вимогам системи, мають доступну вартість і легко інтегруються з мікроконтролером.

4.4 Вибір виконавчих елементів

Насос. На основі результатів математичного моделювання, що наведені у відповідному розділі, для забезпечення роботи крапельної системи зрошення на площі 1 гектар із 20 000 крапельниць, кожна з яких має витрату 1,5 л/год, необхідно використовувати насос із продуктивністю не менше 30 м³/год, напором щонайменше 6 метрів та потужністю не нижче 0,7 кВт з урахуванням втрат у трубопроводі та коефіцієнта корисної дії. Ураховуючи конфігурацію системи, зокрема лінійне розміщення крапельниць, відсутність зонального поділу та наявність лише одного контуру поливу, доцільно застосовувати побутовий відцентровий або самовсмоктувальний насос, що забезпечить стабільну подачу води по всій довжині магістралі. Відповідним прикладом є насос моделі LEO AJm75S (рис.4.5), який має потужність 0,75 кВт, максимальний напір 38 метрів і максимальну подачу до 40 літрів за хвилину. Обраний варіант повністю задовольняє вимоги системи, забезпечує необхідний робочий режим, має резерв по потужності та дозволяє врахувати майбутнє розширення або зміну конфігурації системи без потреби додаткової заміни обладнання [29].

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.5 — Насос LEO AJm75S

Електричний клапан. У системах крапельного зрошення електромагнітні (соленоїдні) клапани виконують важливу функцію автоматичного керування подачею води до зрошувальної лінії. Вони відкривають або перекривають потік води залежно від сигналу, отриманого від контролера або реле. Для ефективної роботи автоматизованої системи зрошення необхідно обрати клапан, що відповідає ряду технічних вимог, а саме: робочій напрузі сумісній з системою керування, пропускній здатності, тиску в лінії, надійності та швидкості реакції.

Основними критеріями вибору є:

- Робоча напруга — клапан повинен працювати від 12 В постійного струму, що є стандартним у більшості систем з Arduino або STM32.
- Діаметр з'єднання — відповідність діаметру трубопроводу (у даному випадку 1/2 дюйма достатньо для ліній крапельного поливу).
- Пропускна здатність — має бути достатньою для забезпечення витрати 30 м³/год.
- Робочий тиск — клапан повинен витримувати тиск до 1.5 бар (≈15 м водяного стовпа), що відповідає умовам у системі.
- Матеріал корпусу — стійкий до корозії та зовнішніх впливів.

З огляду на ці вимоги, оптимальним варіантом для використання в проєкті є електромагнітний клапан DIYMORE 12В 1/2" (рис.4.6) [26]. Він працює при напрузі 12 В, підходить для систем поливу, має латунний корпус, стандартне різьбове з'єднання та витримує тиск до 0.8 МПа, що значно перевищує необхідний тиск у системі [30]. Клапан має невеликі габарити, низьке енергоспоживання та швидкий час відкриття, що дозволяє ефективно інтегрувати його в систему з мікроконтролером та релейним модулем.



Рисунок 4.6 — Клапан електромагнітний

Кількість електромагнітних клапанів залежить від розміру зрошуваної ділянки та структури системи. Для ділянки 10×10 м (100 м^2) зазвичай достатньо одного клапана, оскільки вся зона може поливатися одночасно з однієї магістралі. У випадку з ділянкою площею 1 га (100×100 м) рекомендується використовувати зонування, що дозволяє розділити ділянку на кілька секторів для поетапного поливу. У такому випадку доцільно встановити 3–4 електромагнітні клапани, які керують подачею води до окремих ліній, що зменшує навантаження на насос і дозволяє більш гнучко керувати поливом. Якщо ж система реалізується без зонування, то один потужніший клапан на головній лінії може бути достатнім, за умови, що його пропускна здатність відповідає повній витраті води.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Реле. Для автоматизованого керування силовими елементами системи зрошення, зокрема водяним насосом і електромагнітним клапаном, доцільно використовувати електромагнітні реле, які дозволяють замикати та розмикати коло змінного струму високої напруги за допомогою сигналу низької напруги від мікроконтролера.

Оскільки насос працює від мережі змінного струму 220 В і має потужність приблизно 0.7–1.1 кВт, необхідне реле повинне витримувати щонайменше 5 А навантаження. Електромагнітний клапан також працює від 12 В постійного струму, але для зручності управління обома елементами системи можна використати двоканальний модуль реле, який дозволяє керувати двома навантаженнями одночасно.

Основні вимоги до реле:

- Кількість каналів — не менше 2 (окремо для насоса і клапана);
- Тип живлення модуля — 5 В або 3.3 В (в залежності від напруги логіки мікроконтролера);
- Максимальна сила струму — не менше 10 А для 220 В, не менше 2 А для 12 В;
- Гальванічна розв'язка — бажано наявна, для захисту мікроконтролера від високовольтної частини.

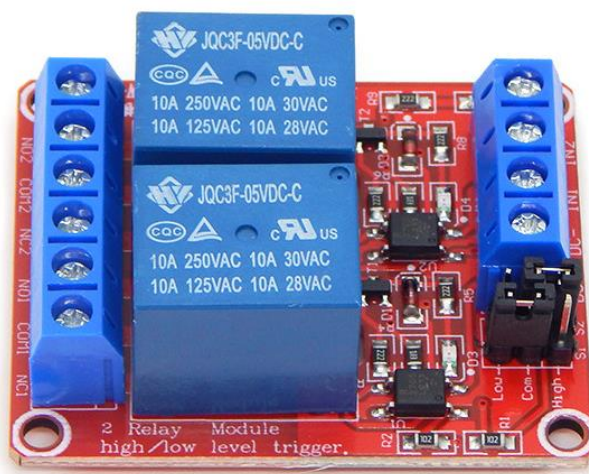


Рисунок 4.7 — Модуль релейний 2-х каналний

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Враховуючи вищенаведені вимоги, доцільно використати двоканальний модуль реле 5 В (рис.4.7) [31], який підтримує перемикання навантажень до 10 А при 250 В АС або 10 А при 30 В DC. Він сумісний з Arduino, STM32, ESP та іншими мікроконтролерами, має світлодіодну індикацію та гальванічну розв'язку.

Для реалізації базової конфігурації системи, яка включає один насос і один електромагнітний клапан, достатньо використання двоканального релейного модуля. Один канал забезпечує керування живленням насоса, інший — керування відкриттям і закриттям клапана.

У разі реалізації зонованої системи поливу, наприклад, для ділянки площею 1 га, кількість електромагнітних клапанів може бути збільшена до 3–4, відповідно виникає потреба у використанні чотири- або восьмиканального релейного модуля. Це дозволяє незалежно керувати кожною зоною поливу, активуючи відповідний клапан у потрібний час. Таким чином, кількість реле напряму залежить від архітектури системи: для ділянки 10×10 м достатньо одного двоканального реле, тоді як для великої ділянки з зонуванням — до чотирьох реле або багатоканального модуля.

Індикатор. Для візуального контролю стану системи зрошення доцільно використовувати простий світлодіодний індикатор, який сигналізуватиме про активний режим поливу. Такий індикатор дозволяє оператору або користувачу системи швидко визначити, чи подається вода на поле, без необхідності переглядати інформацію на дисплеї або підключатися до контролера.

До основних вимог до індикатора належать:

- Низьке енергоспоживання — бажано не більше 20 мА;
- Мінімальна напруга живлення — сумісність із логікою 3.3 В або 5 В;
- Яскравість — достатня для візуального спостереження на відкритому повітрі;
- Компактність — можливість інтеграції в корпус або монтажну панель.

З огляду на ці вимоги, доцільним вибором є стандартний світлодіод (LED) 5 мм червоного або зеленого кольору (рис. 4.8) [32], з відповідним резистором для обмеження струму. Наприклад, для живлення від 5 В рекомендовано використовувати резистор номіналом 220–330 Ом для захисту світлодіода від надмірного струму.



Рисунок 4.8 — Світлодіод червоний

Світлодіод можна безпосередньо підключити до одного з цифрових виходів мікроконтролера через обмежувальний резистор, або до виходу модуля реле, якщо потрібне індикування реального стану навантаження. У системі з STM32 або Arduino такий індикатор легко інтегрується в прошивку як звичайний елемент керування, і не потребує складного налаштування [32].

Кнопки. Для забезпечення можливості ручного керування системою зрошення, зокрема запуску та зупинки поливу, необхідно передбачити дві окремі кнопки: ПУСК — для ручного запуску поливу, та СТОП — для його примусового завершення. Це особливо важливо у випадках, коли користувач бажає перевірити роботу системи або здійснити зрошення поза межами автоматичного режиму.

Основні вимоги до вибраних кнопок:

- Нормально розімкнені (NO) — замикання відбувається тільки під час натискання;

- Живлення від 3.3 В або 5 В — сумісність з мікроконтролерами Arduino або STM32;
- Механічна надійність — розраховані на $\geq 10\,000$ циклів натискання;
- Компактність і монтаж — зручні для монтажу на корпусі або панелі;
- Легкість у зчитуванні сигналу — стабільний цифровий імпульс при натисканні.

Для цього проєкту доцільно використати кнопки типу «тактові» (tactile push button) 12×12 мм (рис. 4.9) [33], які мають компактні розміри, легко інтегруються в макетні та друковані плати, надійно зчитуються мікроконтролером і не потребують великого зусилля для натискання [33].



Рисунок 4.9 — Кнопки тактові квадратні

Кнопки підключаються до цифрових входів контролера через підтягувальний резистор (вбудований або зовнішній), а логіка обробки події натискання реалізується програмно. Для зручності, кнопки можуть бути позначені написами «ПУСК» і «СТОП» на корпусі або наклейками.

Перемикачі. Для реалізації зручного та зрозумілого керування автоматизованою системою зрошення передбачено використання двох тумблерних перемикачів. Перший відповідає за вмикання або вимикання всієї системи,

включаючи контролер, дисплей, сенсори та виконавчі механізми керування. Другий забезпечує вибір між ручним та автоматичним режимом керування поливом.

При виборі перемикачів враховувались такі технічні вимоги: вони повинні працювати з логікою 3.3 В або 5 В, мати чітке фіксоване положення, бути сумісними з монтажем у корпус системи, а також витримувати щонайменше 10 тисяч механічних циклів. Важливою є також простота зчитування сигналу перемикачів мікроконтролером без потреби в додатковій електроніці.

Оптимальним вибором є тумблерні перемикачі типу MTS-102 (рис.4.10) [34], які мають два положення (ON-ON), надійний механізм керування перемикачів, металевий корпус, стандартне різьбове кріплення для встановлення в корпус або монтажну панель. Ці перемикачі дозволяють напряду підключити їх до цифрових входів мікроконтролера через внутрішній підтягувальний резистор, а програмне забезпечення зчитує їхній стан для визначення режиму роботи системи [34].



Рисунок 4.10 — Тумблер MTS-102

4.5 Вибір інтерфейсів для взаємодії з користувачем

Інтерфейс користувача в системі автоматизованого зрошення є ключовим елементом, що забезпечує зручне спостереження за станом системи та можливість керування нею. Враховуючи вимоги до простоти, наочності, енергоефективності та

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

сумісності з мікроконтролером STM32, було прийнято рішення використовувати дисплей для виведення інформації, а також апаратні елементи введення — кнопки, перемикачі та індикатори.

Основним засобом виведення даних є LCD-дисплей 1602 з інтерфейсом I²C (рис.4.11), який дозволяє зменшити кількість використаних виводів мікроконтролера та забезпечує зручне форматування інформації [35]. На дисплеї відображається поточний рівень вологості ґрунту, статус системи (увімкнена чи вимкнена), режим роботи (автоматичний або ручний), а також повідомлення про стан води у резервуарі. Вибір саме цієї моделі дисплея обумовлений її компактністю, низьким енергоспоживанням, достатньою кількістю символів для базових повідомлень, а також широкою сумісністю з платформами Arduino і STM32 [33].



Рисунок 4.11 — LCD-дисплей 1602 з інтерфейсом I2C

Для введення команд користувачем передбачено використання двох кнопок — ПУСК і СТОП — для запуску та зупинки поливу, відповідно, а також двох перемикачів: один відповідає за загальне увімкнення системи, інший — за вибір між ручним та автоматичним режимом. Для візуального підтвердження активності системи використано світлодіодний індикатор, який світиться під час увімкненого поливу.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такий набір інтерфейсів є достатнім для локального керування та моніторингу системи без потреби підключення до мережі або зовнішніх контролерів. У разі подальшої модернізації може бути додано віддалене керування через бездротові протоколи, однак у межах цього проєкту обрано локальну реалізацію.

4.6 Вибір джерел живлення

Надійне електроживлення є критично важливим для стабільної роботи автоматизованої системи крапельного зрошення, оскільки воно забезпечує безперебійну подачу енергії як до силових елементів (насоса, клапана), так і до логічних компонентів (мікроконтролера STM32, сенсорів, дисплея, індикаторів). У проєктованій системі як основне джерело використовується стандартна побутова мережа змінного струму 220 В.

На основі цього джерела організовано два незалежні контури: силовий та логічний. Силовий контур живить насос, який працює безпосередньо від змінної напруги 220 В і має споживану потужність приблизно 0.7–1.1 кВт. Для захисту цього кола використовується плавкий запобіжник номіналом 10 А, встановлений на фазному провіднику перед релейним модулем. Це дозволяє уникнути перевантажень, коротких замикань і мінімізувати ризики ушкодження обладнання в разі аварійної ситуації.

Логічний контур, у свою чергу, живиться стабілізованою напругою 5 В постійного струму. Для цього застосовується компактний імпульсний модуль HLK-PM01 (рис.4.12), який перетворює 220 В AC на 5 В DC з максимальним струмом до 600 мА [36]. Оскільки до логічного кола підключено мікроконтролер STM32, релейний модуль з оптоізоляцією, сенсор вологості ґрунту FC-28, LCD-дисплей з інтерфейсом I²C та індикатори, додатково встановлюється мініатюрний запобіжник номіналом 1 А на виході модуля живлення. Це забезпечує захист мікроелектроніки від коротких замикань і раптових стрибків струму в підключених пристроях.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.12 — Модуль AC-DC понижуючий з 220В на 5В 600мА HLK-PM01

Розділення живлення на силову і логічну частини дозволяє значно знизити рівень електромагнітних завад, які виникають під час роботи насоса як індуктивного навантаження. Окрім цього, гальванічна розв'язка в релейному модулі ізолює високовольтну частину від мікроконтролера, що підвищує безпеку системи.

Усі компоненти підключаються до спільного проводу заземлення для уникнення потенційної різниці між логічними та силовими рівнями. Запобіжники встановлюються у доступних для обслуговування місцях, що спрощує діагностику та ремонт [37].

Передбачено також можливість заміни стаціонарного джерела живлення на акумуляторний блок із модулем заряду. Така опція дозволяє адаптувати систему до умов віддалених ділянок, де відсутнє електропостачання.

Таким чином, схема живлення системи базується на одному джерелі змінного струму з поділом на два контури. Такий підхід забезпечує енергоефективність, простоту реалізації та високий рівень електробезпеки для польових умов експлуатації.

4.7 Вибір модуля бездротового з'єднання

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Для розширення функціональності автоматизованої системи крапельного зрошення передбачено можливість бездротової передачі даних з мікроконтролера STM32 до веб-інтерфейсу. Це дозволяє віддалено отримувати повідомлення про поточний стан системи, зокрема активацію або завершення поливу, нестачу води в резервуарі, зміну режиму роботи та інші дії. Такий підхід підвищує зручність моніторингу, особливо в умовах відсутності постійної присутності оператора на місці встановлення системи.

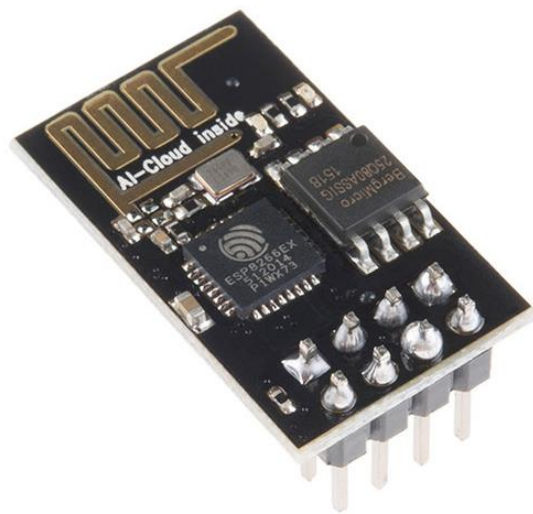


Рисунок 4.13 — Wi-Fi модуль ESP8266

З огляду на сумісність з STM32, енергоефективність, підтримку мережевих протоколів (TCP/IP, HTTP), можливість підключення до локальної Wi-Fi-мережі, а також широке поширення в мікроконтролерних проєктах, доцільно використати модуль ESP8266 ESP-01 (рис.4.13). Цей модуль підтримує стандарт Wi-Fi 802.11 b/g/n, працює на частоті 2.4 ГГц, має компактні розміри та може працювати як клієнт або як веб-сервер, що дає змогу реалізувати веб-інтерфейс без використання зовнішнього сервера [38].

Модуль працює на напрузі 3.3 В, тому підключення до STM32 здійснюється без необхідності в логічному перетворенні рівнів. Передача даних здійснюється через UART-інтерфейс (RX/TX), що повністю сумісний із можливостями STM32. Для зручності ініціалізації з'єднання та налаштування параметрів мережі

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

використовується бібліотека AT-команд або прошивка з підтримкою Arduino IDE/PlatformIO.

Використання ESP8266 дає змогу організувати простий веб-сервер, на якому відображатиметься статус системи в реальному часі, або надсилати HTTP-запити на зовнішній сервер чи Telegram-бот при зміні стану поливу. У подальшому це дозволить інтегрувати систему в розумну аграрну інфраструктуру або IoT-платформи для централізованого управління поливом.

4.8 Висновки до розділу 4

На основі техніко-економічного аналізу здійснено обґрунтований вибір елементної бази для побудови автоматизованої системи зрошення ділянки площею 1,0 га. Враховано вимоги щодо автоматичного і ручного режимів, контролю вологості, рівня води та індикації стану.

Вибір мікроконтролера на базі ARM Cortex-M3 здійснено через його високі технічні характеристики, енергоефективність та гнучкість підключення. Сенсорна частина системи забезпечує високу точність вимірювань у польових умовах. Обрані виконавчі пристрої — насос, клапан, реле, індикатори та елементи керування — повністю відповідають експлуатаційним умовам і забезпечують стабільну роботу згідно з алгоритмом.

Особливу увагу приділено організації живлення з поділом на силову та логічну частини для підвищення електробезпеки. Передбачено підключення бездротового модуля для віддаленого моніторингу, що сприяє інтеграції з IoT-системами.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ВІРТУАЛЬНА СИМУЛЯЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

5.1 Розробка структурної схеми

Структурна схема є узагальненим функціональним представленням взаємодії основних складових технічної системи. Вона дозволяє візуалізувати логічні зв'язки між елементами без деталізації електричних з'єднань і використовується на етапі проєктування для планування архітектури системи, аналізу взаємодії між модулями та визначення загальної структури керування [21].

На рисунку 5.1 представлено структурну схему розроблюваної автоматизованої системи іригації полів. Система функціонує на основі мікроконтролера STM32, до якого підключено основні функціональні блоки: сенсори, виконавчі пристрої, індикація, блок живлення та модуль зв'язку.

У якості джерела електроенергії використовується мережа змінного струму 220 В. Для забезпечення безпеки силової частини передбачено запобіжник, після чого енергія подається на імпульсний блок живлення 5 В / 2 А. Через перемикач логічного живлення та стабілізатор 3.3 В напруга надходить до логічної частини, де додатково встановлено захист за допомогою запобіжника логічного кола.

Керування системою здійснює мікроконтролер, до якого підключено:

- сенсор вологості ґрунту, що передає аналоговий сигнал про рівень вологості;
- поплавковий сенсор рівня води, який фіксує наявність води у резервуарі;
- кнопку «ПУСК» для активації ручного режиму;
- кнопку «СТОП» для зупинки системи;
- дисплей для виведення інформації;
- індикатор роботи для візуалізації активності системи.

надається за запитом до авторів

Рисунок 5.1 — Структурна схема системи іригації

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Блок бездротової передачі даних підключено до мікроконтролера. Він забезпечує можливість передавання даних до веб-інтерфейсу для моніторингу поточного стану системи та повідомлень про виконані дії [22].

Система керування водопостачанням реалізована через двоканальне реле, яке керує електромагнітним клапаном і насосом. Це дає змогу автоматично подавати або припиняти подачу води в залежності від сигналів із сенсорів або команд користувача.

Структурна схема дає змогу логічно організувати функціональні елементи системи, забезпечити їхню взаємодію та передбачити ефективну організацію апаратної частини [21].

5.2 Розробка принципової електричної схеми

Принципова електрична схема є деталізованим представленням з'єднань між усіма компонентами системи автоматизованого поливу. Вона дозволяє реалізувати логіку взаємодії пристроїв на фізичному рівні та забезпечує чітке уявлення про типи сигналів, рівні напруги, точки підключення та необхідні елементи захисту [21].

надається за запитом до авторів

Рисунок 5.2 — Принципова електрична схема іригаційної системи

На рисунку 5.2 наведено принципову електричну схему, яка включає в себе такі функціональні блоки:

Живлення. Живлення системи здійснюється від мережі 220 В змінного струму, через запобіжник на 5 А, після чого напруга подається на модуль імпульсного живлення HLK-PM01, який перетворює 220 В у стабільні 5 В постійного струму. Додатково передбачено ще один запобіжник на 1 А та перемикач живлення. Для живлення модулів з логікою на 3.3 В використано стабілізатор AMS1117-3.3, який знижує напругу з 5 В до 3.3 В.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Контролер. Центральним елементом є мікроконтролер STM32. Він керує всіма сенсорами, виконавчими пристроями та засобами індикації. До нього підключені:

- Сенсор вологості ґрунту FC-28, що має аналоговий вихід A0 та цифровий вихід D0. У схемі використовується аналоговий сигнал для точнішого контролю рівня вологості.
- Поплавковий сенсор рівня води, підключений до цифрового входу STM32 через резистор підтягування.
- Дві кнопки керування — "ПУСК" та "СТОП", підключені до окремих GPIO з резисторами підтягування на 10 кОм.
- Індикатор роботи (LED1), підключений через резистор до одного з виходів мікроконтролера.
- LCD дисплей 1602 з інтерфейсом I2C, підключений до ліній SDA та SCL через відповідні порти STM32.
- Модуль ESP8266 ESP-01, який забезпечує бездротове передавання даних через UART-інтерфейс. Для стабільної роботи ESP8266 використано окремий блок живлення 3.3 В та базове обв'язування (резистори, конденсатори, кнопка Reset).

Керування водопостачанням. До мікроконтролера також підключено двоканалне реле (Relay Board), яке керує двома потужними навантаженнями — електромагнітним клапаном (U6) та насосом (M1), що працюють на 220 В. Виходи OUT1 та OUT2 забезпечують замикання ланцюга при активації відповідного GPIO.

Принципова електрична схема також включає елементи захисту та фільтрації (конденсатори, резистори), що забезпечують стабільну роботу мікросхем у реальних умовах.

Завдяки правильній організації елементів живлення, захисту та управління схема є безпечною, надійною та придатною до реалізації на макетній або друкованій платі.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Розробка блок-схеми алгоритму

Для забезпечення ефективного функціонування автоматизованої системи іригації необхідно чітко визначити алгоритм її роботи. Блок-схема є формалізованим способом представлення логіки керування, що дозволяє наочно відобразити порядок дій, умови прийняття рішень та переходи між станами системи [21].

Умовно її можна поділити на три логічні гілки: Алгоритм роботи системи можна умовно поділити на три логічні гілки (рис. 5.4, Частина 1 і Частина 2):

- загальне ініціалізаційне коло;
- алгоритм роботи в автоматичному режимі;
- алгоритм роботи в ручному режимі.

надається за запитом до авторів

Рисунок 5.4 — Блок-схема роботи системи іригації

Після запуску системи (позиція 1), виконується ініціалізація всіх компонентів, зокрема реле, кнопок, сенсорів (вологості, рівня води), OLED-дисплея та LCD (позиція 2). Далі здійснюється перевірка, чи система увімкнена (позиція 3). Якщо вона вимкнена, виконання завершується (позиція 4), інакше відбувається зчитування значень з усіх сенсорів (позиція 5):

- вологості ґрунту (аналоговий вхід A0);
- рівня води (цифровий вхід D2);
- положення перемикача режиму (D11).

надається за запитом до авторів

Рисунок 5.4 — Блок-схема роботи системи іригації (закінчення)

На основі даних виконується перевірка рівня води (позиція 6). Якщо вода відсутня, система переходить у стан аварії: полив припиняється, виводиться повідомлення "Lack of water", і цикл повторюється (позиція 7). Якщо вода є,

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

програма переходить до визначення режиму роботи — автоматичного або ручного (позиція 8).

У випадку автоматичного режиму, система перевіряє рівень вологості ґрунту (позиція 9). Якщо вологість нижча за встановлений поріг, виконується активація поливу: вмикається реле, насос і клапан, на дисплей виводиться повідомлення "Irrigation ON" (позиція 10). Після завершення поливу або досягнення порогу вологості, система вимикає реле та відображає "Irrigation OFF" (позиція 11), після чого повертається на початок циклу.

У ручному режимі система реагує на натискання кнопки "ПУСК" (позиція 12). Якщо вода в системі наявна, насос і клапан вмикаються, виводиться повідомлення "Manual: ON" (позиція 13). У разі нестачі води знову формується повідомлення "Low water level". Натискання кнопки "СТОП" (позиція 14) зупиняє полив і формує повідомлення "Manual: OFF" (позиція 15), після чого оновлюється інформація на дисплеї (позиція 16).

Запропонований алгоритм забезпечує роботу системи в двох режимах, з можливістю аварійного вимкнення у разі нестачі води, а також інформування користувача про всі дії системи через інтерфейс відображення.

5.4 Розробка симуляції роботи системи

Для попередньої перевірки функціональної працездатності автоматизованої системи крапельного зрошення перед створенням фізичного прототипу було виконано її віртуальне моделювання у середовищі Wokwi — сучасному онлайн-емуляторі мікроконтролерних систем. Такий підхід дозволяє тестувати логіку роботи програмного забезпечення, перевіряти взаємодію між компонентами та аналізувати поведінку інтерфейсу користувача без необхідності фізичного складання схеми. Крім того, симуляція дозволяє оперативно виявляти помилки, налагоджувати алгоритм роботи та здійснювати корекцію програмного коду в безпечному середовищі [39].

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

З огляду на обмеження Wokwi щодо підтримки платформ STM32, для моделювання було використано мікроконтролер Arduino Uno, який забезпечує базову функціональність для перевірки основних алгоритмів. У симуляційній схемі реалізовано повну логіку роботи автоматизованої системи поливу в спрощеному вигляді, що включає модулі керування, сенсори, інтерфейс та виконавчі елементи.

У процесі моделювання реальні компоненти були замінені на віртуальні або еквівалентні елементи, що дозволяють відтворити їхню поведінку:

Насос та електромагнітний клапан замінено світлодіодними індикаторами: червоний індикатор позначає стан насоса, синій — стан клапана. Їх увімкнення та вимкнення здійснюється через двоканальний релейний модуль, що керується сигналами з цифрових виходів мікроконтролера. Таким чином реалізовано індикацію активного стану поливу.

Сенсор вологості ґрунту FC-28 у симуляції замінено потенціометром, підключеним до аналогового входу Arduino. Обертання ручки потенціометра дозволяє плавно змінювати вхідну напругу, що моделює зміну рівня вологості ґрунту. Це дає можливість перевірити реакцію системи на зміну параметрів навколишнього середовища, а також правильність визначення порогового значення вологості, при якому запускається або зупиняється полив.

Поплавковий сенсор рівня води T1592 змодельовано за допомогою двопозиційного перемикача. У положенні ON система отримує сигнал про достатній рівень води в резервуарі, у положенні OFF — імітується ситуація нестачі води, при якій подача води припиняється. Це дозволяє перевірити роботу аварійного захисту системи.

Кнопки керування системою — «ПУСК», «СТОП», перемикач автоматичного/ручного режиму, а також головний вимикач — реалізовано як окремі тактові кнопки і перемикачі, підключені до цифрових входів мікроконтролера. Це дозволяє перевірити ручне керування процесом поливу та поведінку системи в різних режимах. Наприклад, після натискання кнопки «ПУСК» в ручному режимі має відбутися активація поливу незалежно від рівня вологості, а в автоматичному — лише при значенні вологості вище критичного порогу.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

LCD-дисплей 1602 з інтерфейсом I²C використовується для виведення основної інформації про стан системи. У першому рядку відображається поточне значення вологості у відсотках, а в другому — статус поливу: «Irrigation: ON» або «Irrigation: OFF». Така реалізація дозволяє оператору в режимі реального часу контролювати основні параметри без потреби у зовнішньому обладнанні.

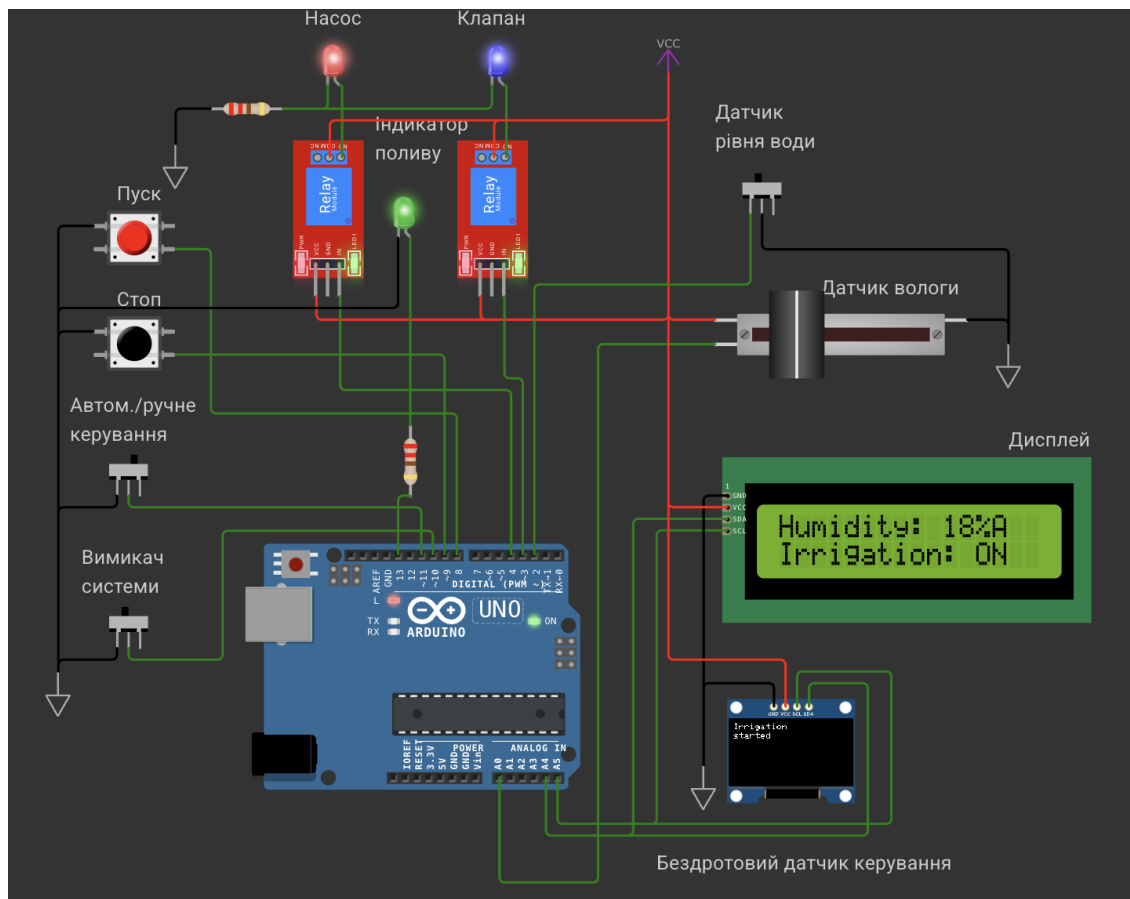


Рисунок 5.1 — Симуляція роботи системи іригації у середовищі Wokwi

Бездротове повідомлення про стан системи реалізовано у вигляді додаткового OLED-дисплея, який імітує текстові повідомлення, що можуть надсилатися у реальному застосуванні через Wi-Fi-модуль ESP8266. Наприклад, при зміні режиму роботи, нестачі води або активації поливу на дисплей виводяться повідомлення «Irrigation started», «Low water level», «Manual: OFF» тощо. Це дозволяє перевірити функцію сповіщення, яка у фізичній версії системи буде реалізована через веб-інтерфейс або месенджер.

На рисунку 5.1 зображено повну структурну схему симульованої системи. Усі з'єднання відповідають реальному макетуванню: кнопки підключено через підтягувальні резистори, реле керуються логічними виходами, дисплеї підключено до шин I²C і відповідних контактів живлення, потенціометр — до аналогового входу А0.

Результати симуляції засвідчили правильність роботи розроблених алгоритмів. При зниженні вологості нижче порогового значення система автоматично активує полив за умови наявності води. У випадку перемикавання на ручний режим — полив вмикається тільки за командою оператора. Система коректно реагує на сигнали з усіх сенсорів, перемикачів і кнопок, а дисплеї відображають актуальний стан у зручному для користувача форматі. Здійснено повне налагодження коду, включно з реалізацією пріоритетів команд, перевіркою стану кожного сенсора перед запуском поливу та обробкою виняткових ситуацій.

Таким чином, віртуальне моделювання в середовищі Wokwi дало змогу всебічно протестувати функціональність системи, перевірити правильність логіки керування та оптимізувати програмне забезпечення до етапу апаратної реалізації. Такий підхід дозволив значно скоротити час на розробку, мінімізувати ризики помилок та забезпечити впевненість у працездатності системи ще до збирання фізичного прототипу.

5.5 Висновки до розділу 5

У розділі проаналізовано процес віртуального моделювання роботи системи. Розроблена структурна та електрична схеми, що відображають логіку взаємодії між STM32, сенсорами, виконавчими елементами, інтерфейсами індикації та модулем зв'язку.

Блок-схема алгоритму формалізує логіку роботи як в автоматичному, так і в ручному режимах, із врахуванням ключових параметрів, таких як вологість ґрунту та рівень води. Передбачено аварійний захист, що дозволяє уникати пошкоджень у критичних ситуаціях.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Симуляція у Wokwi підтвердила правильність роботи програмної частини, взаємодії компонентів і інтерфейсів.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєкту на тему «Система автоматизованого поливу полів» здійснено повний цикл розробки технічного рішення, спрямованого на підвищення ефективності водозабезпечення сільськогосподарських культур шляхом застосування крапельного поливу з елементами автоматичного керування. Основний зміст отриманих результатів окреслюється наступним:

1. Розглянуто основні компоненти та класифікацію іригаційних систем, на підґрунті аналізу існуючих технічних рішень запропоновано створення системи крапельного зрошення. Обґрунтовано структурний склад системи іригації, розроблено її гідравлічну схему.

2. Розраховано гідравлічні параметри системи з урахуванням агротехнічних вимог, що дозволило обґрунтувати характеристики насосу.

3. Обґрунтовано функціональні вимоги до системи та вибір основних елементів, зокрема, мікроконтролера, сенсорів вологості ґрунту та рівня води, а також виконавчих пристроїв, а саме насосу, електромагнітних клапанів та периферійних пристроїв, джерел живлення, модуля бездротового з'єднання.

4. Здійснено вибір апаратної бази, яка відповідає функціональним вимогам до системи: автоматичне й ручне керування, моніторинг середовища, індикація стану та можливість віддаленого доступу. Особливу увагу приділено поділу живлення на силову та логічну частини з метою забезпечення електробезпеки та стабільної роботи. Створено принципова електричну схему системи.

5. Здійснено віртуальну симуляцію в середовищі Wokwi, що підтвердила працездатність апаратної та програмної частин.

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

- [1] Яценко В. О., Пилипчук О. С. Перспективи впровадження автоматизованих систем поливу на основі мікроконтролерів Arduino // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2021. – Вип. 2(14). – С. 56–63. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Teh_energo/article/view/13934
- [2] Петренко С. І., Іващенко О. М. Сучасні технології автоматизації процесів фертигації та клімат-контролю в тепличному господарстві // Інженерія водних ресурсів. – 2020. – №2(18). – С. 44–51. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://irriguard.com.ua/index.php/journal/article/view/77>
- [3] Що таке зрошувальна система – Іригаційна система [Електронний ресурс] // YiBiYuan. – Режим доступу: <https://ua.yby-irrigation.com/info/what-is-an-irrigation-system-82472443.html>ua.yby-irrigation.com
- [4] The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point [Електронний ресурс] / Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (FAO). – Рим: FAO, 2021. – 395 с. – Режим доступу: <https://www.fao.org/3/cb7654en/cb7654en.pdf>.
- [5] Сухорукова Г. Економічні вигоди від впровадження точного землеробства [Електронний ресурс] // Kyivstar Business Hub. – Режим доступу:
<https://hub.kyivstar.ua/articles/ekonomichni-vygody-vid-vprovadzhennya-tochnogo-zemlerobstva>
- [6] Добровольський Д.Д. Система моніторингу для розумного дому (клієнтська частина): бакалаврський дипломний проєкт / Національний технічний університет України "КПІ ім. Ігоря Сікорського". – Київ, 2020. – 58 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/34845/1/Dobrovolskyi_bakalavr.pdf
- [7] Назар Демчан. Розробка автоматизованої системи поливу з використанням мікроконтролерів Arduino та ESP32 / Кваліфікаційна робота. – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2023. – 58 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/45996/2/Nazar_Demchan.pdf

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- [8] Netafim. Precision irrigation solutions [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.netafim.com>
- [9] Rain Bird. Smart irrigation systems and controllers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rainbird.com>
- [10] OpenSprinkler: Open-Source Sprinkler Controller for Raspberry Pi and Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://opensprinkler.com>
- [11] Et-taibi, B., Abid, M. R., Boufounas, E.-M., Morchid, A., Bourhnane, S., Abu Hamed, T., & Benhaddou, D. (2024). Enhancing water management in smart agriculture: A cloud and IoT-based smart irrigation system. Smart Agricultural Technology, 6, 100538. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100538>
- [12] Дощування чи крапельне зрошення: що ефективніше? [Електронний ресурс] // АгроЕліта. – 28.06.2021. – Режим доступу: <https://agroelita.info/doshchuvannia-chy-krapelne-zroshennia-shcho-efektyvnishe/>
- [13] Популярні виробники систем автополиву: лідери ринку та їхні переваги [Електронний ресурс] // Avtopoliv.com.ua. – Режим доступу: <https://avtopoliv.com.ua/populiarni-vyrobnyky-system-avtopolyvu-lidery-rynku-ta-yikhni-perevahy/>
- [14] Крапельне зрошення – переваги використання [Електронний ресурс] // Аква Рельєф. – Режим доступу: https://www.aquarelief.kiev.ua/blog/krapelne_zroshennya/
- [15] Структурна схема — Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Структурна_схема
- [16] ESP8266 ESP-01 Wi-Fi модуль – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/esp8266-esp-01-wifi-modul>
- [17] Копчак С. Ю. Технічне проектування систем зрошення: навчальний посібник. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nau.edu.ua/ua/menu/un%D1%96versitet/departments/biblioteka.html>
- [18] Землеробство: адаптивні інтенсивні технології зернобобових, круп'яних і олійних культур. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zemlerobstvo.com/napryami-doslidzhenn/tehnologiyi-zernovih-zernobobovih->

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

i-kormovih-kultur/adaptivni-intensivni-tehnologiyi-zernobobovih-krup-yanih-i-olijnih-kultur/

[19] Розрахунок і проєктування систем краплинного поливу. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agrarii-razom.com.ua/article/rozrahunok-i-proektuvannya-sistem-kraplinnogo-polivu>

[20] Крапельне зрошення томатів у відкритому ґрунті: рекомендації. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agroportal.ua/news/novosti-kompanii/krapelne-zroshennya-tomativ-u-vidkritomu-grunti>

[21] Поліетиленові труби для крапельного зрошення. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://irritec.com.ua/products_irritec/kapelnoe-oroshenie.html#tube

[22] Степанюк С. І. Теплові процеси в аграрних технологіях: методичні матеріали. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ci.kpi.ua/METODA/stepanuk_teplovi_paht_1.pdf

[23] Лекція 5. Гідравлічний розрахунок трубопроводів – [Електронний ресурс] / Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Д. Моторного. – Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/lekcija-5-hidravlichnyj-rozrahunok-truboprovodiv.pdf>. – Назва з екрана.

[24] Гідравлічні характеристики насосів і мережі – [Електронний ресурс] / Stud.com.ua. – Режим доступу: https://stud.com.ua/33953/tovaroznavstvo/odravlichni_harakteristiki_nasosiv_merezh і. – Назва з екрана.

[25] Arduino UNO Rev3 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno

[26] STM32F103C8T6 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://1wire.com.ua/stm32f103c8t6-otladochnaja-plata.html>

[27] Модуль гігрометра для Arduino FC-28 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronica.in.ua/ua/p1530387490-modul-gigrometra-dlya.html>

[28] Поплавковий сенсор рівня води T1592 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/267820626/p267820626/>

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- [29] Насос центробіжний LEO AJm75S – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/283985333/p283985333/>
- [30] Клапан електромагнітний 12V 1/2" DIYMORE – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://detalipro.in.ua/klapan-elektromagnitnij-12-12v-diymore>
- [31] Модуль релейний 2-канальний 5В, 10А з оптоізоляцією – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinoakit.com.ua/ua/p1241725488-modul-relejnyj-kanalnyj.html>
- [32] Світлодіод LED червоний 5 мм – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinoakit.com.ua/ua/p1040298291-svetodiod-led-krasnyj.html>
- [33] Кнопка тактильна 12×12 мм, 4 контакти – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinoakit.com.ua/ua/p1254450682-knopka-taktovaya-kvadratnaya.html>
- [34] Тумблер MTS-102 з фіксацією ON-ON, 3-pin – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://relcoma.com.ua/tumbler-mts-102-s-fiksaciej-on-on-3pin?gad_source=1&gad_campaignid=21779720292&gbraid=0AAAAADr8GzVOqZ4GUN0DLHECsD5hFPWfk&gclid=Cj0KCQjw_8rBBhCFARIsAJrc9yCpXlOmWajKcaHa1nybCOkruYxAdsxIFhk2unFYa-QkNvkBBZi2MaArhVEALw_wcB
- [35] Імпульсний стабілізований блок живлення 5 В / 0.6 А HLK-PM01 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=428&product_id=348
- [36] Wi-Fi модуль ESP8266 ESP-01 v2 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/esp8266-esp-01-wifi-modul>
- [37] Структурна схема — Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Структурна_схема
- [38] ESP8266 ESP-01 Wi-Fi модуль – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/esp8266-esp-01-wifi-modul>
- [39] Wokwi – Arduino Simulator – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://wokwi.com/>

					ДПБ.ПМ-11.17.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59