

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розроблення системи автоматизації функціонування охоронної сигналізації
аварійного витoku води у приміщенні
(тема)

Виконав:
здобувач 4 року навчання,
групи АКТСІ -21-1
Кирило САВЧЕНКО
(власне ім'я, прізвище)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)
Керівник доц. Леонід ІВАНОВ
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту
Завідувач кафедри КІТАР

Ігор НЕВЛЮДОВ
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Я, Савченко Кирило Павлович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував не дозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



«25» червня 2025 р

Кирило САВЧЕНКО

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАР _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Системна інженерія _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ___ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Савченко Кирилу Павловичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи _____ Розроблення системи автоматизації функціонування
охоронної сигналізації аварійного витоку води у приміщенні _____

Затверджена наказом по університету від _____ 19.05.2025 р. №391 Ст _____

2 Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 27.06.2025 _____

3 Вихідні дані до роботи _____

3.1 Arduino UNO, мікроконтролер для розробки проекту _____

3.2 Мова розробки C++ _____

3.3 Датчик вологості (DFROBOT Analog Water Leak Sensor) _____

3.4 Сервомотор SG90, п'єзосирена, індикатори, кнопка _____

3.5 Релейний модуль, макетна плата, джерело живлення, провідники _____

4 Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ _____

4.2 Аналіз існуючих автоматизованих систем захисту від протікання води _____

4.3 Проектування конструкції системи сигналізації аварійного витоку води _____

4.4 Розробка автоматизованої системи відстежування положення сонця _____

4.5 Вибір та об'єднання компонентної бази системи _____

4.6 Розробка системи сигналізації аварійного витоку води _____

4.7 Висновки та перелік джерел посилань _____

5 Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) 10 с. формату А4

6 Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Приміт – ка
1	Аналіз технічного завдання	30.04.2025	Виконано
2	Принцип роботи автоматизованих систем виявлення та сигналізації аварійного витоку води	06.05.2025	Виконано
3	Проектування конструкції системи сигналізації аварійного витоку води	17.05.2025	Виконано
4	Розробка структурної схеми системи	22.05.2025	Виконано
5	Вибір апаратної платформи та компонентів системи	28.05.2025	Виконано
6	Розробка системи сигналізації аварійного витоку води	20.06.2025	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	24.05.2025	Виконано
8	Подання роботи на нормоконтроль		
9	Подання роботи на рецензію		
10	Подання роботи на підпис зав. кафедри		
11	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання 18.04.2025

Здобувач

(підпис)

Кирило САВЧЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

доц. Леонід ІВАНОВ

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 49 с., 14 рис., 2 дод., 18 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВИТІК ВОДИ, СИГНАЛІЗАЦІЯ, ARDUINO, TINKERCAD, ДАТЧИК ВОЛОГОСТІ.

Об'єкт розробки – процес керування охоронною сигналізацією, що реагує на аварійний витік води у приміщенні або на підприємстві.

Предмет розробки – виявлення витіку та апаратна реалізація автоматизованої системи у середовищі Tinkercad.

Мета роботи – розробка недорогої автономної системи для виявлення аварійного витіку води та генерування сигналу тривоги.

У роботі виконано аналіз технічних засобів контролю протікання води та охоронних сигналізацій, що використовуються у побутових і виробничих умовах. Визначено обмеження комерційно доступних рішень і обґрунтовано необхідність створення доступної альтернативи з використанням відкритої апаратної платформи.

Розроблено структурну схему системи, підібрано склад компонентної бази, розроблено алгоритм реагування на ознаки витіку води. Реалізовано макетну модель із виявленням тривожної ситуації, активацією звукової та світлової сигналізації, імітацією перекриття подачі води та керування електронавантаженням.

Тестування проводилося у середовищі віртуального моделювання Tinkercad. Підтверджено відповідність логіки реагування умовам експлуатації, забезпечено стабільну роботу всіх елементів системи у типових сценаріях.

Результатом роботи є прототип автоматизованої системи, придатної для подальшого впровадження в умовах обмежених ресурсів.

ABSTRACT

Explanatory note: 49 pages, 14 pictures, 2 applications, 18 sources.

AUTOMATION, WATER LEAKAGE, ALARM SYSTEM, ARDUINO, TINKERCAD, MOISTURE SENSOR.

Object of development – an alarm system object that responds to emergency water leakage in residential or industrial premises.

Subject of development – the process of leak detection and the hardware implementation of an automated system in the Tinkercad environment.

Purpose of the work – development of a low-cost autonomous system for detecting emergency water leakage and generating an alarm signal.

The study includes an analysis of technical tools for water leakage detection and alarm systems used in residential and industrial settings. The limitations of commercially available solutions are identified, and the need for a cost-effective alternative using an open hardware platform is substantiated.

A structural diagram of the system has been developed, the component base selected, and an algorithm for responding to leakage signs has been designed. A prototype was implemented to detect emergency conditions, activate sound and light signaling, simulate water shutoff, and control electrical loads.

Testing was carried out in the virtual modeling environment Tinkercad. The system's response logic was confirmed to match operational conditions, and stable performance of all components was demonstrated under typical scenarios.

As a result, a prototype of an automated system was developed, suitable for further deployment under resource-constrained conditions.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	8
Вступ	9
1 Аналіз технічного завдання.....	11
1.1 Принцип роботи автоматизованих систем виявлення та сигналізації аварійного витоку води.....	11
1.2 Технічні принципи побудови сигналізаційних систем.....	12
1.3 Аналіз існуючих автоматизованих систем захисту від протікання води.....	14
2 Проектування конструкції системи сигналізації аварійного витоку води... ..	19
2.1 Проектування системи сигналізації аварійного витоку води.....	19
2.2 Розробка структурної схеми системи.....	21
2.3 Вибір компонентної бази.....	23
2.4 Опис алгоритму роботи системи.....	30
2.5 Дослідження стійкості системи.....	32
3 Розробка системи сигналізації аварійного витоку води.....	36
3.1 Схема підключення елементів на платі	36
3.2 Реалізація логіки виявлення витоку води.....	39
3.3 Тестування роботи системи.....	41
3.4 Охорона праці.....	44
Висновки	46
Перелік посилань	48
Додаток А Лістинг програми у Tinkercad.....	50
Додаток Б Демонстраційний матеріал	54

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

GND – загальний провід (заземлення)

UNO – модель мікроконтролерної плати Arduino UNO

USB – універсальна послідовна шина (Universal Serial Bus)

VCC – напруга живлення (Voltage at the Common Collector)

ДСТУ – державний стандарт України

ПЗ – програмне забезпечення.

ВСТУП

Кваліфікаційна робота є завершальним етапом підготовки здобувача вищої освіти бакалаврського рівня, що передбачає застосування теоретичних знань і практичних навичок для розв'язання актуальних інженерних задач. У сучасних умовах зростаючої урбанізації, широкого використання водопровідних і опалювальних систем, а також чутливості багатьох об'єктів до впливу вологи, особливої значущості набуває проблема вчасного виявлення аварійного витоку води.

Аварійні протікання здатні спричинити значні матеріальні збитки, зупинку технологічних процесів, пошкодження електронного обладнання, створити небезпеку у житлових або виробничих приміщеннях. Попри наявність комерційно доступних систем сигналізації, більшість із них є орієнтованими на середній або преміальний ціновий сегмент, вимагають окремих хабів, підключення до пропрієтарних сервісів або складного монтажу, що обмежує можливість впровадження таких рішень у побуті, малому бізнесі або освітньому середовищі.

У цьому контексті актуальним є розроблення недорогої, автономної та енергоефективної системи виявлення витоку води, яка не потребує складної інфраструктури, має відкриту архітектуру та забезпечує базовий функціонал: фіксацію аварійної ситуації, подачу сигналу тривоги й ініціацію виконавчих дій. Запропоноване рішення засноване на використанні платформи Arduino, що поєднує низьку вартість, гнучкість налаштування та широку доступність компонентної бази.

Розроблена система відповідає принципам сталого технічного розвитку, зокрема цілям ООН у сфері сталого розвитку: 6 (чиста вода та санітарія), 9 (індустріалізація, інновації та інфраструктура), 11 (сталі міста та спільноти), 12 (відповідальне споживання ресурсів). Проєкт не лише знижує ризики

матеріальних збитків, а й сприяє ефективному використанню ресурсів та підвищенню безпеки у побутовому середовищі.

Об'єкт розробки – процес керування охоронною сигналізацією, що реагує на аварійний витік води у приміщенні або на підприємстві.

Предмет розробки – виявлення витіку та апаратна реалізація автоматизованої системи у середовищі Tinkercad.

Мета роботи – розробка недорогої автономної системи для виявлення аварійного витіку води та генерування сигналу тривоги.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих аналогів та порівняти їх між собою;
- провести аналіз компонентів з яких буде складатися модель;
- розробити віртуальний макет системи та зробити тестовий запуск;
- виконати тест моделі при повній експлуатації;

– оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [2].

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Принцип роботи автоматизованих систем виявлення та сигналізації аварійного витоку води

Система виявлення та сповіщення про аварійне протікання води – це технологічний комплекс, що призначений для автоматичного виявлення протікань води в різних середовищах, скажімо, у житлових, виробничих, комерційних або інфраструктурних об'єктах, і негайного інформування відповідальних осіб чи систем задля вчасного реагування та уникнення пошкоджень.

З головних функцій системи слід виділити, по-перше, виявлення протікання води. Тут застосовуються спеціальні датчики, здатні фіксувати наявність води або зміни вологості в конкретних місцях (під підлогою, біля трубопроводів, обладнання тощо).

По-друге, мова про сигналізацію. У випадку, якщо система зафіксувала протікання, вона повинна згенерувати сигнал (звуковий, світловий, надіслати повідомлення через інтернет або мобільні канали). Вибір методу сповіщення визначається цілями та конкретним проектом, але загальна мета – своєчасне інформування персоналу про проблему.

По-третє, коли вода вже витекла, система може бути інтегрована з електричними клапанами, які автоматично перекривають подачу води, що дозволяє уникнути значних збитків та пошкоджень.

Окрім цього, дану систему можна інтегрувати в систему "розумного дому" або централізовані сервери, що дозволить операторам чи власникам будинку спостерігати за ситуацією віддалено, не перебуваючи фізично на місці.

Датчики води монтуються у критичних зонах (підлога, труби, стіни) та активуються при контакті з водою або виникненні вологи. Контролер отримує

дані від датчика, проводить їх аналіз та приймає рішення, чи є це аварійною ситуацією, чи ні, наприклад, виходячи з рівня води, після чого визначає, чи потрібно сповіщати користувача. Така система може використовуватися скрізь: у будинках та на підприємствах.

1.2 Технічні принципи побудови сигналізаційних систем

Побудова надійних сигналізаційних систем ґрунтується на дотриманні базових інженерних принципів, які забезпечують стійкість функціонування, точність виявлення подій та ефективність реагування. У загальному випадку такі системи можуть бути орієнтовані як на охоронні функції (виявлення несанкціонованого доступу, руху, відчинення), так і на аварійні (реакція на дим, газ, воду, перегрів тощо), але підходи до їх реалізації мають низку спільних технічних особливостей.

Ключовим завданням проектування є визначення способу обробки інформації від датчиків. У простих системах це може бути реалізовано через релейну логіку або дискретну електроніку. У сучасніших рішеннях застосовуються мікроконтролери або програмовані логічні контролери, які дозволяють формалізувати складні умови спрацювання, реалізувати затримки, фільтрацію хибних сигналів і пріоритетність дій.

Іншою принциповою особливістю є вибір типу реакції: локальна сигналізація, передача даних до централізованої системи керування, запуск виконавчих механізмів. Залежно від категорії об'єкта (житловий, промисловий, критичний інфраструктурний) змінюються вимоги до швидкості реакції, ступеня резервування, автономності й відновлюваності.

Важливою складовою при розробці сигналізаційних систем є вибір типу датчиків, що забезпечують необхідний рівень чутливості та достовірності спрацювання. Для аварійних систем, зокрема при виявленні витоку води, застосовуються як аналогові, так і цифрові сенсори, здатні працювати в умовах

підвищеної вологості, наявності конденсату або пилу. Відповідність обраних датчиків умовам експлуатації безпосередньо впливає на надійність усієї системи.

Особливу увагу слід приділяти структурі побудови системи. Існують централізовані та децентралізовані архітектури. У централізованих системах вся обробка сигналів виконується на головному контролері або сервері, що дозволяє ефективно керувати великою кількістю вузлів. У децентралізованих варіантах обробка розподіляється між локальними модулями, що підвищує стійкість до відмов окремих елементів, проте ускладнює конфігурацію та обслуговування.

У випадку критичних об'єктів обов'язковою є реалізація резервування основних функціональних елементів. Це може включати дублювання живлення, каналів передачі сигналу, дублікати виконавчих механізмів. У разі виходу з ладу одного з елементів система повинна автоматично переходити до резервного контуру без втрати функціональності.

Не менш важливим є забезпечення захищеності системи від зовнішніх впливів, зокрема електромагнітних завад, коливань напруги, вологи, пилу та механічних пошкоджень. З цією метою передбачаються відповідні заходи екранування, гальванічної розв'язки, використання стабілізованих джерел живлення, а також вибір корпусів із відповідним ступенем захисту (наприклад, IP65 або вище).

Тестування системи відіграє ключову роль у перевірці її працездатності та відповідності вимогам технічного завдання. Перевірка повинна охоплювати як нормальні режими роботи, так і аварійні сценарії, включаючи втрату живлення, хибні сигнали, перевантаження каналів та інші можливі відмови. На основі результатів випробувань система налаштовується для забезпечення оптимального балансу між чутливістю і стійкістю до перешкод.

У підсумку, побудова сигналізаційної системи є багатоетапним інженерним процесом, що включає вибір апаратної платформи, проектування логіки обробки сигналів, забезпечення надійного зв'язку, захисту від відмов та відповідності технічним, експлуатаційним і нормативним вимогам. Успішна

реалізація вимагає не лише знань в електроніці й автоматизації, а й у сфері стандартизації, безпеки та експлуатаційної надійності.

1.3 Аналіз існуючих автоматизованих систем захисту від протікання води

Системи автоматичного виявлення та сигналізації витoku води займають важливе місце серед технічних засобів безпеки сучасних приміщень. Їх впровадження дозволяє своєчасно запобігти серйозним матеріальним збиткам, які можуть бути спричинені проривом трубопроводів, несправною сантехнікою або іншими аварійними ситуаціями, пов'язаними з водою. На ринку представлено безліч готових рішень, які мають сертифікати відповідності європейським та міжнародним стандартам, зокрема CE (Conformité Européenne), FCC, EN та іншими. Вибір такої системи залежить від потреб користувача, площі об'єкта, необхідного рівня автоматизації та бюджету.

Одним із найбільш популярних рішень у середньому ціновому сегменті є Xiaomi Smart Water Leak Sensor (рисунок 1.1). Це бездротовий датчик, який функціонує на базі протоколу ZigBee і потребує шлюзу (хаба) для роботи. Він сертифікований за стандартом CE і призначений для інтеграції у домашню екосистему "розумного дому" Xiaomi або будь-яку іншу систему, що підтримує відповідні протоколи. Основні переваги датчика – автономність, низьке енергоспоживання, тривалий час роботи від батареї та можливість надсилати повідомлення через мобільний додаток. Однак пристрій не має вбудованого виконавчого механізму, що означає необхідність додаткового устаткування для автоматичного перекриття подачі води.

Більш професійним і функціональним рішенням є Ajax LeaksProtect – бездротовий датчик, який є частиною охоронної системи Ajax (рисунок 1.2). Цей пристрій сертифікований відповідно до європейських стандартів безпеки (зокрема EN 50131) і призначений для використання як у побуті, так і в комерційних або офісних приміщеннях. LeaksProtect не потребує спеціального

монтажу, працює до п'яти років від однієї батареї та має вологозахисний корпус класу IP65. Після виявлення витoku води датчик миттєво надсилає сигнал на хаб Аіах, який може активувати тривогу, надіслати повідомлення на смартфон власника або запустити керування зовнішніми пристроями – наприклад, реле, що перекриває клапан водопостачання. Така система відрізняється високою надійністю, але має доволі високу вартість, що обмежує її доступність для користувачів із низьким бюджетом.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд Xiaomi Smart Water Leak Sensor



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд Ajax LeaksProtect

Ще одним сертифікованим рішенням, орієнтованим на користувачів екосистеми Apple, є Eve Water Guard (рисунок 1.3), що виготовляється німецькою компанією Eve Systems. Цей пристрій підтримує протокол Apple HomeKit і має вбудований звуковий сигналізатор потужністю 100 дБ, LED-індикацію та кабель-сенсор довжиною до 2 метрів, який можна подовжувати. Eve Water Guard також сертифікований за стандартами CE і відповідає вимогам електробезпеки. Система призначена для локального сповіщення та інтеграції з іншими пристроями HomeKit, такими як електричні клапани або модулі автоматизації. Попри свою простоту, система має надійне виконання та зручне керування через мобільний додаток. Проте, як і у випадку з іншими преміальними рішеннями, її недоліком є висока ціна та залежність від екосистеми Apple.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд Eve Water Guard

Проведений огляд свідчить, що хоча сучасні сертифіковані системи сигналізації витoku води мають високу функціональність, стабільність і зручність, їх вартість часто перевищує можливості пересічного споживача. Особливо це стосується випадків, коли необхідно обладнати великі площі або кілька приміщень одночасно. У такому випадку доцільно розглядати варіанти розробки бюджетного рішення, яке за функціональністю відповідатиме базовим вимогам: виявлення витoku, локальна або віддалена сигналізація та, за можливості, керування подачею води. У поєднанні з енергоефективною апаратною платформою, простим інтерфейсом та використанням доступних сенсорів це дозволить створити конкурентоспроможну систему для широкого використання.

Виходячи з цього, можемо зробити висновок, що сучасні системи виявлення витoku води здебільшого орієнтовані на середній і високий ціновий

сегмент, потребують значних фінансових витрат на встановлення та обслуговування, а також часто залежать від наявності окремих платформ або екосистем.

Водночас побутові користувачі та малі підприємства, які також стикаються з ризиком затоплення, залишаються обмеженими у виборі ефективних, недорогих і простих у застосуванні рішень. Саме тому актуальним є завдання розробити модульну автоматизовану систему виявлення витoku води, яка б відповідала потребам невеликих об'єктів – була легкою у налаштуванні, масштабуванні, забезпечувала раннє виявлення аварій та могла працювати з базовими сертифікованими датчиками.

2 ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ АВАРІЙНОГО ВИТОКУ ВОДИ

2.1 Проектування системи сигналізації аварійного витоку води

Проектування системи автоматизованої сигналізації витоку води розпочалося з формування загальних вимог до функціоналу, умов експлуатації та обмежень за бюджетом. Враховуючи попередній аналіз існуючих систем, було визначено доцільність створення власної недорогої, простої у реалізації системи, яка б виконувала основні функції виявлення вологи у контрольованій зоні, подачі тривожного сигналу та, за можливості, активації виконавчого механізму. Головний акцент зроблено на досяжності технології, доступності компонентної бази, відкритості архітектури та можливості гнучкого налаштування.

Система базується на апаратній платформі Arduino Uno – це мікроконтролерна плата з достатньою кількістю цифрових та аналогових входів/виходів, що дозволяє реалізувати необхідну логіку обробки сигналів. Arduino виступає у ролі головного обчислювального модуля, який зчитує дані з сенсора вологості, порівнює значення з контрольним порогом та відповідно активує або деактивує виконавчі пристрої. Вибір саме цієї плати обумовлений її простотою у програмуванні, широкою спільнотою підтримки та невисокою вартістю.

В якості сенсора виявлення витоку води використано датчик вологості ґрунту (Soil Moisture Sensor), який має дві металеві пластини, що змінюють свою провідність при контакті з водою. Хоча даний сенсор зазвичай застосовується у системах автоматичного поливу, у цьому проєкті він використовується як датчик поверхневої вологи. Він підключається до аналогового входу Arduino, що

дозволяє зчитувати рівень вологості як безперервне значення і точніше контролювати момент спрацювання.

При досягненні встановленого порогового значення вологості система переходить у стан тривоги. У цьому режимі активується буюер (зумер), який генерує звуковий сигнал, що сповіщає про аварійну ситуацію. Паралельно вмикається світлодіод, який виконує функцію візуальної індикації стану тривоги – що особливо важливо у середовищах з підвищеним шумом або для осіб з порушенням слуху. Для зручності керування системою передбачено кнопку скидання, яка дозволяє користувачу вручну зупинити сигналізацію після усунення витоків або для перевірки працездатності системи.

Крім цього, у схемі реалізовано елемент керування – сервомотор, який може імітувати фізичну дію перекриття подачі води, наприклад, шляхом обертання вентиля або подачі сигналу на зовнішній виконавчий пристрій. Це демонструє перспективність розширення системи з простого сигналізатора до повноцінної автоматизованої системи захисту.

Для контролю стану живлення використовується лампа-індикатор, що сигналізує про наявність електроенергії у системі. Це важливо з огляду на автономність та надійність системи, адже при втраті живлення система повинна бути оперативно перевірена. Уся схема може живитись як від USB, так і від зовнішнього джерела живлення на 5 В, що забезпечує гнучкість у встановленні.

Враховуючи просту реалізацію, відкриту платформу, низьке енергоспоживання та використання доступних компонентів, запропонована система може ефективно застосовуватись у побутових умовах, малих офісах або комерційних приміщеннях. Також вона може бути основою для навчальних цілей, адже дозволяє продемонструвати повний цикл роботи сигналізаційної системи – від виявлення події до активації сповіщення та реагування.

Система є масштабованою – до неї можуть бути підключені додаткові сенсори для покриття більшої площі, або інші типи виконавчих пристроїв, такі як електроклапани, GSM-модулі для надсилання SMS або Wi-Fi-модулі для

передачі даних у хмарні сервіси. Таким чином, проєктована система є базовою функціональною платформою, яка відповідає вимогам простоти, наочності, енергоефективності та доступності й водночас має потенціал для подальшого технічного розвитку.

2.2 Розробка структурної схеми системи

На основі технічного завдання, огляду аналогічних систем та функціональних вимог була розроблена структурна схема автоматизованої системи виявлення витoku води. Структурна схема подана у вигляді логічного взаємозв'язку між основними функціональними блоками, які відповідають за вхід, обробку та вихід інформації. Структурна схема системи зображена на рисунку 2.1.

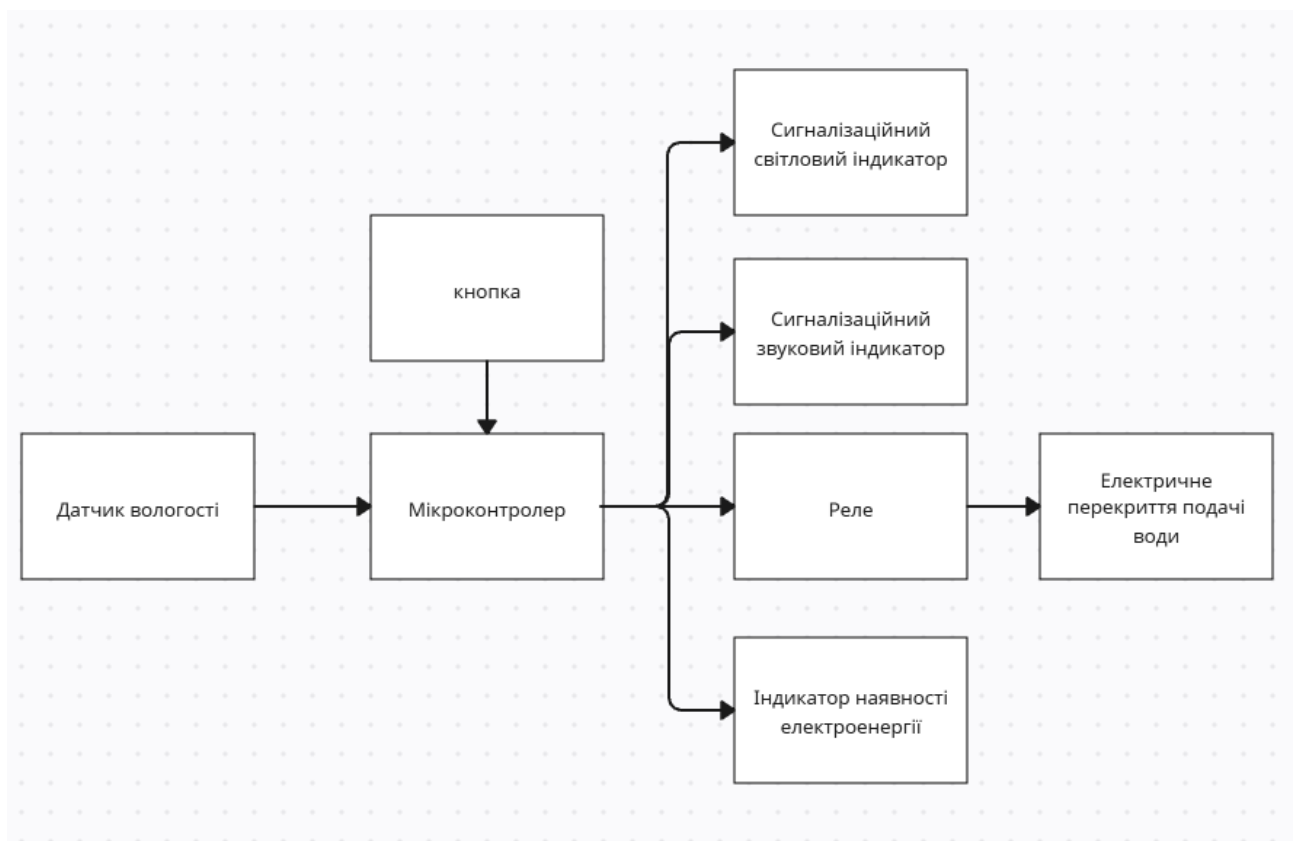


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи сигналізації аварійного витoku води

Центральною складовою системи є мікроконтролер, який виконує функцію обробки сигналів. Саме до нього надходять дані з датчика вологості, та саме він керує всіма виконавчими пристроями в залежності від заданого алгоритму. На вхід мікроконтролера подається сигнал від датчика вологості, який фіксує наявність води або підвищену вологість у контрольованій зоні. Датчик, використаний у системі, реагує на зміну електропровідності між двома електродами, яка виникає при контакті з водою. Сигнал зчитується в аналоговій формі, що дозволяє контролеру точно визначити рівень вологості та задати поріг для спрацювання.

У разі виявлення витoku, мікроконтролер активує два основні виконавчі пристрої: світловий індикатор (сигнальний світлодіод) та звуковий індикатор (п'єзосирену). Світловий індикатор дозволяє візуально фіксувати факт спрацювання системи, тоді як звуковий – забезпечує гучну тривогу, що має привернути увагу користувача або персоналу. Крім того, до мікроконтролера підключена кнопка, яка дозволяє вручну скинути стан тривоги після усунення причин спрацювання. Така функціональність підвищує зручність використання системи, особливо в побутових умовах. Додатковим елементом, що забезпечує зручність у користуванні, є лампа-індикатор наявності живлення. Вона візуально показує, чи підключено систему до електромережі. Це важливо в умовах, де можлива нестабільність електропостачання або планується автономна робота системи.

Окремо варто зазначити наявність модуля реле, що відіграє ключову роль у керуванні зовнішніми виконавчими пристроями. У даній системі реле служить для комутації живлення механізму перекриття води – наприклад, електроприводного кульового крана. Сигнал з цифрового виходу мікроконтролера подається на керуючий вхід реле, що призводить до замикання контакту між зовнішнім джерелом живлення (акумулятором 12 В) та самим виконавчим пристроєм. Така реалізація дозволяє безпечно підключати високопотужне навантаження безпосередньо до системи керування і забезпечує

електричну ізоляцію між мікроконтролером та силовим колом. У межах прототипу, для спрощення реалізації, замість реального клапана використано сервопривід типу SG90, що імітує обертання вентиля.

Таким чином, структурна схема відображає логіку взаємодії усіх компонентів: сенсор виявляє аварійну подію, контролер обробляє сигнал, приймає рішення і передає команди на сигнальні пристрої та модуль реле. Всі з'єднання мають напрямки сигналів, що вказує на роль кожного елемента у функціональній взаємодії. Такий підхід дозволяє не лише легко реалізувати систему на практиці, але й у подальшому масштабувати її, додаючи нові сенсори або виконавчі механізми – наприклад, електромагнітні клапани, пристрої віддаленого керування чи додаткові сирени. Запропонована структурна схема є наочною, логічно завершеною та повністю відповідає поставленому завданню – створити просту, ефективну й недорогу систему виявлення витoku води. Вона стане основою для реалізації електричної та програмної частини проєкту, які детально розглядатимуться у наступних розділах.

2.3 Вибір компонентної бази

Під час розробки автоматизованої системи виявлення витoku води особливу увагу було приділено вибору електронних компонентів, від яких залежить стабільність, надійність та вартість усієї системи. Оскільки основною вимогою було створення бюджетного та простого у реалізації рішення, всі елементи обирались з урахуванням доступності, енергоефективності, сумісності та практичної доцільності в умовах реального використання.

Центральним елементом системи є мікроконтролер Arduino Uno R3 (рисунок 2.2), який став логічним вибором через свою відкриту архітектуру, простоту у програмуванні та наявність великої кількості цифрових та аналогових входів і виходів. Плата базується на мікроконтролері ATmega328P та підтримує мову програмування Arduino C/C++. Вона дозволяє швидко створити прототип

системи, легко змінювати прошивку, тестувати нові функції й працювати з широким спектром периферійних пристроїв. Крім того, Arduino має невеликі розміри, споживає мінімум електроенергії і може працювати як від USB, так і від зовнішнього джерела живлення. Орієнтовна вартість плати Arduino Uno R3 – 250 грн. Інформація з технічними характеристиками Arduino UNO R3 занесені до таблиці 2.1.



Рисунок 2.2 – Зображення мікроконтролера Arduino UNO R3

Таблиця 2.1 – Характеристики Arduino UNO R3

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Тактова частота	16 МГц
Робоча напруга	5 В
Вхідна напруга (рекомендований)	7–12 В
Вхідна напруга (граничний)	6-20 В
Цифрові входи/виходи	14 (6 підтримують ШІМ)
Аналогові входи	6
Постійний струм через вхід/вихід	40 мА
Постійний струм для виведення 3,3 В	50 мА
Флеш пам'ять	32 КБ
ОЗП	2 КБ
Інтерфейси	UART, I2C, SPI

Як сенсор для виявлення витoku води у даному проєкті обрано DFROBOT Analog Water Leak Sensor (рисунок 2.3), який є спеціалізованим модулем для фіксації наявності води на поверхні. Датчик працює на основі зміни електропровідності між вбудованими зондами, однак, на відміну від сенсорів типу YL-69, має повністю герметичну конструкцію без відкритих металевих контактів, що запобігає окисленню, виключає ризики хибних спрацювань та забезпечує стабільну довготривалу експлуатацію. Модель розрахована на використання в системах безпеки та контролю витoku води й дозволяє виявляти навіть незначні об'єми рідини на твердих поверхнях.

DFROBOT-сенсор має аналоговий вихід, що дає змогу підключити його безпосередньо до аналогових входів Arduino та зчитувати рівень сигналу, пропорційний кількості вологи. Робоча напруга модуля становить від 3,3 В до 5 В, що повністю сумісне зі стандартними логічними рівнями Arduino Uno та подібних контролерів. Завдяки компактним габаритам датчик можна

встановлювати у критичних зонах: біля трубопроводів, під сантехнікою або в місцях потенційного витіку.



Рисунок 2.3 – Датчик вологості обрано DFROBOT Analog Water Leak Sensor

Вибір саме цього сенсора обґрунтовано його поєднанням доступної вартості та вищого рівня надійності порівняно з аналогами, такими як YL-69. Його вартість залишається в межах бюджетного сегменту, при цьому відсутність відкритих контактів значно знижує витрати на технічне обслуговування, повторне калібрування або заміну внаслідок корозії. Саме ці характеристики роблять DFROBOT Analog Water Leak Sensor оптимальним рішенням для проекту, який орієнтований на низьку собівартість, простоту реалізації та практичну придатність у побутовому або навчальному середовищі.

Для реалізації звукової індикації про аварійний витік води в рамках проекту було використано активну п'єзосирену з робочою напругою 5 В (рисунок 2.4). Цей тип сигналізатора є одним з найпростіших та найдоступніших

засобів акустичного сповіщення для систем на базі мікроконтролерів, зокрема Arduino. П'єзосирена має вбудований генератор сигналу, що дозволяє активувати її шляхом подання логічної «1» на цифровий вихід мікроконтролера без необхідності формувати ШІМ-сигнал або використовувати зовнішній драйвер. Це суттєво спрощує схему підключення, знижує енергоспоживання та забезпечує простоту інтеграції.

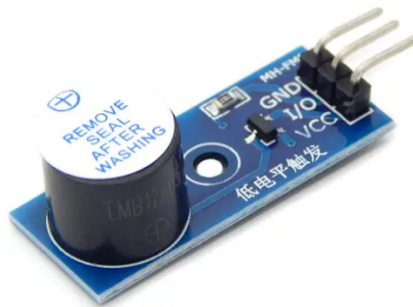


Рисунок 2.4 – Активна п'єзосирена на 5 В для акустичної сигналізації

Гучність сирени зазвичай становить близько 85–90 дБ, що є прийнятним показником для домашніх умов, офісів або навчальних лабораторій. Такий рівень сигналу дозволяє вчасно привернути увагу до критичної ситуації у приміщенні площею до 30–40 м², особливо якщо пристрій розміщено відкрито та на оптимальній висоті. Завдяки низькому струмовому споживанню (до 30 мА), п'єзосирена може безпечно живитися безпосередньо від 5 В лінії Arduino, що усуває потребу у зовнішньому джерелі або комутаційних елементах (реле, транзистори).

Однак у промислових або шумних середовищах така звукова потужність може бути недостатньою. Наприклад, у виробничих цехах, електромеханічних приміщеннях або серверних кімнатах із системами вентиляції, де рівень фонових шумів перевищує 60–70 дБ, слабкий сигнал п'єзосирени може залишитися

непоміченим. Тому для реальних впроваджень у подібних умовах доцільно передбачити використання спеціалізованих сигналізаційних сирен, які живляться від 12–24 В, мають рівень гучності до 110–120 дБ і комутуються через релейні модулі з оптрзов'язкою. Такі пристрої здатні генерувати потужний звуковий сигнал, чутний на великій відстані, що відповідає вимогам промислової безпеки.

Таким чином, обрана 5 В п'єзосирена є оптимальним варіантом для демонстраційного прототипу системи сигналізації витoku води. Вона забезпечує базову функціональність, легкість підключення, енергоефективність та сумісність із Arduino, одночасно допускаючи можливість масштабування або заміни на більш потужний компонент у разі впровадження в реальному середовищі.

Для відображення наявності живлення використано індикаторну лампу, яка сповіщає користувача про робочий стан системи. Вона є простим, але важливим елементом з погляду практичного використання, оскільки дозволяє візуально підтвердити, що система ввімкнена й готова до роботи. У разі відсутності напруги користувач зможе оперативнo вжити заходів. Вартість такої лампи – 20 грн.

Крім цього, в конструкції передбачена кнопка скидання тривоги, яка підключається до цифрового входу Arduino і дозволяє користувачу вручну зупинити спрацювання сирени або перевести систему в режим очікування. Її наявність робить систему більш керованою та зручною у повсякденному використанні. Кнопка коштує приблизно 5 – 10 грн.

Для реалізації функції перекриття подачі води в реальних умовах доцільним є використання електропривідного кульового крана типу DN15 з моторизованим приводом (рисунок 2.5), що забезпечує обертання на 90° для відкриття або закриття потоку. Такі пристрої широко застосовуються в системах автоматичного водопостачання, захисту від протікання, "розумного дому" та промислових установках. Привід зазвичай працює від постійної напруги 12 В або

24 В, має два або три дроти керування й забезпечує достатній крутний момент для фізичного обертання вентиля з ущільнювачем.



Рисунок 2.5 – Електричний кульовий кран з мотор-приводом DN15

Оскільки Arduino не здатна безпосередньо комутувати силові ланцюги, для керування електроприводом необхідно використовувати релейний модуль на 5 В з низьким струмом спрацювання. Arduino подає керуючий сигнал на вхід реле, а сам модуль замикає чи розмикає ланцюг 12 В живлення електропривода. Така реалізація вимагає окремого стабілізованого джерела живлення (наприклад, адаптера 12 В 2 А), яке не повинно бути пов'язане з живленням самої плати Arduino для уникнення перевантаження.

Разом з тим, у рамках створення прототипу даної системи в навчальному або демонстраційному середовищі використовується аналоговий сервомотор SG90 як імітатор механізму перекриття. Цей сервопривід працює від 5 В, споживає незначну потужність і має вбудовану систему керування, що дозволяє точно позиціонувати вал під заданим кутом у межах 0–180°. Сервомотор SG90

безпосередньо підключається до PWM-виходу Arduino і не потребує реле чи зовнішніх джерел живлення. Хоча він не здатний механічно закрити реальний водопровідний вентиль, його функціональність є достатньою для моделювання логіки роботи системи.

Таким чином, у проєкті реалізовано макетну імітацію фізичного перекриття води, яка у повномасштабній системі може бути легко адаптована до використання з електропривідними клапанами за рахунок незначних змін в електричній схемі та підключенні зовнішнього реле.

Усі обрані компоненти є масовими, широко доступними на ринку та мають великий обсяг документації та технічної підтримки, що значно полегшує процес реалізації, налагодження та масштабування системи. Такий підхід дозволяє поєднати функціональність, надійність і низьку собівартість, що є ключовими чинниками у розробці бюджетної системи для малого бізнесу чи побутового користувача.

2.4 Опис алгоритму роботи системи

Система автоматизованої сигналізації витoku води функціонує на основі безперервного циклу зчитування аналогових даних з сенсора вологості. У стандартному режимі мікроконтролер Arduino Uno опитує сенсор вологості через аналоговий вхід. Зчитане значення електропровідності порівнюється із заздалегідь встановленим контрольним порогом, який відповідає наявності води в контрольованій зоні. Логіка роботи представлена у вигляді блок-схеми (рис. 2.6).

Система автоматичного виявлення витoku води побудована на принципі постійного моніторингу сигналу з аналогового сенсора вологості. Контролер Arduino Uno у безперервному циклі зчитує рівень провідності між контактами сенсора, що прямо залежить від наявності вологи на поверхні. Це значення

порівнюється з визначеним порогом, який відповідає умовній межі між сухим і вологим станом.

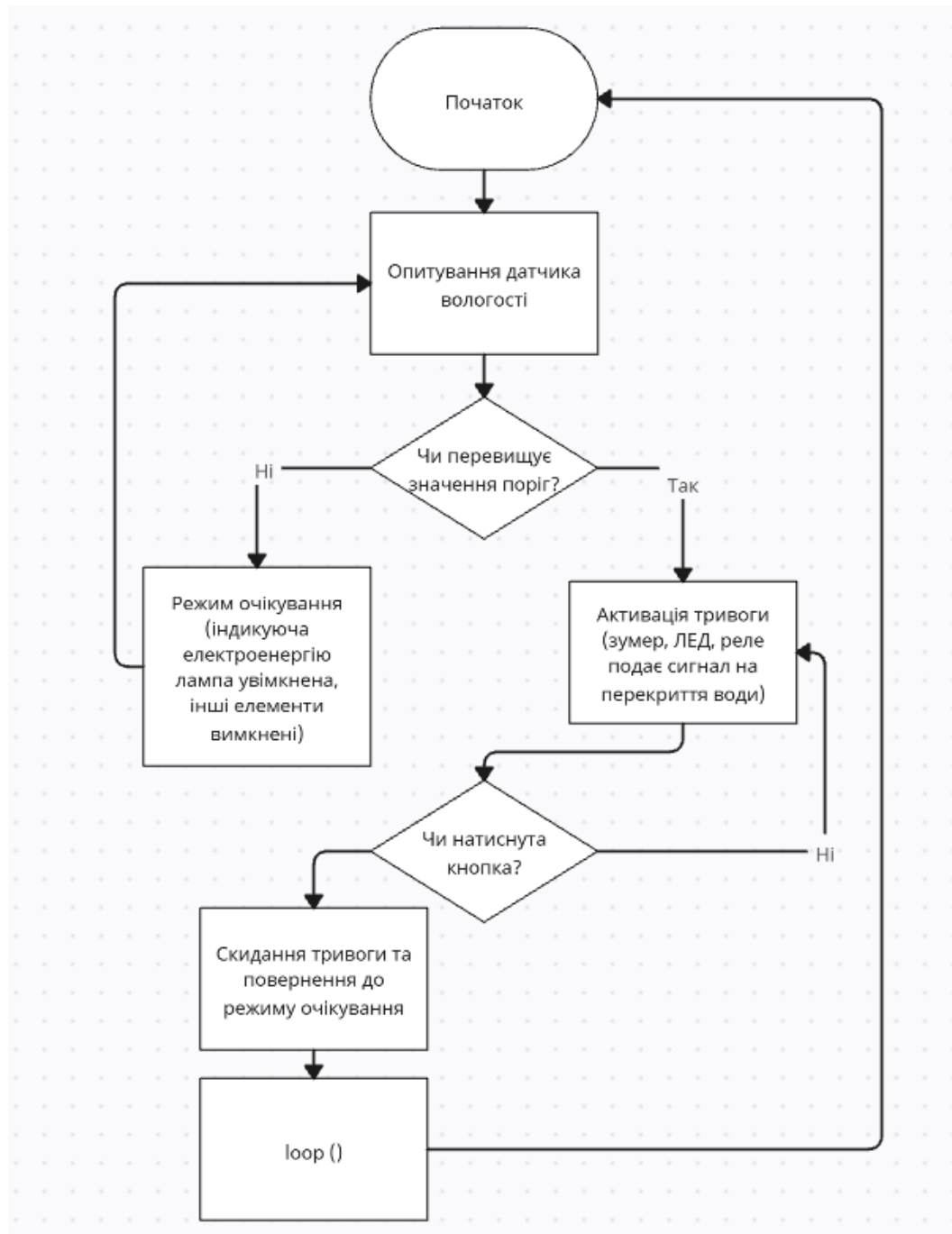


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму роботи системи сигналізації аварійного витоку води

У нормальному стані, коли показник нижчий за пороговий рівень, система підтримує режим очікування. Всі виконавчі елементи залишаються

неактивними: світлодіод та звукова сирена вимкнені, сервомотор відкриває подачу води, імітуючи нормальний потік. Індикація живлення активна постійно, що слугує візуальним підтвердженням працездатності системи.

У разі перевищення порогового значення сенсором, Arduino негайно переходить до аварійного стану. Вмикається сирена і світлодіодна індикація тривоги, а сервопривід переходить у закриті положення, моделюючи фізичне перекриття крана або клапана. Така реакція є миттєвою, що дозволяє мінімізувати наслідки від можливого протікання.

У системі реалізовано функцію ручного скидання аварійного стану через кнопку. Однак, її натискання не деактивує систему остаточно. Замість цього одразу після натискання виконується нове зчитування даних із сенсора. Якщо показник вологості залишається критичним, система повторно активує режим тривоги: знову вмикається сирена, світлодіод, і сервомотор закриває подачу води. Цикл реагування триває без пауз, тому навіть при помилковому натисканні або спробі обійти захист, аварійна логіка негайно спрацьовує знову.

Цей підхід гарантує безпеку системи в реальному середовищі: вона не покладається на однократні події, а постійно перевіряє фактичний стан датчика, надаючи пріоритет достовірності сенсорного контролю, а не діям користувача.

Алгоритм роботи системи розроблений з урахуванням можливості масштабування. Його можна легко адаптувати до багатозонного контролю, додавши декілька сенсорів або окремі модулі керування на основі тієї ж логіки. Уся логіка реалізована засобами Arduino з використанням стандартних бібліотек, що полегшує підтримку, налаштування й подальше вдосконалення системи.

2.5 Дослідження стійкості системи

Стійкість систем автоматичного управління (САУ) є базовою умовою для працездатності цієї системи, а також однією з головних вимог до коректного згасання сигналу в перехідному процесі. У системі, що реалізована в межах

даного проєкту, коректне відпрацювання тривожного стану, адекватна реакція на зміну рівня вологості, а також запобігання багаторазовому спрацьовуванню або автоколиванням – все це прямо пов'язане з поняттям стійкості.

Рівняння характеристичне для лінійної неперервної САУ загалом має вигляд:

$$P(s) = a_0s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_n = 0,$$

де a_j - задані коефіцієнти;

n – порядок системи.

Для того, щоб стверджувати, що система є стійкою, достатньо лише того, щоб всі корені даного рівняння системи мали від'ємні дійсні частини. Усі корені, що мають від'ємні дійсні частини, називаються лівими, оскільки на комплексній площині вони розташовані в лівій півплощині відносно уявної осі. Відповідно, правими вважають корені з додатними дійсними частинами.

При дослідженні стійкості за допомогою алгебраїчних критеріїв, у першу чергу перевіряють виконання необхідної умови стійкості – однаковість знаків усіх коефіцієнтів характеристичного полінома. Якщо ця умова не виконується, система є нестійкою. У випадку її виконання, для третього порядку й вище обов'язковим є використання повного критерію Гурвіца.

У випадку виконання цієї умови можливе застосування повного критерію Гурвіца. Побудова матриці Гурвіца виконується за наступним принципом: у першому рядку записуються коефіцієнти з непарними індексами, у другому – з парними, а далі – зсув на один рядок вниз. Елементи, що виходять за межі полінома, заповнюються нулями.

Загальний вигляд матриці Гурвіца для системи порядку n :

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_n \end{vmatrix}.$$

Побудувавши цю матрицю, виділяють її головні діагональні мінори:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= a_1, \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}, \\ \Delta_3 &= \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Для третіх порядків і вище додатково вводяться аналітичні умови:

$$\begin{aligned} a_0 &> 0, \\ \Delta_1 &= a_1 > 0 \\ \Delta_2 &= a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0, \\ \Delta_3 &= a_3 \Delta_2 > 0. \end{aligned}$$

Для прикладу системи охоронно-сигнального типу, що досліджується, візьмемо характеристичне рівняння четвертого порядку:

$$P(s) = s^4 + 4s^3 + 6s^2 + 4s + 2.$$

Для визначення коефіцієнтів полінома припустимо, що:

$$\begin{aligned} a_4 &= 1, \\ a_3 &= 4, \\ a_2 &= 6, \end{aligned}$$

$$a_1 = 4,$$

$$a_0 = 2.$$

Необхідна умова стійкості виконується, оскільки всі коефіцієнти додатні.
Побудуємо матрицю Гурвіца для полінома четвертого порядку:

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 4 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 6 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 4 & 0 \\ 0 & 1 & 6 & 2 \end{vmatrix}.$$

Обчислимо послідовно головні мінори:

$$\Delta_1 = 4 > 0,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 4 & 4 \\ 1 & 6 \end{vmatrix} = 24 - 4 = 20 > 0,$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 4 & 4 & 0 \\ 1 & 6 & 2 \\ 0 & 4 & 4 \end{vmatrix} = 48 > 0,$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 4 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 6 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 4 & 0 \\ 0 & 1 & 6 & 2 \end{vmatrix} = 96 > 0.$$

Оскільки всі визначники додатні – система є стійкою відповідно до критерію Гурвіца. Таким чином, підтверджено, що проєктована система керування сигналізацією витоку води відповідає вимогам стійкості й при правильному апаратному виконанні забезпечуватиме надійну роботу як у побутових, так і у виробничих умовах.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ АВАРІЙНОГО ВИТОКУ ВОДИ

3.1 Схема підключення елементів на платі

На етапі розробки апаратної частини системи виявлення аварійного витоку води було реалізовано модель у середовищі віртуального прототипування Tinkercad. Це симуляційне середовище дозволяє створювати електронні схеми, моделювати логіку роботи та взаємодію компонентів у режимі реального часу, не використовуючи фізичні пристрої. Подібний підхід дає змогу швидко перевірити працездатність обраної конфігурації без потреби у паянні або закупівлі елементної бази на ранньому етапі проектування.

Система реалізована з використанням мікроконтролера Arduino Uno, що виступає в ролі центрального логічного блоку. Він обробляє сигнали з датчика вологості, приймає рішення про стан тривоги та формує команди на виконавчі елементи: буюер, світлодіод, сервомеханізм і лампу.

Макетна плата (breadboard) використовується для реалізації тимчасових з'єднань між компонентами. Усі елементи схеми підключено з урахуванням правильних полярностей, напруг живлення та логіки керування. Оскільки Tinkercad не відображає реальні параметри струму й напруги, у реальних умовах живлення повинно бути забезпечене стабільним джерелом 5 В для логічної частини та окремим – для потужніших споживачів (наприклад, лампи, якщо вона замінюється на реальний побутовий пристрій).

До складу електронної частини входять наступні елементи:

- датчик вологості ґрунту, який використовується як сенсор витоку води;
- кнопка для ручного скидання стану тривоги після усунення протікання;
- світлодіод для візуальної індикації стану тривоги (миготіння при спрацюванні);

- буюер, що генерує звуковий сигнал у разі тривоги;
- серводвигун, який імітує механічне перекриття подачі води;
- лампа накаливання, яка знеструмлюється під час аварії, імітуючи живлення обладнання;
- резистори: 220 Ом для обмеження струму на світлодіоді, 10 кОм – підтягувальні для кнопки.

Кожен з елементів має чітко визначене підключення до пінів Arduino Uno (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Підключення елементів до Arduino Uno

Елемент	Пін
Датчик вологості	D2
Буюер	D3
Світлодіод	D4
Кнопка	D5
Серводвигун	D6
Лампа	D7

Сигнал з датчика вологості подається на цифровий вхід D2. При виявленні води датчик генерує логічний рівень HIGH, що сприймається як аварійна ситуація. Контролер у цьому випадку виконує кілька дій:

- вмикає буюер і світлодіод у режимі миготіння;
- подає сигнал на сервомеханізм, який повертається на 90 градусів – умовно перекриваючи подачу води;
- вимикає лампу, знеструмлюючи споживача.

Для відновлення нормального режиму використовується кнопка, підключена до піву D5. Її натискання скидає сигнал тривоги, повертає серводвигун у початкове положення (0°) і знову подає живлення на лампу.

Усі з'єднання виконані з урахуванням електробезпеки. Світлодіод має обмежувальний резистор 220 Ом, що захищає його від надлишкового струму. Кнопка з'єднана з живленням через підтягувальний резистор 10 кОм, щоб забезпечити коректне логічне зчитування стану входу. Для серводвигуна і бузера живлення подається безпосередньо з 5 В Arduino, однак у фізичній реалізації доцільно передбачити окреме стабілізоване джерело, щоб уникнути перевантаження плати.

Сама лампа в даній симуляції підключена без реле чи транзистора, оскільки Tinkercad не дозволяє моделювати високі навантаження. У реальній схемі вона має бути ізольована від логіки керування й підключатися через транзистор або реле з оптрорв'язкою.

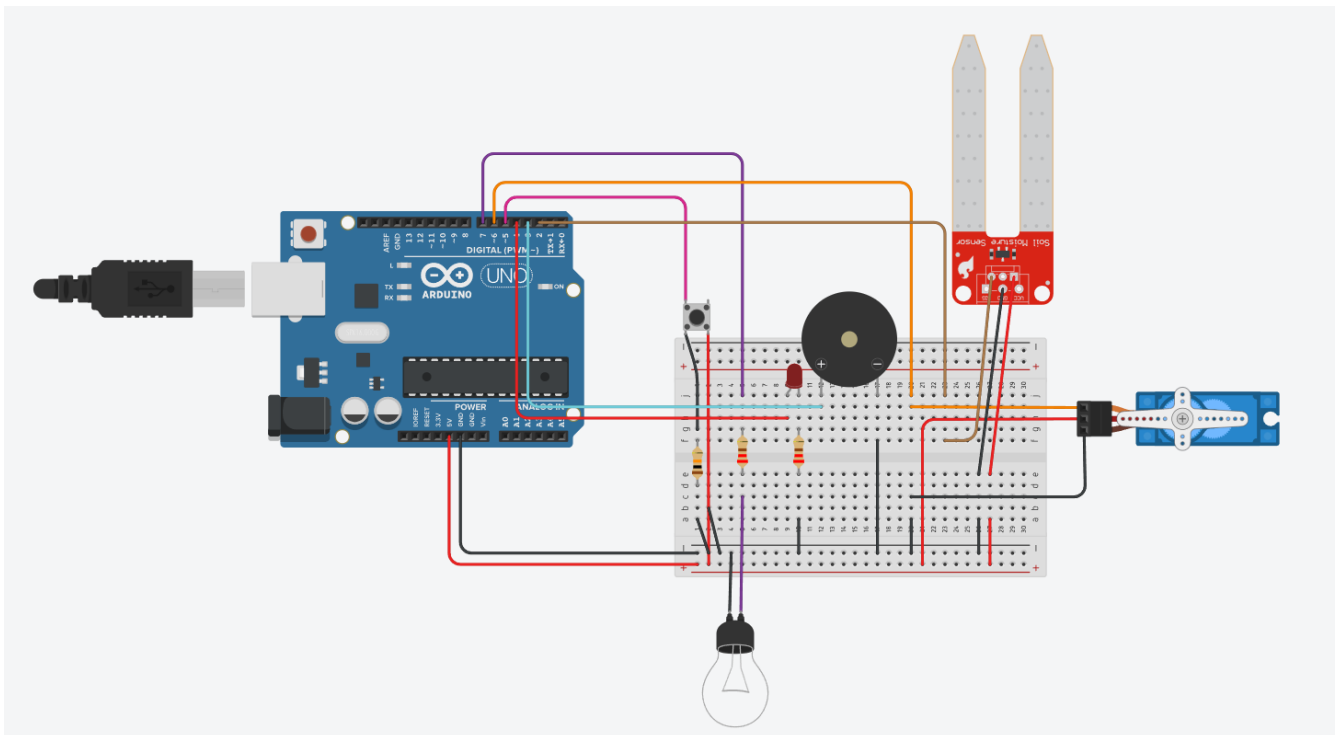


Рисунок 3.1 – Схема з'єднання компонентів у середовищі Tinkercad

Запропонована схема моделює базову бюджетну конфігурацію, що може бути розширена за рахунок додаткових сенсорів або підключення до бездротових мереж. Проте вже у поточному вигляді вона дозволяє автоматично виявляти

протікання, реагувати на нього в кількох напрямках (звукове, візуальне, механічне, електричне) та забезпечує ручне відновлення.

Отже, схема підключення розроблена з урахуванням як функціонального призначення, так і вимог до надійної та стабільної роботи кожного компонента системи.

3.2 Реалізація логіки виявлення витoku води

В основі роботи системи лежить аналіз стану цифрового датчика вологості. Для реалізації прототипу був використаний недорогий сенсор вологості ґрунту, який в умовах короткочасного контакту з водою або високою вологістю ґрунтує сигнальний вихід на землю. Таким чином, при появі води між контактами датчика, його цифровий вихід переходить у логічний рівень HIGH, який зчитується мікроконтролером як ознака наявності протікання. У Tinkercad цей сигнал моделюється шляхом ручного перемикання логічного рівня, однак у фізичній реалізації це досягається за рахунок електропровідності води.

Порогове спрацювання датчика не налаштовується програмно – воно визначається електричними характеристиками самого модуля, зокрема чутливістю компаратора та граничною провідністю. Типові умови активації відповідають прямому контакту з водою, тобто наявності струмопровідного середовища між електродами сенсора. Це дозволяє виявляти не лише значні об'єми води, а й початкові стадії витoku, що особливо важливо для побутових та офісних приміщень.

Програма використовує змінну `alarmTriggered` для збереження стану тривоги, а `sirenState` – для реалізації пульсуючої сигналізації. За допомогою функції `millis()` реалізовано інтервальний механізм, що дозволяє миготіти світлодіоду та вмикати буюер з періодом у 300 мс без блокування основного циклу.

Під час виконання функції `setup()` відбувається ініціалізація пінів: сенсор і кнопка задаються як входи, а світлодіод, буюер, серво та лампа – як виходи. Серводвигун повертається у початкове положення (0°), що відповідає відкритому стану крана, а лампа вмикається, моделюючи подачу живлення на об'єкт. Послідовний порт активується для виведення службових повідомлень.

Основний цикл `loop()` містить перевірку стану датчика та кнопки. Якщо датчик фіксує присутність води (високий рівень на вході D2), а тривога ще не активована (`alarmTriggered == false`), програма виконує:

- переведення `alarmTriggered` у `true`;
- поворот сервомеханізму на 90° – імітація перекриття крана;
- вимкнення лампи – моделювання відключення живлення;
- виведення повідомлення до серійного монітора.

У стані активної тривоги реалізується періодичне миготіння світлодіода і буюера. Це досягається перемиканням їх стану кожні 300 мс, що забезпечує чітку індикацію аварії.

Натискання кнопки скидає стан тривоги:

- зупиняється сигналізація;
- серво повертається у нульове положення;
- лампа знову вмикається;
- у серійну консоль виводиться повідомлення про припинення тривоги.

Важливо, що в поточній реалізації не передбачено перевірки зникнення води до натискання кнопки, однак завдяки безперервному опитуванню датчика вже у наступній ітерації програма знову фіксує наявність вологи й повертає систему у стан тривоги. Це означає, що навіть якщо користувач передчасно натисне кнопку, система автоматично повторно активується без втрати функціональності. Такий підхід дозволяє уникнути зайвої складності у програмному кодї, зберігаючи при цьому безпеку та логічну послідовність дій.

Таким чином, реалізована логіка виявлення витоків води є простою, надійною й достатньою для автономної роботи системи. Вона забезпечує

своєчасне реагування на аварійну ситуацію з мінімальними апаратними ресурсами, дозволяє користувачу здійснити ручне підтвердження усунення наслідків, але не допускає хибного повернення до нормального режиму при наявній загрозі.

3.3 Тестування роботи системи

Процес тестування був зосереджений на перевірці функціональності реалізованої системи в умовах, наближених до реальних, із використанням середовища симуляції Tinkercad. Основна мета полягала у визначенні відповідності поведінки системи закладеній логіці, а також у виявленні потенційних помилок або нестабільних станів при зміні вхідних умов.

У штатному режимі, за відсутності води, система зберігає неактивний стан: лампа залишається увімкненою, серводвигун перебуває у положенні 0° , світлодіод і бужер не подають сигналів, індикація відсутня (рисунок 3.2). Це підтверджує коректність вихідного стану після запуску контролера.

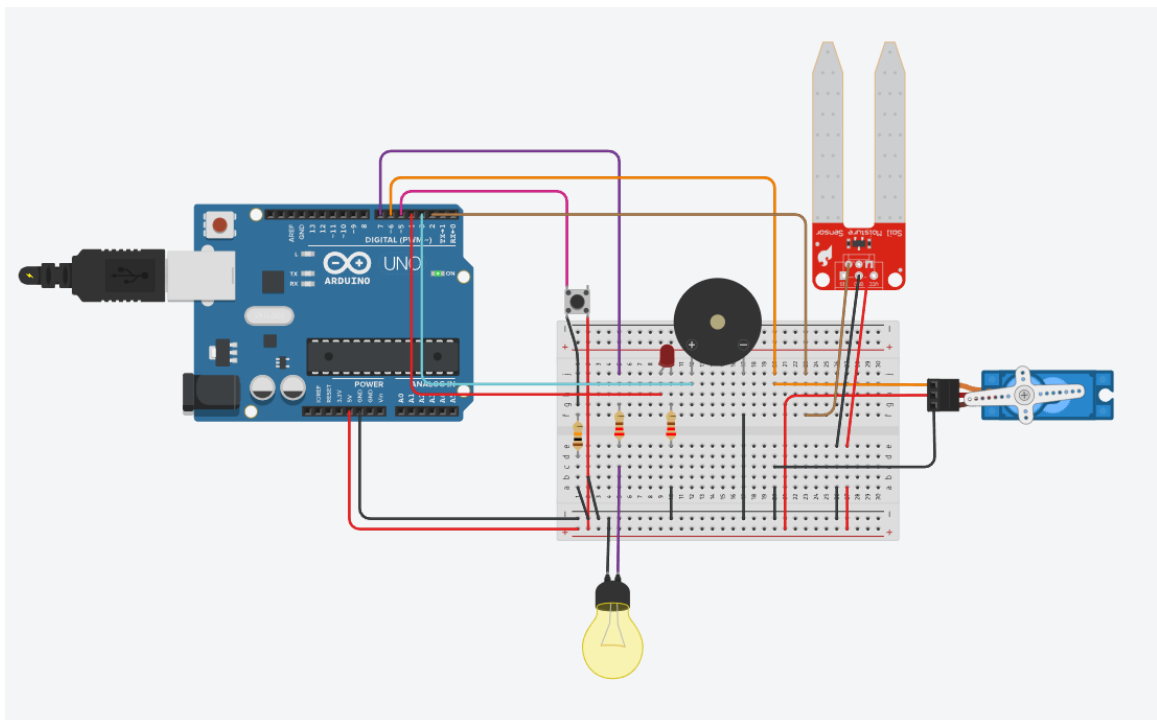


Рисунок 3.2 – Стан системи у відсутності води

Під час імітації появи води на датчику (зміна логічного рівня на HIGH) система негайно реагує: активується звукова та світлова сигналізація у вигляді пульсуючого режиму, лампа вмикається, серводвигун повертається у положення 90°, моделюючи перекриття подачі води (рисунок 3.3). У монітор серійного порту виводиться повідомлення про аварію (рисунок 3.4). Реакція відбувається без затримок, що вказує на швидкодію логіки виявлення.

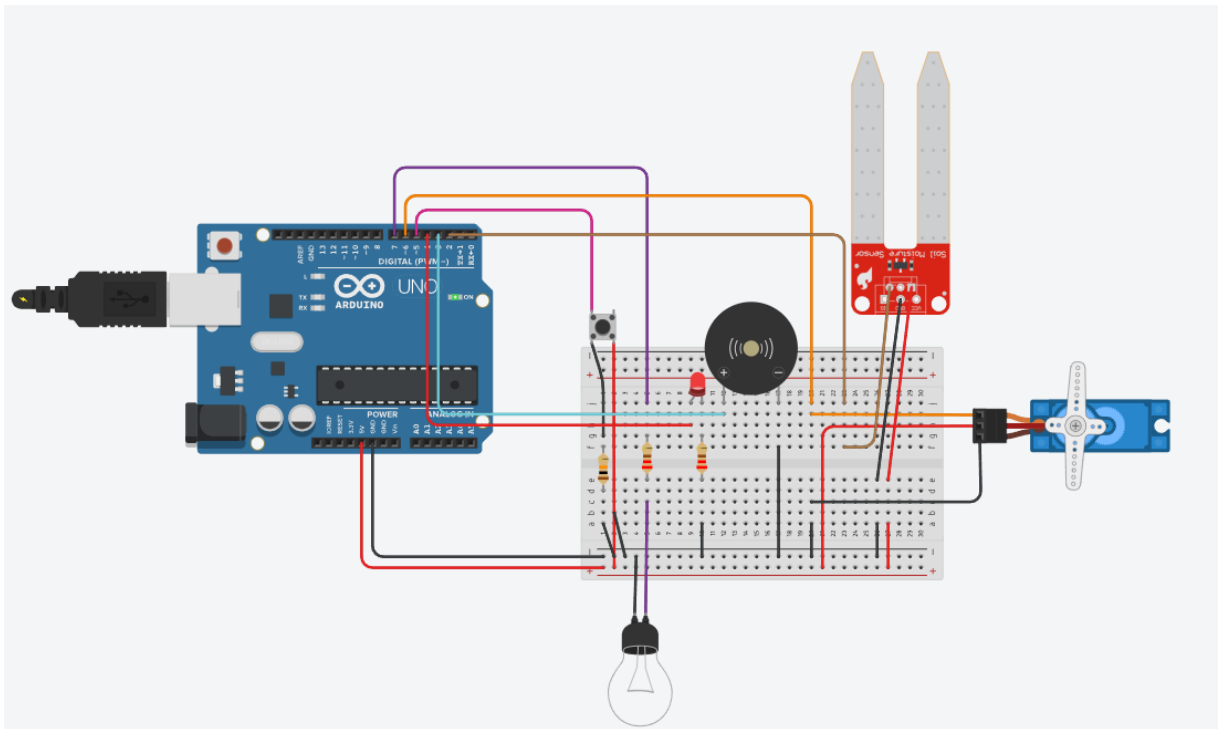


Рисунок 3.3 – Активізація тривоги при виявленні протікання

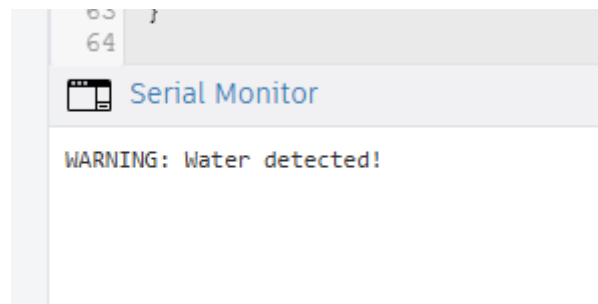


Рисунок 3.4 – Виведення повідомлень до консолі

Було окремо перевірено сценарій, за якого користувач натискає кнопку скидання ще до усунення джерела витoku. У цьому випадку система припиняє тривогу: повертає серводвигун у вихідну позицію, вмикає лампу та вимикає сигналізацію. Проте, оскільки датчик залишається у стані HIGH, вже в наступному циклі система повторно фіксує витік і повертається у режим тривоги (рисунок 3.5). Це підтверджує правильну реалізацію безперервного моніторингу та самовідновлення аварійного стану при незмінених умовах.

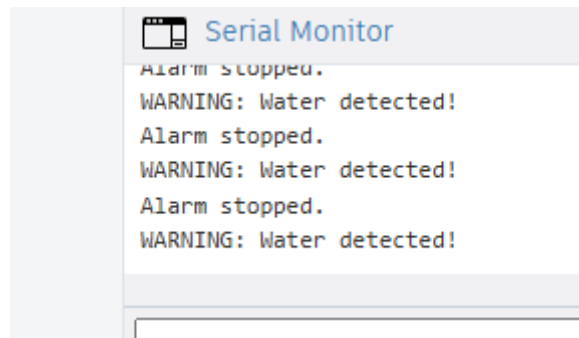


Рисунок 3.5 – Автоматичне повторне виявлення витoku після передчасного скидання

У разі, коли вода видалена перед натисканням кнопки, скидання тривоги є повністю ефективним: лампа знову вмикається, серводвигун повертається у початкове положення, індикатори залишаються вимкненими. Подальших хибних спрацювань не зафіксовано.

Було також перевірено поведінку кнопки у штатному режимі, тобто при відсутності тривоги. Усі натискання в такому випадку не викликають жодної реакції, що свідчить про відсутність некоректної логіки обробки команд.

Окрему увагу приділено перевірці роботи таймера миготіння. Інтервал у 300 мілісекунд реалізовано на основі функції `millis()`, що дозволяє уникнути блокування основного циклу. Частота перемикання світлодіода та бузера залишалась стабільною, а інші частини програми функціонували без перебоїв, що підтверджує ефективність використання неблокуючої логіки таймера.

Для оцінки стійкості до шумів і помилкових спрацювань було змодельовано короткочасне зникнення сигналу з датчика. Система реагує згідно з поточним станом входу: при зникненні води – скидає тривогу, при повторному появленні – миттєво реагує знову. Поведінка є стабільною, але в реальних умовах бажано впровадити фільтрацію для виключення нестабільності.

Результати тестування підтверджують повну працездатність системи, відповідність очікуваній поведінці та готовність до фізичної реалізації.

3.4 Охорона праці

У процесі розробки та тестування системи виявлення аварійного витoku води особливу увагу необхідно приділяти питанням охорони праці та безпеки життєдіяльності. Робота із схемами, які поєднують електричні компоненти, вологу та механічні елементи, вимагає дотримання низки технічних, санітарних та організаційних заходів.

Оскільки система має справу з електроживленням, навіть на рівні низьковольтних напруг (5 В або 12 В), важливо забезпечити захист від короткого замикання, перевантаження та електростатичних розрядів. Усі роботи з підключенням компонентів до джерела живлення повинні виконуватись тільки при відключеному живленні. У макетній реалізації допускається живлення через USB-кабель, однак у фізичній системі обов'язковим є використання сертифікованих стабілізованих блоків живлення з відповідними рівнями захисту.

Особливу небезпеку становить можливість контакту електричних елементів з водою. У реальних умовах усі датчики, модулі та проводка повинні бути захищені від прямого зволоження, що досягається за допомогою герметичних корпусів, вологостійких роз'ємів та прокладення кабелів у спеціальних ізоляційних каналах. Плати повинні монтуватися на піднятій основі або у корпусах з відповідним класом захисту не нижче IP54.

З метою зниження ризику ураження електричним струмом при обслуговуванні, слід використовувати елементи з низьким енергоспоживанням, уникати відкритих струмопровідних частин і застосовувати засоби індивідуального захисту (антистатичні браслети, ізоляційні рукавички). При роботі з паяльним обладнанням або монтажем необхідно забезпечити наявність вентиляції, організувати робоче місце з урахуванням ергономічних вимог, уникати перевантаження зору, забезпечити правильне освітлення.

У лабораторних умовах і під час налагодження макета також слід враховувати ризики, пов'язані з механічним рухом серводвигуна. Поворотний механізм не повинен бути направлений у бік оператора. Уся механіка повинна бути надійно закріплена, щоб уникнути непередбачених рухів під час роботи.

Окрему увагу варто приділяти пожежній безпеці. Усі електронні елементи повинні бути виготовлені з негорючих матеріалів, а джерела живлення – мати вбудовані запобіжники. Робоче місце повинно бути оснащено первинними засобами пожежогасіння (вогнегасник відповідного типу) та мати вільний доступ до евакуаційних виходів.

Загалом, впровадження системи виявлення витoku води не передбачає значних ризиків для життя та здоров'я за умови дотримання стандартних правил роботи з електронними схемами. Належне планування монтажу, використання захищених компонентів та дотримання інструкцій дозволяють забезпечити повну безпеку як на етапі розробки, так і в процесі експлуатації готового пристрою.

У запропонованій системі використовується низьковольтне живлення 5 В, яке подається від USB або стабілізованого блоку живлення. Такий рівень напруги вважається безпечним для людини, оскільки не перевищує граничні значення за нормативами (до 50 В змінного або до 120 В постійного струму в сухих умовах згідно з ДСТУ EN 61140).

Для теоретичної оцінки можливості ураження електричним струмом виконаємо розрахунок сили струму за законом Ома:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{5}{1000} = 0.005 \text{ (A)} = 5 \text{ (mA)}$$

$U = 5 \text{ В}$ – напруга живлення системи;

$R = 1000 \text{ Ом}$ – умовний опір тіла людини при сухій шкірі;

Отримане значення 5 мА відповідає порогу відчутного струму, однак не є небезпечним для здоров'я. Крім того, фактичний струм уразливих частин системи обмежується електронними компонентами Arduino та резисторами, що додатково знижує ризики. Всі з'єднання виконано ізольованими проводами, струмопровідні частини закриті, корпус пластиковий. Система експлуатується в нормальних умовах приміщення (температура +20 °С, сухе середовище, освітлення та вентиляція в межах норми), тому рівень електробезпеки оцінюється як достатній.

ВИСНОВКИ

У межах виконання кваліфікаційної роботи було спроектовано та реалізовано модель автоматизованої системи виявлення аварійного витоку води, що реагує на зміну вологості та генерує сигнал тривоги. Робота охоплює повний комплекс досліджень: теоретичне обґрунтування, структурне проектування, вибір елементної бази, розробку програмної логіки та віртуальне тестування функціональності системи.

У першому розділі розглянуто загальні підходи до побудови систем охоронного призначення з акцентом на рішення для виявлення витоку води. Було систематизовано типи існуючих систем: провідні та безпроводні, із централізованим і автономним управлінням, з локальною або віддаленою сигналізацією. Проаналізовано компоненти, які зазвичай застосовуються для реалізації подібних проектів, включаючи сенсори, контролери, виконавчі модулі. Виявлено, що більшість готових рішень мають високу вартість або вимагають складної інфраструктури, що обмежує їх доступність у побуті та в малих комерційних об'єктах. На підставі цього сформульовано потребу в розробці альтернативної бюджетної системи, яка могла б працювати автономно та мати мінімальні вимоги до середовища впровадження.

Другий розділ присвячено постановці задачі, визначенню вимог до системи та вибору її архітектури. Сформовано технічне завдання, у якому враховано потреби користувача, обмеження за бюджетом, а також необхідність автономного функціонування без підключення до мережі. Здійснено аналіз можливих рішень і на основі критеріїв доступності, функціональності та сумісності підібрано конкретну елементну базу: мікроконтролер Arduino UNO, сенсор вологості типу DFROBOT, п'єзосирену, світлодіодні індикатори, сервомотор тощо. Побудовано структурну схему системи, описано зв'язки між її

елементами, обґрунтовано вибір топології та логіки взаємодії компонентів. Розроблено алгоритм функціонування системи: зчитування даних із сенсора, перевірка перевищення порогового рівня вологості, активація виконавчих пристроїв, індикація стану, режим скидання тривоги.

У третьому розділі описано реалізацію розробленої системи у середовищі віртуального моделювання Tinkercad. Побудовано схему з урахуванням особливостей симулятора, здійснено програмування у середовищі Arduino IDE з використанням базових бібліотек. Проведено поетапне тестування поведінки системи у нормальному режимі, при виявленні аварії та після скидання тривоги. Під час тестів підтверджено, що система коректно розпізнає ситуації з витоком, вчасно активує тривожну сигналізацію та виконує передбачені дії. Поведінка відповідає заданим вимогам і демонструє стабільність виконання програми. Проаналізовано можливості масштабування системи та адаптації до реальних умов.

Таким чином, у результаті виконаної роботи було створено повноцінну віртуальну модель автономної системи охоронного реагування на витік води. Система має просту структуру, не вимагає складного налаштування, може бути легко відтворена в реальному середовищі, а її архітектура дозволяє масштабування та подальший розвиток. Отримані результати підтверджують доцільність застосування розробленого рішення в умовах обмежених ресурсів, що відповідає поставленій меті та демонструє практичну реалізованість і ефективність запропонованого підходу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В.Токарева, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2022. 66 с.
3. Методи виявлення та запобігання витoku води . Сантех-Чистка.інфо, 2024. URL: santekhnik-chystka.lviv.ua/posluhy-santekhnika-Lviv/poisk-protechek
4. Як працює датчик від протікання води?. АквоКом 2023. URL: akvo.com.ua/ua/articles/1576-kak-rabotaet-datchik-ot-protechki-vodyi
5. Система антизатоплення: як вибрати і встановити / Безпека-шоп, 2019. URL: bezpeka-shop.com.ua/ua/blog/poleznye-sovety/sistema-antizatopleniya-kak-vybrat-i-ustanovit
6. Water Leak Detection – How It Works And Testing Method / Bob Morris / ConstructAndCommission.com, 2023. URL: constructandcommission.com
7. Aqara (Xiaomi) Water Leak Sensor. Quick Start Guide. URL: manuals.plus/xiaomi/sjcgq11lm-aqara-water-leak-sensor-manual
8. LeaksProtect User Manual. Ajax Systems. URL: support.ajax.systems/en/manuals/leaksprotect/
9. Eve Water Guard Quick Start Guide / Eve Systems. URL: manuals.plus/eve/water-guard-manual
10. Arduino Uno Rev3. Arduino Official Store. URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
11. DFRobot SEN0454 Analog Water Leak Sensor – огляд моделі / DFRobot. URL: dfrobot.com/product-2316.html

12. SG90 9 g Micro Servo – технічна характеристика з напругою, крутним моментом, кутом повороту / FriendlyWire (datasheet SG90) та Waveshare. URL: <https://www.friendlywire.com/projects/ne555-servo-safe/SG90-datasheet.pdf>

13. Mini Electric Motorized Ball Valve DN15 (5 V/12 V/24 V) / Flomarvel. URL: <https://flomarvel.com/products/1-2-inch-3-4-inch-5v-12-24v-110-220v-miniature-electric-motorized-actuator-ball-valve?variant=45472434749758>

14. Активний п'єзо-бузер для Arduino – опис підключення та робочі характеристики (4–8 В, струм ≤ 30 мА) / ArduinoGetStarted.com. URL: arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-piezo-buzzer

15. Невлюдов, І.Ш. Теорія автоматичного управління (збірник задач): навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.В.Токарева. Харків: ХНУРЕ, 2020. - 240 с.

16. Tinkercad – інтерактивне онлайн-середовище моделювання електроніки та 3D-проектування / Autodesk. URL: <https://www.tinkercad.com>

17. Servo Library. URL: <https://docs.arduino.cc/libraries/servo>

18. Стиценко Т.Є., Пронюк Г.В., Сердюк Н.М., Хондак І.І. «Безпека життєдіяльності»: навч. посібник / Т.Є Стиценко, Г.В. Пронюк, Н.М. Сердюк, І.І. Хондак. – Харків: ХНУРЕ, 2018. 336 с.