

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

Івануха Володимир Романович

«Модель системи керування датчиками «розумного будинку»/Model of the sensor management system for a “smart house”»

спеціальність: 123 - Комп'ютерна інженерія
освітньо-професійна програма - Комп'ютерна інженерія
Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи КІм-21
В.Р. Івануха

Науковий керівник:
к.т.н., доц. Л.О. Дубчак

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

" ___ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри
_____ Л. О. Дубчак

Тернопіль – 2025

АНОТАЦІЯ

Івануха В. Р. Модель системи керування давачами «розумного будинку». – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія», освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія». Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

Робота написана обсягом 85 сторінки та містить 14 рисунків, 2 додатки і 51 джерело. Метою дослідження є розроблення моделі системи керування давачами «розумного будинку», що забезпечує інтеграцію сенсорних модулів, оброблення даних та автоматичне керування виконавчими пристроями на базі платформи Arduino Uno.

Методи досліджень: системний і структурний аналіз, математичне моделювання, експериментальна перевірка апаратних модулів та програмна реалізація алгоритмів керування сенсорними і виконавчими пристроями.

Результати дослідження: сформовано апаратно-програмну модель системи керування сенсорами «розумного будинку»; розроблено модульну структуру, математичний опис та алгоритми керування на основі сигналів від типових сенсорних і виконавчих модулів. Створено програмну архітектуру для роботи в режимі реального часу та проведено функціональні випробування моделі.

Результати роботи можуть бути використані у навчальному процесі для формування практичних навичок роботи з мікроконтролерними та сенсорними системами, а також як основа для створення прототипів автоматизованих рішень.

Орієнтовні напрями розвитку досліджень: розширення системи новими сенсорами та виконавчими модулями, інтеграція бездротових засобів зв'язку та впровадження адаптивних алгоритмів керування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РОЗУМНИЙ БУДИНОК, СЕНСОРИ, ARDUINO UNO, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КЕРУВАННЯ ДАВАЧАМИ.

ANNOTATION

Ivanukha V. R. Model of the Sensor Management System for a “Smart House”. – Manuscript.

Qualification work for obtaining the Master’s degree in specialty 123 “Computer Engineering”, educational and professional program “Computer Engineering”. West Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

The work consists of 85 pages and includes 14 figures, 2 appendices and 51 sources. The aim of the research is to develop a model of a sensor management system for a smart house that integrates sensor modules, processes data and performs automatic control of actuators based on the Arduino Uno platform.

Research methods: system and structural analysis, mathematical modeling, experimental testing of hardware modules, and software implementation of algorithms for controlling sensor and actuator devices.

Research results: a hardware–software model of the smart-house sensor management system has been developed; a modular structure, mathematical description and control algorithms based on signals from typical sensor and actuator modules have been created. A software architecture for real-time operation has been implemented, and functional testing of the model has been carried out.

The results may be used in the educational process to develop practical skills in working with microcontroller and sensor systems, and can serve as a basis for creating prototypes of automated solutions.

Approximate directions for further research include expanding the system with new sensors and actuator modules, integrating wireless communication tools, and introducing adaptive control algorithms.

KEYWORDS: SMART HOUSE, SENSORS, MICROCONTROLLER SYSTEM, ARDUINO UNO, AUTOMATION, MATHEMATICAL MODEL, SENSOR MANAGEMENT, HARDWARE–SOFTWARE COMPLEX.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Сучасні мікроконтролери та їх застосування.....	9
1.1 Застосування мікроконтролерів.....	9
1.2 Arduino Uno.....	16
1.3 Аналіз завдання дослідження	20
1.4 Висновки до розділу 1	23
2 Модель системи датчиків на основі Arduino Uno.....	25
2.1 Опис апаратних компонентів системи Arduino Uno	25
2.2 Математичний опис мікроконтролерної системи.....	30
2.3 Модульна схема системи.....	34
2.4 Висновки до розділу 2	41
3 Модель системи керування датчиками на основі Arduino Uno.....	43
3.1 Середовище програмування мікроконтролерів Arduino IDE	43
3.2 Програмна архітектура та реалізація окремих підсистем.....	46
3.3 Інтегрована архітектура та функціонування системи	57
3.4 Висновки до розділу 3	61
Висновки	62
Список використаних джерел	63
Додаток А Ілюстрація зібраної системи	67
Додаток Б Світлокопії публікацій	68

ВСТУП

Стрімкий розвиток вбудованих обчислювальних систем, сенсорних технологій та засобів автоматизації формує підґрунтя для широкого впровадження концепції «розумного будинку» у сучасних технічних рішеннях [1]. Зростає потреба у створенні моделей керування датчиками, які дозволяють ефективно поєднати принципи збору інформації, її оброблення та прийняття керуючих рішень на основі отриманих даних. Такі моделі забезпечують можливість дослідження структурно-функціональної організації системи автоматизації, аналізу логіки роботи окремих модулів та оцінювання ефективності інтеграції сенсорів, виконавчих пристроїв і програмних алгоритмів у єдиному інформаційно-керуючому середовищі [2].

У межах вивчення дисциплін, пов'язаних з комп'ютерними системами та вбудованими технологіями, важливо надати студентам можливість опрацювання реальних сценаріїв збору даних із давачів та реалізації алгоритмів керування елементами «розумного будинку». Це сприяє формуванню системного розуміння принципів побудови сучасних автоматизованих систем, функціонування сенсорних мереж, механізмів взаємодії апаратного та програмного забезпечення, а також методів моделювання та оптимізації інформаційних процесів.

Метою даної роботи є розроблення та дослідження моделі системи керування давачами «розумного будинку», яка забезпечує інтеграцію сенсорних модулів, механізмів збирання та аналізу даних, а також реалізацію алгоритмів автоматичного керування виконавчими пристроями.

Об'єктом дослідження є апаратно-програмний комплекс сенсорної мережі «розумного будинку», що включає датчики, контролери та виконавчі модулі.

Предметом дослідження є методи побудови, моделювання та реалізації системи керування даними сенсорів, принципи структурування її архітектури, алгоритми функціонування та засоби інтеграції у моделі інтелектуального середовища.

У роботі застосовано такі методи: аналітичні методи аналізу інформаційних потоків; методи системного та структурного проектування; математичне моделювання процесів керування; експериментальні методи перевірки працездатності; засоби програмної інженерії для розроблення керуючих алгоритмів.

Основні завдання дослідження полягають у тому, щоб:

- 1) проаналізувати сучасні вимоги до систем автоматизації «розумного будинку» та визначити роль сенсорних мереж у їх побудові;
- 2) дослідити можливості мікроконтролерних платформ у створенні моделей керування та обґрунтувати вибір відповідної апаратної основи;
- 3) сформуванати структурну модель системи, визначити типи сенсорів, виконавчих пристроїв та логіку їх взаємодії;
- 4) розробити апаратну складову системи та виконати її налаштування;
- 5) створити програмне забезпечення для збору, фільтрації, аналізу й використання даних сенсорів у процесі прийняття рішень;
- 6) побудувати математичну модель системи, що описує її стани, переходи, інформаційні потоки та правила керування;
- 7) провести тестування моделі, оцінити її ефективність, стабільність і можливості масштабування;
- 8) визначити перспективи розвитку системи та можливості її адаптації під розширені задачі автоматизації.

Отримані результати можуть бути застосовані у навчальному процесі для поглибленого вивчення вбудованих систем, автоматизації та мережі сенсорів, а також під час розроблення практичних рішень у сфері «розумного будинку», що сприятиме формуванню фахових інженерних компетентностей.

За результатами виконаної роботи опубліковано тези доповіді на II всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі» та на II всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні підходи до розвитку технологій та економіки». Копії публікацій наведено у додатку Б.

1 СУЧАСНІ МІКРОКОНТРОЛЕРИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Застосування мікроконтролерів

Мікроконтролери є одним із ключових елементів сучасної електроніки, що забезпечують інтелектуальні функції керування у найрізноманітніших пристроях від побутових приладів до складних промислових систем. Вони являють собою інтегральні схеми, які об'єднують центральний процесор, пам'ять, інтерфейси введення/виведення та периферійні модулі на одному кристалі, утворюючи завершену обчислювальну систему, здатну автономно виконувати задані алгоритми. На відміну від мікропроцесорів, які потребують зовнішніх компонентів для повноцінного функціонування, мікроконтролери працюють як самостійні обчислювальні вузли, що робить їх надзвичайно зручними для побудови вбудованих систем [3].

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій мікроконтролери стали ключовими елементами реалізації концепцій кіберфізичних систем, у яких фізичні процеси інтегруються з цифровими мережами та алгоритмами керування. Такі системи дозволяють здійснювати моніторинг і управління технічними об'єктами в режимі реального часу, використовуючи розподілені обчислювальні ресурси [4].

Однією з провідних тенденцій є використання мікроконтролерів у побудові Інтернету речей (IoT), де вони виконують роль вузлів збору, оброблення та передавання інформації. Завдяки цьому формується єдиний інформаційний простір, у межах якого відбувається взаємодія тисяч пристроїв — від побутових приладів до промислових контролерів. Такий підхід відкриває нові можливості для автоматизації, оптимізації виробничих процесів, підвищення енергоефективності та зручності користування [5].

Розвиток мікроконтролерних технологій також тісно пов'язаний із поширенням систем штучного інтелекту та машинного навчання. Завдяки вдосконаленню архітектури сучасні мікроконтролери здатні виконувати операції

оброблення сигналів і прості аналітичні задачі безпосередньо на периферійному рівні. Це особливо важливо для систем, які функціонують у реальному часі та вимагають високої надійності — таких як транспорт, медицина, енергетика чи оборона [6].

Інтеграція мікроконтролерів з хмарними платформами створює основу для побудови розподілених систем керування, де дані з периферійних вузлів передаються до віддалених центрів аналітики. Це забезпечує можливість комплексного аналізу, прогнозування відмов, оптимізації роботи обладнання та підвищення рівня безпеки. Таким чином, мікроконтролери поступово перетворюються з простих елементів управління на інтелектуальні компоненти складних кіберфізичних систем, що є фундаментом сучасної технологічної епохи [7].

Перші мікроконтролери з'явилися у 1970-х роках, коли компанії Intel, Texas Instruments і Motorola представили комерційні зразки, орієнтовані на керування побутовими та промисловими пристроями [8]. Відтоді розвиток цієї технології відбувався надзвичайно швидко. Якщо ранні моделі мали 4- або 8-бітну архітектуру та обмежений набір функцій, то сучасні мікроконтролери базуються на 32- і навіть 64-бітних ядрах із високою продуктивністю, підтримкою апаратного прискорення, розвиненими периферійними модулями, засобами бездротового зв'язку й енергозберігаючими режимами [9]. Еволюція мікроконтролерів тісно пов'язана з розвитком концепцій «розумних» пристроїв, Інтернету речей (IoT) і кіберфізичних систем, де вони відіграють роль основного елемента, що забезпечує взаємодію між фізичним і цифровим світом.

Загальні принципи та структура мікроконтролера. Будова типового мікроконтролера охоплює центральний процесорний модуль, енергонезалежну пам'ять програм, оперативну пам'ять даних, таймери, лічильники, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, порти введення/виведення, інтерфейси зв'язку (UART, SPI, I²C, USB, CAN, Ethernet тощо) та модулі управління перериваннями [10]. Така інтеграція дозволяє розробникам створювати компактні й ефективні електронні системи без потреби у великій кількості додаткових мікросхем.

Головною особливістю мікроконтролера є можливість виконання завдань у реальному часі з високою точністю та мінімальним енергоспоживанням. Програмна частина мікроконтролера визначає логіку його роботи. Завдяки використанню мов програмування, таких як C або C++, розробник може реалізовувати як прості алгоритми керування, так і складні системи регулювання, діагностики чи обробки даних. Гнучкість перепрограмування забезпечує тривалий життєвий цикл пристрою, оскільки оновлення програмного забезпечення дозволяє вдосконалювати функціональні можливості без заміни апаратури.

Різноманітність існуючих мікроконтролерів зумовила необхідність їх класифікації за низкою ознак, що дозволяє ефективно обирати оптимальний тип пристрою для конкретних завдань. Найбільш поширеною є класифікація за розрядністю, архітектурою, функціональністю та енергоспоживанням.

За розрядністю мікроконтролери поділяють на 8-, 16-, 32- та 64-бітні, кожен клас має свої характеристики й області застосування. Найбільш масовими залишаються 8-бітні моделі, що використовуються у простих системах керування, побутовій електроніці, вимірювальних приладах і навчальних проектах. Контролери середнього рівня (16- і 32-бітні) застосовуються у більш складних системах, де важлива швидкодія, точність і багатозадачність, зокрема у промислових контролерах, робототехніці та телекомунікаціях. 64-бітні контролери переважно інтегруються у складні обчислювальні системи, що працюють із великими обсягами даних [11].

За архітектурними особливостями мікроконтролери розрізняють гарвардську й фон-нейманівську моделі пам'яті. У гарвардській архітектурі пам'ять програм і даних розділена, що підвищує швидкість оброблення інформації. Фон-нейманівська архітектура, навпаки, передбачає єдиний простір пам'яті, що спрощує структуру, але може обмежувати продуктивність [12].

За функціональними можливостями розрізняють універсальні та спеціалізовані мікроконтролери. Перші призначені для широкого спектра завдань, тоді як другі оптимізовані під певні галузі — автомобільну, медичну, телекомунікаційну або побутову техніку. За рівнем енергоспоживання контролери

поділяють на стандартні й енергоефективні, що дозволяють працювати від автономних джерел живлення тривалий час. Така класифікація має важливе значення при проектуванні мікроконтролерних систем, оскільки вибір архітектури, потужності та рівня енергоспоживання безпосередньо впливає на функціональні можливості, продуктивність і надійність розроблюваного пристрою [13].

Галузі використання мікроконтролерів. Мікроконтролери використовуються практично в усіх сферах людської діяльності, де необхідне автоматизоване керування процесами або взаємодія з навколишнім середовищем. Вони стали основою як побутової, так і професійної електроніки.

У побутових пристроях мікроконтролери відповідають за керування електродвигунами, температурними режимами, індикацією та користувацькими інтерфейсами. Саме завдяки ним сучасна пральна машина може адаптувати цикл прання до типу тканини, а кондиціонер — регулювати температуру з урахуванням зовнішніх умов. Мікроконтролери також забезпечують енергозбереження, що є важливим чинником у контексті сучасних екологічних стандартів [14].

В автомобільній галузі вони виконують функції «невидимого мозку» транспортного засобу. Кожна підсистема — від керування двигуном і трансмісією до безпеки та мультимедіа — має власний контролер, який обробляє дані сенсорів, приймає рішення та передає сигнали виконавчим механізмам. Наприклад, у системі ABS мікроконтролер аналізує швидкість обертання коліс і регулює тиск у гальмівній системі для запобігання блокуванню, забезпечуючи стабільність руху. У сучасних автомобілях таких мікроконтролерів може бути понад сотню, і їхня кількість продовжує зростати з розвитком автономних технологій [15].

У промислових системах автоматизації мікроконтролери використовуються для моніторингу параметрів технологічних процесів, керування механізмами, контролю стану обладнання та реалізації систем зворотного зв'язку. Їхня надійність, низьке енергоспоживання та можливість роботи в екстремальних умовах роблять їх незамінними у виробничих середовищах. Багато промислових контролерів побудовано саме на основі спеціалізованих мікроконтролерів із

розширеними можливостями захисту від електромагнітних завад і підвищеними температурними діапазонами [16].

У медичній техніці мікроконтролери відіграють вирішальну роль у керуванні приладами, що забезпечують життєво важливі функції. Вони контролюють подачу медикаментів у дозаторах, аналізують сигнали біосенсорів у кардіомоніторах, регулюють параметри апаратів вентиляції легень. Завдяки мікроконтролерам забезпечується висока точність вимірювань, безперервність контролю та надійність у роботі з чутливими біологічними системами [17].

Не менш значущим напрямом є застосування мікроконтролерів у телекомунікаціях. Вони забезпечують обробку сигналів, керування протоколами зв'язку, маршрутизацію інформаційних потоків та взаємодію між різними мережевими інтерфейсами. Без мікроконтролерів неможливо уявити роботу маршрутизаторів, комутаторів, базових станцій і модемів [18].

Особливе місце займає робототехніка, де мікроконтролери виступають центральною ланкою системи керування. Вони синхронізують рухи двигунів, аналізують інформацію з сенсорів, приймають рішення на основі закладених алгоритмів і забезпечують автономну поведінку роботів. Такі системи використовуються як у промисловості, так і в наукових дослідженнях, логістиці, освіті та побутових застосуваннях [19].

У сфері енергетики мікроконтролери реалізують інтелектуальні функції моніторингу та регулювання. Вони керують роботою сонячних інверторів, акумуляторних систем, пристроїв стабілізації напруги та розумних лічильників. Завдяки цьому відбувається оптимізація енергоспоживання та підвищення ефективності використання відновлюваних джерел енергії [20].

Переваги використання мікроконтролерів. Популярність мікроконтролерів зумовлена поєднанням низки переваг. Вони компактні, енергоефективні, недорогі та прості у програмуванні. Усі основні компоненти об'єднані на одному кристалі, що знижує вартість системи, спрощує її проектування та підвищує надійність. Крім того, більшість сучасних МК підтримують декілька режимів енергозбереження, які дозволяють значно продовжити термін роботи пристрою від автономного джерела

живлення. Високий рівень інтеграції також сприяє зменшенню розмірів обладнання, що є важливим для портативних і носимих технологій. Ще однією суттєвою перевагою є гнучкість програмного забезпечення. Змінивши лише прошивку, можна повністю змінити поведінку пристрою, адаптувавши його до нових вимог або умов експлуатації. Це робить мікроконтролери універсальними компонентами для довгострокових технічних рішень [21].

Важливою передумовою ефективності мікроконтролерів є постійне вдосконалення технологічних процесів їх виробництва. Застосування сучасних CMOS-технологій дозволяє зменшувати енергоспоживання, підвищувати швидкодію та стабільність роботи при одночасному зниженні вартості виготовлення. Завдяки переходу до нанометрових техпроцесів мікроконтролери нового покоління отримують розширені можливості оброблення даних і підтримку складних периферійних інтерфейсів без збільшення фізичних розмірів мікросхем [22].

Важливу роль у розвитку сучасних мікроконтролерів відіграє впровадження високопродуктивних ядер ARM Cortex, що поєднують високу швидкодію, низьке енергоспоживання та гнучкість у застосуванні. Такі ядра використовуються у багатьох сімействах мікроконтролерів, зокрема STM32, NXP, Atmel та ін., що робить їх де-факто стандартом галузі [23]. Крім того, сучасні мікроконтролери часто реалізуються у форматі систем-на-кристалі (SoC), які поєднують мікропроцесор, пам'ять, графічні та комунікаційні модулі в одному компактному корпусі. Завдяки цим технологічним удосконаленням сучасні мікроконтролери забезпечують високу надійність роботи, тривалий термін експлуатації та можливість інтеграції у складні апаратні комплекси. Такі характеристики роблять їх незамінною базою для побудови навчальних стендів, експериментальних установок і методичних комплексів, орієнтованих на підготовку майбутніх фахівців у галузі комп'ютерних систем [24].

Провідні виробники мікроконтролерів. На сучасному ринку мікроконтролерів домінують кілька великих компаній, які задають стандарти розвитку галузі. Серед них варто відзначити Microchip Technology, яка випускає

популярні серії PIC і AVR. Продукція цієї компанії відома своєю стабільністю, надійністю та зручністю для початківців розробників. Саме на базі AVR створено відому навчальну платформу Arduino Uno, яка сприяла популяризації мікроконтролерів у світі [25].

Іншим провідним виробником є STMicroelectronics, що розробляє сімейство STM32 на основі 32-бітних ядер ARM Cortex. Ці мікроконтролери вирізняються високою швидкістю, широкими комунікаційними можливостями та розвиненою системою підтримки програмування, завдяки чому широко застосовуються в промислових і наукових системах [26]. Компанія NXP Semiconductors спеціалізується на створенні мікроконтролерів LPC і Kinetis, орієнтованих на автомобільну та промислову електроніку. Вони відзначаються енергоефективністю й стабільною роботою в екстремальних умовах [27]. Виробник Texas Instruments пропонує серії MSP430 і C2000, які активно використовуються у вимірювальній техніці, енергетиці та системах автоматизації. Їхня перевага — низьке енергоспоживання й високий рівень точності в керуванні аналоговими сигналами [28]. Renesas Electronics та Infineon Technologies зосереджуються на промисловому й автомобільному секторі, випускаючи високопродуктивні мікроконтролери з розширеними засобами захисту та відповідністю стандартам безпеки [29].

Варто згадати і компанію Espressif Systems, яка популяризувала мікроконтролери ESP8266 і ESP32 з вбудованими модулями Wi-Fi та Bluetooth. Їхня поява сприяла бурхливому розвитку IoT-пристроїв і зробила бездротові технології доступними навіть для невеликих проєктів [30]. Порівняно новим гравцем на ринку є Raspberry Pi Ltd., яка створила мікроконтролер RP2040, що став основою платформи Raspberry Pi Pico. Завдяки високій продуктивності й доступній ціні він швидко здобув популярність у навчальних і наукових розробках [31].

1.2 Arduino Uno

Arduino Uno належить до найпоширеніших апаратних платформ, призначених для розробки систем на базі мікроконтролерів. Основним обчислювальним елементом цієї плати є мікроконтролер ATmega328PB, розроблений компанією Atmel, який забезпечує достатній рівень продуктивності для виконання більшості навчальних, експериментальних та аматорських проєктів [32].

Мікроконтролер ATmega328PB побудований на основі 8-бітної RISC-архітектури AVR. Завдяки виконанню інструкцій за один тактовий цикл досягається ефективність близько 1 MIPS на мегагерц, що сприяє високій швидкодії системи. Для оброблення даних передбачено 32 універсальні регістри, які оптимізують процес виконання програмного коду. Робоча частота мікроконтролера становить до 20 МГц, а обсяг пам'яті включає 32 КБ Flash для зберігання програм, 2 КБ оперативної пам'яті SRAM для проміжних обчислень та 1 КБ EEPROM для постійного збереження даних. Робоча напруга мікроконтролера становить 5 В, що є стандартним значенням для більшості навчальних та експериментальних електронних систем [33].

Апаратна частина плати містить 14 цифрових входів/виходів, із яких 6 підтримують функцію широтно-імпульсної модуляції (PWM), а також 6 аналогових входів, що забезпечують зчитування даних із сенсорів різного типу. У сфері комунікацій Arduino Uno підтримує підключення через USB-порт для програмування та серійного обміну даними, оснащена інтерфейсом ICSP для прямого програмування мікроконтролера, а також підтримує протоколи I2C та SPI для взаємодії з периферійними пристроями. Живлення плати може здійснюватися як через USB-з'єднання, так і від зовнішнього джерела з робочим діапазоном напруги від 6 до 20 В. Така гнучкість забезпечує зручність використання в різних умовах — від лабораторних середовищ до автономних систем [34].

З моменту свого створення Arduino Uno пройшла кілька етапів модернізації, що відображають поступову еволюцію конструкції. Початкова версія — Arduino Uno R1 — заклала основу для подальших розробок, сформувавши архітектурну базу, яка згодом стала стандартом у спільноті розробників. У версії Arduino Uno R2 були внесені зміни до конфігурації виводів, що підвищило зручність підключення додаткових модулів. Хоча ці вдосконалення не мали радикального характеру, вони покращили ергономіку використання плати. Найбільш суттєві зміни реалізовано в ревізії Arduino Uno R3. Ця версія отримала додаткові контакти для інтерфейсу I2C, що значно розширило комунікаційні можливості плати. Також було оптимізовано конструкцію інтерфейсів і роз'ємів, що сприяло підвищенню стабільності та надійності при створенні складних систем. Завдяки цим оновленням Arduino Uno R3 набула статусу найпопулярнішої версії серед користувачів та сприяла розширенню спільноти Arduino. Кожна нова ревізія плати є результатом прагнення розробників зробити технологію більш універсальною, доступною та гнучкою, відповідно до динамічних потреб сучасної електроніки та освітніх процесів [35].

Платформа Arduino набула надзвичайної популярності не лише серед розробників, а й у закладах освіти різного рівня — від шкіл до університетів. Вона стала невід'ємною складовою сучасного напрямку STEM-освіти (Science, Technology, Engineering, Mathematics), який орієнтований на розвиток практичних навичок у поєднанні з теоретичними знаннями. Використання Arduino дозволяє студентам безпосередньо експериментувати з електронними компонентами, вивчати основи програмування, алгоритмізації, цифрової логіки та систем автоматичного керування. Основною перевагою Arduino як навчальної платформи є її відкритість — як у апаратній частині, так і в програмному забезпеченні. Будь-який користувач може вільно завантажити схеми, прошивки, бібліотеки та приклади застосування, що спрощує процес навчання й дозволяє сконцентрувати увагу на сутності експерименту, а не на складнощях налаштування. Крім того, численні спільноти розробників і викладачів постійно поповнюють базу навчальних проектів, що дає можливість швидко адаптувати Arduino під конкретні освітні цілі [36].

У навчальному процесі Arduino використовується для побудови лабораторних стендів, макетів і демонстраційних установок, що ілюструють роботу елементів комп'ютерних систем — від сенсорів і виконавчих пристроїв до модулів обміну даними. Завдяки своїй простоті й модульності ця платформа є ефективним засобом формування інженерного мислення та розвитку креативності студентів. Робота з Arduino сприяє не лише розумінню принципів електроніки, а й засвоєнню базових концепцій системного проектування, інтеграції апаратних і програмних компонентів [37].

Таким чином, Arduino виступає потужним інструментом реалізації сучасних освітніх стратегій, орієнтованих на практичне застосування знань. Її використання у навчальних дисциплінах технічного профілю, зокрема у “Комп'ютерних системах”, створює умови для активного залучення студентів до експериментальної діяльності, стимулює самостійність і підвищує мотивацію до навчання [38].

Arduino Uno характеризується широкими можливостями розширення функціоналу за допомогою додаткових модулів, відомих як shields (щити розширення). Ці модулі дають змогу адаптувати базову платформу до конкретних технічних завдань і значно спрощують реалізацію складних апаратно-програмних систем. Наведений нижче список модулів є типовим переліком найбільш поширених рішень, що застосовуються в освітніх та інженерних проектах на базі Arduino [39]:

1) Motor Shield. Модуль призначений для керування кроковими та колекторними двигунами постійного струму. До його складу входять драйвери, які забезпечують регулювання швидкості обертання та напрямку руху валу двигуна. Застосування Motor Shield є характерним для робототехнічних систем, механізмів автоматизації та пристроїв з електромеханічним приводом.

2) Ethernet Shield. Оснащений чипсетом Wiznet W5100, цей модуль дозволяє здійснювати мережеве підключення Arduino через порт Ethernet. Він створює умови для розробки мережевих застосунків, включаючи віддалене

керування пристроями, передачу даних або функціонування в ролі локального сервера.

3) WiFi Shield. На базі мікросхем типу ESP8266 чи подібних, WiFi Shield забезпечує бездротовий доступ до інтернету. Його використання відкриває можливість інтеграції з хмарними сервісами, організації віддаленого моніторингу та управління, а також створення систем Інтернету речей (IoT).

4) Bluetooth Shield. Цей модуль забезпечує взаємодію Arduino із пристроями, що підтримують технологію Bluetooth. Завдяки цьому можна реалізовувати бездротовий обмін даними зі смартфонами, планшетами чи комп'ютерами, що є корисним у проектах мобільного керування або передачі інформації на короткі відстані.

5) GPS Shield. Забезпечує доступ до сигналів глобальної системи позиціонування, дозволяючи отримувати координати місцезнаходження у реальному часі. Такий модуль використовується в навігаційних системах, пристроях трекінгу та проектах, що вимагають визначення геолокації.

6) LCD Display Shield. Містить рідкокристалічний дисплей, який часто доповнюється кнопковим інтерфейсом. Це дає змогу створювати інтерактивні меню, відображати параметри роботи системи або здійснювати базове керування безпосередньо через саму плату.

7) Data Logging Shield. Призначений для тривалого збереження експериментальних або сенсорних даних на зовнішній носій, зазвичай SD-карту. Застосовується у проектах екологічного моніторингу, збору статистичних даних або реєстрації показників у реальному часі.

8) Audio and Music Shields. Такі модулі надають можливість відтворення звукових сигналів і музичних композицій із SD-карти або програмної генерації аудіосигналів. Вони використовуються у звукових системах, інтерактивних експозиціях та навчальних проектах.

9) Relay Shield. Забезпечує комутацію електричних навантажень, що працюють при підвищених напругах або струмах. Дає змогу підключати до Arduino

побутові електроприлади, освітлення, нагрівальні елементи тощо, що особливо актуально для систем розумного дому.

10) Sensor Shield. Сприяє швидкому підключенню великої кількості сенсорів, завдяки зручним роз'ємам і стандартизованим інтерфейсам. Його використання мінімізує необхідність у складних електричних з'єднаннях і спрощує розробку експериментальних систем.

11) CAN-Bus Shield. Реалізує підтримку промислового комунікаційного протоколу CAN, який широко використовується в автомобільній і промисловій автоматизації. Це забезпечує стабільний обмін даними між різними контролерами в мережі.

12) Energy Shield. Модуль, орієнтований на забезпечення альтернативного живлення проєктів, що працюють від батарей або потребують ефективного енергоменеджменту. Його часто застосовують у портативних або автономних пристроях.

1.3 Аналіз завдання дослідження

Сучасний освітній процес у галузі комп'ютерних систем, автоматизації та вбудованих технологій неможливо уявити без глибокої практичної складової, яка формує в студентів уміння застосовувати теоретичні знання для моделювання та розв'язання реальних інженерних задач. В умовах активного розвитку сенсорних систем, мікроконтролерних платформ і технологій «розумного будинку» актуальним стає створення навчальних та дослідницьких комплексів, що дозволяють моделювати структуру та логіку роботи систем керування, заснованих на великій кількості датчиків. Такі засоби забезпечують студентам можливість вивчати принципи взаємодії електронних компонентів, механізми автоматичного прийняття рішень і організацію інформаційних потоків у вбудованих системах різного рівня складності.

Мікроконтролери, як універсальні модулі керування, широко використовуються у побудові «розумних» середовищ, промислових автоматизованих систем, систем моніторингу, безпеки та IoT-платформ. Їхня низька вартість, гнучкість конфігурації, розширюваність та підтримка численних сенсорів роблять їх ідеальним інструментом для створення моделей систем керування. Платформа Arduino, завдяки відкритості архітектури, простоті програмування та багатству периферійних модулів, є одним із найбільш придатних рішень для побудови моделей керуючих систем «розумного будинку». Використання такої платформи дозволяє ілюструвати принципи збору даних від давачів, їх аналізу, реакції системи на зміну параметрів середовища та інтеграції алгоритмів автоматизації.

Об'єктом дослідження у даній роботі є апаратно-програмний комплекс моделі системи керування давачами «розумного будинку», що включає сенсорні, комунікаційні та виконавчі модулі, об'єднані в єдину структуру на базі мікроконтролерної платформи Arduino. Комплекс розглядається як інтегрована система, що демонструє принципи побудови інтелектуального середовища, де апаратна частина взаємодіє з програмними алгоритмами оброблення даних і прийняття рішень. У цьому контексті об'єкт дослідження виступає не лише технічним зразком, а й дидактичним засобом, спрямованим на підвищення ефективності навчання та розвиток практичних навичок роботи з вбудованими системами.

Предметом дослідження є методи побудови, розроблення та моделювання системи керування давачами, зокрема способи інтеграції сенсорних модулів, архітектура інформаційної підсистеми збору даних, алгоритми аналізу параметрів середовища, а також принципи автоматичного керування виконавчими пристроями. Предметна область включає структуру системи, підхід до вибору сенсорів, побудову програмної логіки, моделювання режимів роботи, створення сценаріїв автоматизації та організацію взаємодії компонентів у реальному або наближеному до реального часі.

Предмет дослідження охоплює як технічні, так і дидактичні аспекти. З технічного погляду аналізується ефективність зчитування даних, стабільність взаємодії сенсорів із контролером, точність реакції системи, оптимальність алгоритмів керування та можливості масштабування. У педагогічному контексті модель розглядається як інструмент формування компетентностей у галузі комп'ютерних систем, зокрема умінь працювати з цифровими та аналоговими сигналами, налаштовувати сенсорні модулі, розробляти алгоритми керування та реалізовувати програмні рішення для інтелектуальних середовищ.

Метою дослідження є створення моделі системи керування давачами “розумного будинку”, яка дозволяє вивчати теоретичні принципи побудови вбудованих систем, а також відпрацьовувати практичні навички налаштування сенсорних мереж, розроблення алгоритмів автоматизації та реалізації інтерактивних сценаріїв взаємодії компонентів.

Основна ідея полягає в тому, щоб надати студентам і дослідникам доступний, гнучкий і наочний інструмент для моделювання систем автоматизації, які збирають дані з різних давачів, обробляють їх у режимі реального часу та формують керуючі дії відповідно до заданих умов. Це дозволяє глибше зрозуміти логіку роботи систем IoT, механізми керування пристроями, а також принципи побудови інтелектуальних середовищ, у яких пристрої самостійно реагують на зміни зовнішніх факторів.

Досягнення мети включає розроблення апаратної моделі, створення програмного забезпечення, формування методичних матеріалів, а також створення сценаріїв і завдань, що демонструють різні режими роботи системи керування. Особливу увагу приділено можливості адаптації моделі до різних дисциплін, пов'язаних із програмуванням, автоматизацією, мережею сенсорів та інженерією вбудованих систем.

Практична цінність моделі проявляється у забезпеченні студентів можливістю взаємодії з реальними сенсорними пристроями, дослідження сигналів, організації обміну даними, програмування логіки керування та аналізу отриманих результатів. Такий підхід сприяє розвитку інженерного мислення, здатності

створювати апаратно-програмні рішення, оптимізувати їх роботу та оцінювати ефективність систем автоматизації.

У перспективі модель системи керування давачами може бути розширена новими типами сенсорів, додатковими виконавчими пристроями, модулями зв'язку або елементами штучного інтелекту для підвищення автономності та адаптивності системи. Модель також може бути адаптована для дистанційного або змішаного навчання завдяки використанню віртуальних симуляторів і цифрових лабораторій.

1.4 Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто сучасні мікроконтролери як базовий елемент вбудованих обчислювальних систем та проаналізовано їх ключові характеристики, архітектурні особливості та сфери застосування. Показано, що розвиток мікроконтролерних технологій тісно пов'язаний із поширенням концепцій Інтернету речей, кіберфізичних систем та інтелектуальної автоматизації, у межах яких мікроконтролери виконують функції вузлів збору, оброблення й передавання даних у режимі реального часу. Розглянуто еволюцію мікроконтролерів — від перших 8-бітних рішень до сучасних високопродуктивних платформ, що підтримують широкий набір периферійних модулів та енергозберігаючих режимів.

У межах розділу охарактеризовано загальну будову мікроконтролера, до складу якої входять процесорне ядро, пам'ять, інтерфейси зв'язку та спеціалізовані модулі. Наведено класифікацію мікроконтролерів за розрядністю, архітектурою, функціональними можливостями та енергоспоживанням, що є важливим при виборі оптимального пристрою для конкретних інженерних задач. Проаналізовано основні сфери застосування — від побутової техніки та автомобілебудування до промислової автоматизації, медичних систем, робототехніки та енергетики, що підтверджує універсальність і технологічну значущість цих пристроїв.

Окрему увагу приділено платформі Arduino Uno як одній із найпоширеніших мікроконтролерних систем, що широко використовується в освітніх, наукових та інженерних проєктах. Розглянуто апаратні характеристики плати, еволюцію її ревізій, можливості використання в навчальному процесі та основні типи модулів-розширень, які дозволяють створювати різноманітні апаратно-програмні комплекси. Arduino Uno продемонстровано як доступний, гнучкий і розширюваний інструмент, що забезпечує ефективну інтеграцію теорії та практики у вивченні комп'ютерних систем.

Виконаний аналіз дозволив сформуванати цілісне уявлення про сучасні мікроконтролери, їх функціональні особливості та роль у сучасних інформаційно-керуючих системах. Отримані результати є теоретичним підґрунтям для подальшої розробки моделі системи керування давачами «розумного будинку», що розглядається у наступних розділах магістерської роботи.

2 МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ДАТЧИКІВ НА ОСНОВІ ARDUINO UNO

2.1 Опис апаратних компонентів системи Arduino Uno

У цій роботі було використано такі компоненти Active Buzzer Module, DHT11 module, IR Receiver module, Joystick module HW-504, LCD1602 & I2C module, MAX7219 8x8 LED matrix module, RFID-RC522 Module, RTC module DS1302, Servo motor SG90, Stepper motor 28BYJ-48 & ULN2003 Driver Module, TM1637 4-digit 7-segment LED display module

Active Buzzer Module — це електронний звуковий модуль, призначений для генерування акустичних сигналів постійної частоти. У його конструкції передбачено вбудований генератор, що формує звукові коливання при подачі живлення, завдяки чому модуль не потребує зовнішнього керування частотою. Робоча напруга становить 3,3–5 В, а частота звуку — приблизно 2–4 кГц. Модуль має три основні виводи: VCC (живлення), GND (заземлення) та SIG (сигнальний контакт), який використовується для активації пристрою. При подачі логічного сигналу високого рівня на вхід SIG формується характерний звуковий сигнал. Завдяки простоті використання та надійності Active Buzzer застосовується у звукових індикаторах, системах оповіщення, сигналізаціях, а також у робототехнічних пристроях для звукового зворотного зв'язку [40].

DHT11 Module — це цифровий датчик температури та вологості, який використовується для моніторингу параметрів навколишнього середовища. Основними вимірювальними елементами є термістор (для визначення температури) та ємнісний датчик (для вимірювання вологості). Мікроконтролер, вбудований у модуль, здійснює обробку аналогових сигналів і передає результати у цифровому форматі. Датчик працює в діапазоні температур від 0 до +50 °С з точністю ± 2 °С та вимірює відносну вологість у межах 20–90 % з точністю ± 5 %. Передача даних здійснюється через однопровідний цифровий інтерфейс, що спрощує підключення до Arduino.

Датчик DHT11 працює за спеціальним цифровим протоколом, який передбачає передавання даних у вигляді строго визначеної послідовності імпульсів. Передавання кожного біта інформації кодується тривалістю високого рівня сигналу, що робить цей модуль зручним прикладом для вивчення принципів синхронізації та аналізу часових діаграм. Крім того, DHT11 має внутрішню мікросхему оброблення даних, яка виконує лінеаризацію та температурну компенсацію вимірювань, що дозволяє студентам ознайомитися з концепцією «розумних сенсорів», у яких попередня обробка даних виконується безпосередньо в сенсорному модулі. DHT11 характеризується стабільною роботою, низьким енергоспоживанням і компактними розмірами. Його застосовують у системах «розумного будинку», автоматизованих теплицях, кліматичних установках і метеостанціях [41].

IR Receiver Module — інфрачервоний приймач, призначений для приймання та демодуляції сигналів від пультів дистанційного керування. Основним елементом модуля є інфрачервоний фотодіод з вбудованим підсилювачем і фільтром частоти. Особливістю ІЧ-приймача є здатність обробляти сигнали з частотною модуляцією. Поширені побутові пульти працюють на частоті 38 кГц, і приймач має фільтрувати несучу частоту, виділяючи лише інформаційну складову. Завдяки цьому студенти можуть вивчати реальні протоколи, такі як NEC або Sony, у яких кожна команда має складну структуру з адресною частиною, інверсією та контрольними сумами. Це дозволяє використовувати модуль не тільки як засіб дистанційного керування, а й як демонстрацію принципів цифрової комунікації.

Модуль має три виводи: VCC, GND та OUT. Під час приймання сигналу фотодетектор перетворює ІЧ-випромінювання на електричні імпульси, які потім демодулюються та передаються до мікроконтролера для аналізу. IR Receiver застосовується у системах дистанційного керування побутовими приладами, у робототехніці, навчальних макетах і проектах, що потребують реалізації бездротової комунікації на короткій відстані [42].

Joystick Module HW-504 — двовісний аналоговий модуль, що використовується для зчитування положення ручки у двох координатах (X і Y) та

реєстрації натискання кнопки (вісь Z). Модуль формує два аналогові сигнали, пропорційні відхиленню ручки, та один цифровий сигнал від кнопки. Робоча напруга становить 5 В. Завдяки простоті та надійності конструкції HW-504 застосовується для ручного керування рухом роботів, дронів, ігрових пристроїв, маніпуляторів та навігаційних систем. Його використання дозволяє забезпечити зручну інтерактивну взаємодію користувача з мікроконтролерною системою.

Джойстик складається з двох незалежних потенціометрів, завдяки чому формує два окремих аналогових сигнали. Крім вимірювання координат, студент може дослідити такі параметри, як нелінійність сенсора, електричний шум, механічні коливання значень та методи програмної стабілізації. Додаткова кнопка-мікроперемикач, вбудована у джойстик, дозволяє створювати комбіновані системи управління, що поєднують аналогові та цифрові сигнали — характерний приклад гібридних систем у робототехніці [43].

LCD1602 із I2C-модулем — символічний рідкокристалічний дисплей, призначений для виведення текстової інформації. Має два рядки по 16 символів кожен і може відображати дані у вигляді латинських літер, цифр або спеціальних символів. Працює дисплей при напрузі 5 В, споживає малу кількість енергії й забезпечує хорошу видимість символів завдяки підсвічуванню. LCD1602 використовується для індикації результатів вимірювань, параметрів середовища, стану системи або меню керування.

Робота LCD1602 через перехідник I2C дозволяє значно зменшити кількість необхідних контактів, що є хорошою демонстрацією переваг шинних інтерфейсів у вбудованих системах. Цей модуль підтримує внутрішній набір команд, включаючи очищення екрана, переміщення курсора, створення власних символів і керування підсвіткою. Завдяки цьому студенти можуть вивчати принципи двобайтових інструкцій, адресного простору дисплея та роботи з регістрами, що робить модуль надзвичайно корисним для формування практичних навичок роботи з текстовими інтерфейсами [44].

MAX7219 8×8 LED Matrix Module — модуль світлодіодної матриці, що складається з 64 світлодіодів (8 рядків × 8 стовпців), керованих спеціалізованою

мікросхемою MAX7219. Контролер забезпечує адресне керування кожним світлодіодом та підтримує послідовний інтерфейс SPI для підключення до мікроконтролера. Живлення модуля становить 5 В. Модуль MAX7219 реалізує автоматичне мультиплексування, що означає, що він керує світлодіодами за допомогою швидкого циклічного перемикавання рядків та стовпців. Це дозволяє значно зменшити навантаження на Arduino, оскільки більшість обчислень виконується в самому драйвері. Студенти можуть експериментувати з частотою оновлення, яскравістю та побудовою символів або анімацій, що відкриває можливість дослідження алгоритмів формування зображень у низькороздільних системах. MAX7219 дозволяє об'єднувати кілька матриць у каскад, створюючи великі екрани для відображення тексту, символів чи графічних ефектів. Модуль використовується у інформаційних табло, годинниках, лічильниках та інтерактивних дисплейних системах [45].

RFID-RC522 Module — радіочастотний модуль для зчитування та запису ідентифікаційних карт стандарту MIFARE, що працює на частоті 13,56 МГц. У складі модуля міститься мікросхема MFRC522, антена та допоміжні елементи, які забезпечують стабільну передачу та прийом сигналів. Зв'язок із мікроконтролером реалізується через інтерфейс SPI, що забезпечує високу швидкість обміну даними. Модуль підтримує автентифікацію, читання та запис у пам'ять карток. RFID-RC522 широко застосовується у системах контролю доступу, ідентифікації персоналу, електронних замках, автоматизованих облікових пристроях і навчальних проектах. RFID-RC522 використовує механізм електромагнітної індукції для обміну даними між антеною зчитувача та RFID-міткою. Протокол MIFARE передбачає складну структуру секторів пам'яті, в яких кожна сторінка має власні ключі доступу. Це дає можливість продемонструвати студентам основи авторизації, шифрування та структури блоків даних. Модуль також дозволяє моделювати системи контролю доступу, реєстрації присутності або безконтактного керування пристроями [46].

RTC Module DS1302 — модуль реального часу, який забезпечує точне відлічування годин, хвилин, секунд, днів, місяців і років, включно з урахуванням високосних років. Основою модуля є мікросхема DS1302, що має інтегрований

генератор із кварцовим резонатором, схему живлення та енергонезалежну пам'ять RAM обсягом 31 байт. Живлення здійснюється від джерела 3,3–5 В, а резервне живлення забезпечується літієвою батареєю типу CR2032, що підтримує хід годинника при відключенні основного живлення. Обмін даними з мікроконтролером виконується через трьохдротовий інтерфейс (CE, I/O, SCLK). Модуль DS1302 застосовується у пристроях, де необхідне збереження точного часу — у реєстраторах даних, таймерах, системах обліку подій та керуванні процесами [47].

Servo Motor SG90 — компактний сервопривід, що забезпечує точне позиціонування вала в межах кута 0–180°. У середині сервоприводу розміщено двигун постійного струму, редуктор і схему керування зворотного зв'язку на основі потенціометра. Керування здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), де тривалість імпульсу визначає положення вала. Сервопривід SG90 працює при напрузі 4,8–6 В і розвиває крутний момент близько 1,8 кг·см. Завдяки малим габаритам і низькій вартості він широко застосовується у робототехнічних системах, автоматичних механізмах, моделях літальних апаратів і керованих макетах. У поєднанні з Arduino сервопривід дозволяє реалізовувати рухомі елементи конструкцій із високою точністю позиціонування [48].

Stepper Motor 28BYJ-48 з ULN2003 Driver Module — кроковий двигун постійного струму з редуктором, який забезпечує покрокове обертання вала з високою точністю позиціонування. Двигун має чотири фази, а кут одного кроку становить $5,625^\circ/64$. Для керування двигуном використовується модуль ULN2003, який містить транзисторний каскад із діодами захисту та дозволяє безпосередньо керувати обмотками двигуна від мікроконтролера. Живлення становить 5 В. Завдяки наявності редуктора та високій точності позиціонування цей двигун застосовується у 3D-принтерах, приводах точних механізмів, системах подачі, а також у навчальних стендах із вивчення електромеханічних процесів [49].

TM1637 4-Digit 7-Segment LED Display Module — це чотирирозрядний семисегментний індикатор, керований мікросхемою TM1637. Кожен розряд складається з семи світлодіодних сегментів і додаткової десяткової крапки.

Контролер TM1637 спрощує обмін даними з мікроконтролером через дволінійний інтерфейс CLK і DIO, дозволяючи керувати індикатором лише двома виводами. Модуль працює при напрузі 3,3–5 В, споживає незначний струм і забезпечує високу яскравість відображення. Використовується для індикації числових даних — часу, лічильників, швидкості, температури, відстані тощо. Його перевагами є компактність, простота підключення й надійність роботи в умовах тривалого використання [50].

2.2 Математичний опис мікроконтролерної системи

Мікроконтролерна система навчального стенду, побудована на основі плати Arduino Uno, функціонує як дискретна апаратно-програмна структура, роботу якої можливо формалізувати за допомогою математичних моделей. Такі моделі дозволяють описати взаємодію сенсорних модулів, керувальних алгоритмів, внутрішніх станів мікроконтролера та виконавчих пристроїв у вигляді логічних і числових залежностей.

У загальному вигляді роботу системи доцільно подати через кортеж:

$$S = \langle X, Y, M, F, T \rangle,$$

де X – множина вхідних сигналів від сенсорів та елементів керування, Y – множина вихідних реакцій системи, M – сукупність апаратних модулів стенду, F – функція перетворення, яка визначає логіку функціонування, T – дискретний час, у межах якого відбуваються обчислення та оброблення сигналів.

Вхідні сигнали формуються такими модулями: датчиком температури й вологості DHT11, інфрачервоним приймачем, джойстиком HW-504, зчитувачем RFID-карт RC522 та годинником реального часу DS1302. Сукупність цих даних описується вектором:

$$X_{(t)} = \{X_{DHT}, X_{IR}, X_{JOY}, X_{RFID}, X_{CLK}\}$$

Вихідні сигнали $Y_{(t)}$ визначають реакції системи у даний момент часу та включають інформацію для LCD1602, керуючі дані для матриці MAX7219, сигнал для активного бузера, значення для управління сервоприводом SG90 та дані щодо кількості та напрямку кроків крокового двигуна 28BYJ-48. Таким чином:

$$Y_{(t)} = \{Y_{LCD}, Y_{LED}, Y_{BUZ}, Y_{SER}, Y_{STEP}\}$$

Робота мікроконтролерної системи в цілому описується співвідношенням:

$$S_{(t+1)} = F(S_{(t)}, X_{(t)}),$$

де $S_{(t)}$ позначає внутрішній стан контролера у момент t , а F є детермінованою функцією, що задає зміну станів відповідно до алгоритмів, реалізованих у програмному коді.

Вихідні дані визначаються через функцію відображення:

$$Y_{(t)} = G(S_{(t)}),$$

що означає прямий зв'язок між внутрішнім станом і фізичними сигналами на виходах.

Модулі стенду мають власні математичні моделі. Датчик DHT11 формує значення температури T та вологості H у вигляді двохбайтових величин, що обчислюються за формулами:

$$T = T_{int} + \frac{T_{dec}}{10}$$

$$H = H_{int} + \frac{H_{dec}}{10}$$

Інфрачервоний сигнал представляється послідовністю імпульсів різної довжини, які можна подати у вигляді множини $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$. Функція розкодування $D(x_{IR})$ інтерпретує часові інтервали й повертає певну команду.

Джойстик HW-504 формує два аналогові значення a_x і a_y у діапазоні 0–1023 та цифровий стан кнопки $b \in \{0,1\}$. Нормалізація координат виконується виразами:

$$x = \frac{a_x - 512}{512}$$

$$y = \frac{a_y - 512}{512}$$

LCD1602 з інтерфейсом I2C відображає текстові рядки, що математично подається функцією $L(S_1, S_2)$, де S_1 і S_2 – два рядки символів. Матриця MAX7219 представлена матрицею логічних значень:

$$y_{LED} = [b_{ij}],$$

де $b_{ij} \in \{0,1\}$ і визначає стан кожного світлодіода.

RFID-модуль RC522 інтерпретує UID картки як послідовність байтів $UID = (u_1, u_2, u_3, u_4)$. Операція автентифікації задається виразом $Auth = 1$, якщо $UID \in A$, де A – множина дозволених ідентифікаторів, і $Auth = 0$ в іншому випадку. Годинник реального часу DS1302 формує кортеж часу:

$$x_{CLK} = (h, m, s, d, mon, y),$$

що може використовуватися як незалежний часовий ресурс у програмній логіці.

Сервопривід SG90 реагує на тривалість імпульсу ШІМ-сигналу. Його положення визначається лінійною залежністю:

$$\theta = k(t_{\text{imp}} - t_{\text{min}}),$$

де $t_{\text{imp}} \in [1 \text{ ms}; 2 \text{ ms}]$ і характеризує тривалість керуючого імпульсу, а k є коефіцієнтом масштабування.

Кроковий двигун 28BYJ-48 виконує рух за рівнянням:

$$\varphi = N \cdot \alpha,$$

де N – кількість кроків, а α – кут повороту одного кроку, що дорівнює $0,0879^\circ$. Модуль індикатора ТМ1637 відображає числа у вигляді $D(d_1, d_2, d_3, d_4)$, де кожний символ d_i набуває значення від 0 до 9.

Алгоритмічна модель стенду базується на переходах між різними станами системи. Стан системи можна подати як кортеж:

$$S_{(t)} = \langle C_{(t)}, M_{(t)}, P_{(t)}, \rangle,$$

де $C_{(t)}$ позначає отриману команду (наприклад, від джойстика або ІЧ-пульта), $M_{(t)}$ містить набір робочих параметрів модулів, а $P_{(t)}$ визначає активний режим функціонування стенду. Перехід між режимами описується залежністю:

$$P_{(t+1)} = F_{P(P_{(t)}, X_{(t)})}$$

Формування вихідних сигналів визначається співвідношенням:

$$Y_{(t)} = F_{Y(P_{(t)}, X_{(t)})},$$

що відображає вплив як режиму роботи, так і сенсорних даних.

Зміст роботи стенду можна розглядати як виконання дискретного автомата, для якого визначено множини станів, входів і виходів. Такий автомат формально подається через:

$$A = \langle S, X, Y, \delta, \lambda \rangle,$$

де δ – функція переходу між станами

$$\delta(S_t, X_t) = S_{\{t+1\}},$$

а λ – функція генерації вихідних реакцій

$$\lambda(S_t) = Y_t$$

Мікроконтролер Arduino Uno реалізує конкретні форми функцій δ і λ шляхом виконання програмного коду, який циклічно обробляє сенсорні значення та генерує керувальні сигнали для виконавчих модулів.

2.3 Модульна схема системи

Модульна схема навчального стенду відіграє ключову роль у розумінні логіки його функціонування та принципів взаємодії між апаратними компонентами. Оскільки навчальний комплекс створюється з метою демонстрації роботи мікроконтролерних систем, його архітектура будується у формі модульної структури, в центрі якої розташований мікроконтролер Arduino Uno. Саме він забезпечує взаємозв'язок між сенсорними елементами, виконавчими пристроями, модулями індикації та засобами взаємодії з користувачем. Навколо мікроконтролера формується багаторівнева система оброблення сигналів, у якій

апаратні модулі працюють під керуванням єдиного програмного середовища, що забезпечує синхронізовану роботу всіх елементів стенду.

Основою функціонування стенду є принцип централізованого керування, коли Arduino Uno виконує роль основного обчислювального вузла, приймаючи сигнали з сенсорів та формуючи відповідні керувальні впливи на виконавчі механізми. Модульна схема стенду демонструє, що Arduino є ядром інформаційної обробки, тоді як усі периферійні модулі виступають джерелами або споживачами даних. Такий підхід дозволяє наочно відобразити ієрархію елементів і зрозуміти принципи їх взаємодії без заглиблення у деталі схемотехніки.

Загальна організація стенду охоплює декілька груп компонентів, кожна з яких реалізує власну функціональну роль. До першої групи належать сенсорні модулі, що забезпечують зчитування інформації з навколишнього середовища. Зокрема, датчик температури та вологості DHT11 надає можливість вивчати механізми роботи цифрових сенсорів, принципи передавання пакетних даних та використання часових протоколів. Інфрачервоний приймач, інтегрований у систему, забезпечує зчитування та демодуляцію сигналів пульта дистанційного керування. Джойстик HW-504 виступає модулем ручного управління, який генерує аналогові значення, що дозволяє продемонструвати роботу АЦП (аналогово-цифрового перетворення) в Arduino та принцип оброблення аналогових сигналів.

Наступна група компонентів представлена засобами індикації, які візуалізують інформацію про стан системи. До неї належать LCD1602 з інтерфейсом I2C, матриця MAX7219 та цифровий індикатор TM1637. Кожен із цих модулів демонструє різні способи подання даних, роботу шинних інтерфейсів, механізми оновлення екрану та структуру відображення символів. Наприклад, LCD1602 використовує дворядковий символний формат для відображення тексту, MAX7219 працює з матричною структурою 8×8, представленою у вигляді набору бітових комбінацій, а TM1637 дозволяє виводити часові або числові значення на чотирьохсегментному індикаторі.

Виконавчі елементи становлять третю функціональну групу стенду. До них належать сервопривід SG90, кроковий двигун 28BYJ-48 з драйвером ULN2003 та

активний зумер. Кожен із цих компонентів застосовується для демонстрації принципів керування механічними пристроями на основі цифрових сигналів. Серводвигун SG90 дозволяє відпрацьовувати механізми позиціонування за допомогою широтно-імпульсної модуляції, що є базовим елементом у системах автоматичного керування. Кроковий двигун 28BYJ-48 дає можливість вивчати роботу багатофазних приводів, реалізацію крокових алгоритмів та формування послідовностей логічних сигналів для керування обертанням. Активний зумер демонструє принцип генерації звукових сигналів на основі цифрового керування.

Окрему групу утворюють модулі збереження та передавання даних, такі як RFID-RC522 та годинник реального часу DS1302. Перший забезпечує роботу із безконтактною ідентифікацією, що дозволяє досліджувати механізми читання UID-карт та основи радіочастотної комунікації. Другий надає можливість працювати із часовими даними, демонструючи принципи роботи незалежних тактових систем. Їх взаємодія з Arduino відображає структуру обміну даними через інтерфейси SPI та I2C, що є важливою частиною вивчення комп'ютерних систем.

Важливим елементом у структурі стенду є модуль живлення, який забезпечує стабільну роботу всієї системи. У модульній схемі він розташовується зліва або знизу від Arduino та подає напругу як на сам мікроконтролер, так і на частину виконавчих пристроїв. Особливо важливим є живлення крокового двигуна, який потребує підвищеного струмового ресурсу, тому живиться безпосередньо від модуля живлення, тоді як керування ним здійснюється через вихідні сигнали Arduino. Це демонструє студентам розподіл між сигнальною частиною та силовою частиною схеми, що є базовим принципом побудови сучасних вбудованих систем.

Модульну схему навчального стенду можна подати як набір функціональних блоків, з'єднаних сигналами різної природи. Центральним блоком виступає Arduino Uno, який забезпечує контроль та координацію роботи всіх підсистем. До нього від сенсорних модулів надходять цифрові та аналогові сигнали, а до модулів індикації та виконавчих пристроїв подаються керувальні впливи. Така схема дозволяє розглядати стенд як повноцінну апаратно-програмну систему, яка надає

можливість створювати різноманітні лабораторні роботи, експериментальні завдання й дослідницькі проєкти.

Навчальний стенд можна використовувати для демонстрації базових і розширених можливостей мікроконтролерних систем. На його основі студенти можуть виконувати лабораторні роботи з вивчення цифрових входів і виходів, роботи АЦП, формування ШІМ-сигналів, роботи з інтерфейсами I2C, SPI та UART. Стенд дає можливість досліджувати принципи керування механічними приводами, алгоритми переміщення, способи відображення інформації на різних типах дисплеїв і моделювати прості кіберфізичні системи. Крім того, він може застосовуватися у проєктах зі створення охоронних систем, систем контролю навколишнього середовища, робототехнічних платформ або інтерактивних пристроїв.

У рамках модульної схеми (рисунок 2.1) можна чітко розділити інформаційні та керувальні потоки. Від сенсорних модулів надходять дані, що формують вхідні вектори системи. На основі цих даних Arduino виконує обчислення та формує вихідні сигнали, які надходять до пристроїв індикації або виконавчих механізмів. Завдяки цьому стенд демонструє роботу повного циклу інформаційної системи: від збору даних до керування фізичними об'єктами.

Варто врахувати, що фізично компоненти стенду можуть бути розташовані на макетній платі або на спеціалізованій платформі, де кожен модуль підписаний у вигляді окремого функціонального блоку.

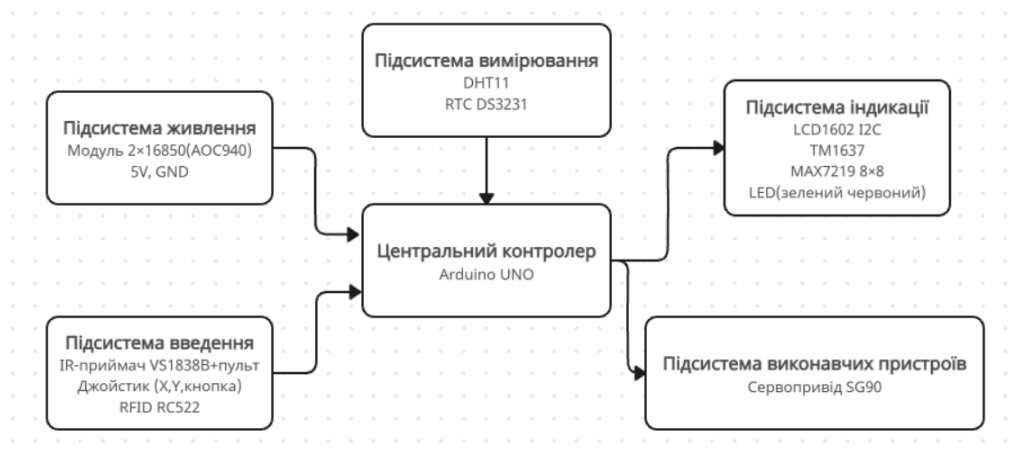


Рисунок 2.1 – Схема взаємозв'язку підсистем

Детальніше розглядаючи модульну організацію навчального стенду, слід підкреслити, що кожен з модулів, підключених до Arduino Uno, виконує не лише демонстраційну функцію, але й виступає окремим інформаційним вузлом, що впливає на загальну логіку роботи системи. Завдяки цьому модульна схема не є набором ізольованих елементів, а формує єдиний інтегрований комплекс, у якому кожен модуль взаємодіє з центральним контролером за визначеними інтерфейсами та протоколами. Усі ці елементи можна розглядати як частину взаємопов'язаної мережевої структури, де Arduino виконує роль маршрутизатора сигналів, приймає інформаційні потоки з периферії, аналізує їх і формує відповідні керувальні дії.

Розташування окремих компонентів на макетній платі або корпусі стенду враховує тип сигналів, що між ними передаються, та їхню електричну сумісність. Модуль живлення фізично відокремлений від сигнальної частини системи, що запобігає виникненню електромагнітних завад і сприяє стабільності роботи двигунів та інших енергозалежних модулів. Arduino Uno отримує живлення через стабілізований вихід модуля, що забезпечує необхідний рівень напруги та захист від перенавантажень, а сигнальні підключення виконані окремими проводами для уникнення взаємних впливів між модулями.

Важливою частиною модульної схеми є взаємодія сенсорних пристроїв із логічними алгоритмами, що реалізовані на мікроконтролері. Наприклад, дані з датчика температури та вологості DHT11 можуть бути використані як вхідні параметри для запуску інших частин системи: індикації на LCD, формування піксельних структур на матриці MAX7219 або звукової сигналізації через активний зумер. Така взаємопов'язаність модулів показує студентам, що мікроконтролерні системи не функціонують ізольовано, а утворюють складну сукупність залежностей, у якій один сенсор може впливати на декілька вихідних пристроїв одночасно.

Особливу увагу в модульній схемі привертає взаємодія із реальним часом. Модуль DS1302 формує часовий сигнал, який може використовуватися для створення періодичних подій, реалізації таймерів, формування логів або прив'язки інших дій до часових міток. У структурній схемі це дозволяє показати залежність

між постійно активним джерелом часу та програмним управлінням, де логічні блоки залежать від зміни секунд, хвилин або днів. Наявність модуля реального часу демонструє, як мікроконтролер інтегрується у системи, що потребують тривалих циклів роботи, і працює незалежно від живлення основного контролера завдяки вбудованій батареї.

У свою чергу, індикатор TM1637 і матриця MAX7219 у модульній схемі виступають у ролі інформаційних вузлів, які відображають різні типи даних залежно від задуму лабораторної роботи. На прикладних заняттях це дозволяє студентам моделювати багатокomпонентні системи, де один модуль індикації відповідає за відображення сенсорних даних, а інший — за графічну візуалізацію або відображення станів системи. Модульна схема підкреслює, що індикаційні пристрої можуть одночасно отримувати дані з різних частин алгоритму, що імітує роботу реальних промислових або побутових мікроконтролерних систем.

Суттєвим аспектом модульної організації є можливість реалізації паралельних логічних потоків. Хоча Arduino Uno не підтримує апаратну багатопоточність, програмні методи, такі як неблокуючі затримки або розподіл обчислювальних задач між різними частинами циклу, створюють враження одночасної роботи численних модулів. Завдяки цьому студенти можуть вивчати принципи паралельної роботи системи та оптимізації програмних структур. У модульній схемі це може бути відображено як паралельні логічні гілки, що ведуть від мікроконтролера до різних модулів — наприклад, одна гілка відповідає за опитування сенсорів, інша — за оновлення індикації, а третя — за керування двигунами.

Крім того, модульна схема стенду надає можливість продемонструвати модель ієрархічного керування, коли частина виконуваних задач залежить від пріоритетності подій. Наприклад, розпізнавання команди з інфрачервоного пульта може мати вищий пріоритет, ніж опитування джойстика, а зміна температури може запускати перерахунок станів системи. Візуалізація таких залежностей у схемі дозволяє пояснити принципи роботи систем керування, де одночасно можуть оброблятися кілька типів сигналів, кожен з яких має власний рівень важливості.

Варто відзначити, що модульна схема також показує особливості підключення модулів, що використовують різні комунікаційні протоколи. Робота інтерфейсу I2C (LCD1602), SPI (RC522), цифрових входів та аналогових каналів (HW-504) допомагає зрозуміти апаратну та програмну сумісність модулів у межах однієї системи. Це дозволяє студентам на практиці побачити, як поєднуються синхронні та асинхронні інтерфейси, яким чином формується адресація пристроїв, як відбувається обмін даними на різних рівнях, та як система реагує на помилки комунікації.

Не менш важливим є модуль RFID-RC522, який у модульній схемі представляє окремий функціональний напрям — безконтактну ідентифікацію. Завдяки цьому стенд може використовуватися для демонстрації методів доступу, побудови систем безпеки та реалізації елементарних алгоритмів шифрування. Об'єднання цього модуля з матрицею MAX7219 та LCD1602 дозволяє створювати комплексні сценарії управління доступом, де результат розпізнавання карти виводиться одразу на один або кілька дисплеїв.

Особливістю модульної схеми стенду є те, що вона може бути адаптована залежно від конкретних освітніх завдань. Наприклад, під час вивчення роботи двигунів схема акцентується на сигнальних лініях між Arduino та драйвером ULN2003, тоді як у розділі з інтерфейсів — на шинних з'єднаннях I2C та SPI. Це забезпечує гнучкість у використанні стенду та дозволяє викладачам змінювати акценти залежно від теми заняття.

Завдяки цьому навчальний стенд можна розглядати як багатофункціональну платформу, здатну моделювати широкий спектр комп'ютерних систем — від простих автоматизованих пристроїв до складніших кіберфізичних модулів. Модульна схема, що відображає взаємозв'язки між окремими апаратними компонентами, стає основою для подальшого розуміння принципів побудови систем реального часу, підключення периферії, формування алгоритмів керування та інтеграції апаратних рішень у більш складні інженерні конструкції.

2.4 Висновки до розділу 2

У другому розділі було здійснено комплексне дослідження апаратної та логічної структури розробленого навчального стенду на основі мікроконтролера Arduino Uno. Послідовний розгляд окремих компонентів, математичних моделей та структурних зв'язків дав змогу сформуванню цілісного уявлення про функціонування системи як інтегрованого апаратно-програмного комплексу. Результати аналізу підтвердили, що запропонована архітектура стенду є оптимальною для демонстрації широкого спектра інженерних принципів, пов'язаних із роботою мікроконтролерних систем.

У межах пункту 2.1 досліджено технічні характеристики та функціональні можливості апаратних модулів, що входять до складу стенду. Проаналізовані сенсорні, індикаційні та виконавчі пристрої охоплюють більшість типових периферійних засобів, що використовуються у сучасних вбудованих системах. Їх поєднання у межах однієї апаратної платформи демонструє студентам принципи роботи інтерфейсів введення-виведення, електричні особливості модулів та ключові підходи до їх підключення і керування. Така різноманітність апаратних елементів формує сприятливе середовище для проведення навчальних експериментів і відтворення типових сценаріїв роботи реальних цифрових систем.

У пункті 2.2 було побудовано узагальнену математичну модель стенду, що описує його роботу як дискретної керуючої системи. У моделі формалізовано структуру вхідних сигналів, внутрішніх станів та вихідних реакцій, що дозволяє розглядати роботу стенду з позицій системного аналізу. Особливу увагу приділено опису алгоритмів оброблення інформації, які реалізуються в мікроконтролері, і перетворенню вимірюваних фізичних величин у цифрові дані. Математичний опис дав змогу узагальнити функції окремих модулів та представити їх як частини єдиного алгоритмічного середовища. Такий підхід є важливим для подальшого розширення системи або інтеграції нових функціональних можливостей.

У пункті 2.3 розглянуто модульну схему навчального стенду, що відображає логічні та інформаційні зв'язки між його компонентами. Встановлено, що мікроконтролер Arduino Uno виконує роль централізованого вузла, який координує роботу сенсорів, модулів індикації та виконавчих механізмів. Модульна схема дозволяє чітко уявити маршрути проходження сигналів, взаємодію між окремими блоками та загальні принципи організації системи реального часу. Візуальне представлення архітектури підсилює розуміння студентами взаємозалежності апаратних і програмних частин та сприяє формуванню системного підходу до проектування мікроконтролерних рішень.

У підсумку можна стверджувати, що розділ 2 забезпечує ґрунтовне теоретичне та практичне підґрунтя для подальшого аналізу програмного забезпечення навчального стенду. Вивчення апаратної складової, математичної моделі й структурних зв'язків формує комплексне бачення принципів функціонування вбудованих систем і створює основу для освоєння більш складних аспектів програмування й інтеграції мікроконтролерних пристроїв. Отримані результати стануть визначальною базою для розробки алгоритмів та програмної логіки, що розглядаються у наступному розділі.

3 МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДАВАЧАМИ НА ОСНОВІ ARDUINO UNO

3.1 Середовище програмування мікроконтролерів Arduino IDE

Середовище програмування Arduino IDE 2.x є основним інструментом розроблення програмного забезпечення для мікроконтролерних систем на базі Arduino Uno, що використовується у складі навчального стенду. На відміну від попередньої гілки Arduino IDE 1.x, нова версія представляє повністю модернізоване середовище, побудоване на сучасних програмних технологіях та орієнтоване на підвищення продуктивності, зручності та ефективності розробки. Arduino IDE 2.x поєднує у собі простоту класичної версії та можливості професійних редакторів коду завдяки впровадженню механізмів автоматичного доповнення, підсвічування синтаксису, асинхронної компіляції та розширеної взаємодії із серійним монітором.

Основна концепція Arduino IDE 2.x полягає у забезпеченні швидкого переходу від написання коду до його завантаження у мікроконтролерний модуль, з мінімальною кількістю проміжних дій. Це особливо важливо при роботі з навчальним стендом, де програміст постійно взаємодіє з різноманітними апаратними компонентами — сенсорами, драйверами, індикаторами та виконавчими механізмами — і потребує оперативного тестування своїх алгоритмів. Завдяки новій архітектурі середовища, компіляція та завантаження відбуваються паралельно з іншими процесами, що значно підвищує швидкість роботи та робить Arduino IDE 2.x більш придатним для великих проєктів, ніж її попередники.

Графічний інтерфейс Arduino IDE 2.x складається з декількох функціональних зон, кожна з яких має важливе призначення у процесі розробки. Центральна частина вікна містить редактор коду, у якому розміщується скетч — програмний файл у форматі .ino. Редактор підтримує сучасні механізми інтелектуального аналізу, зокрема автоматичне доповнення коду (IntelliSense), підсвічування синтаксису, контекстні підказки щодо помилок та доступні методи і

властивості бібліотек. Це значно полегшує розробку програм для роботи із складними модулями навчального стенду, такими як MAX7219, TM1637, RC522 або драйвер ULN2003.

Ліва частина середовища містить структуру проєкту, де можна переглядати файли, підключені бібліотеки та конфігураційні параметри. Arduino IDE 2.x підтримує багатофайлові проєкти, що дозволяє організовувати код у вигляді окремих модулів — це важливо при роботі з великими програмами, які реалізують роботу всіх компонентів навчального стенду. Наприклад, можна створити окремі файли для оброблення даних DHT11, реалізації алгоритмів керування кроковим двигуном, роботи з індикатором MAX7219 або взаємодії з RFID-мітками. Такий підхід сприяє структурованості та підтримуваності програмного коду.

У верхній частині інтерфейсу розміщено панель основних керувальних елементів — кнопки «Verify» (перевірка скетчу), «Upload» (завантаження програми в мікроконтролер), вибір плати Arduino та вибір COM-порту. У версії 2.x процес компіляції став багатопотоковим, завдяки чому перевірка синтаксису та компіляція відбуваються швидше навіть під час виконання інших операцій. Це дозволяє зменшити час розробки та прискорює тестування алгоритмів, що є критично важливим під час роботи з такими модулями, як сервопривід SG90 чи кроковий двигун 28BYJ-48, де необхідно оперативно діагностувати поведінку системи.

Серійний монітор і серійний графік є ще одними ключовими інструментами Arduino IDE 2.x. Вони дозволяють у реальному часі аналізувати вихідні дані від мікроконтролера, що робить навчальний стенд повноцінним середовищем для проведення експериментів. За допомогою серійного монітора можна відстежувати дані з датчика DHT11, часові мітки з RTC DS1302, результати обробки команд з ПЧ-пульта, а також контролювати стан механічних приводів. Серійний графік, у свою чергу, дає можливість візуалізувати зміну аналогових сигналів, наприклад, від джойстика HW-504, що дозволяє студентам краще зрозуміти концепцію аналогових датчиків.

Arduino IDE 2.x активно використовує систему бібліотек, які розміщені у власному менеджері, що значно спрощує інтеграцію зовнішніх модулів у

програмний проєкт. Кожен складний компонент навчального стенду — MAX7219, TM1637, DHT11, RC522, DS1302, сервопривід чи кроковий двигун — має відповідну бібліотеку, що містить набір функцій та методів, оптимізованих під роботу з конкретним модулем. Завдяки цьому програмісту не потрібно вручну прописувати низькорівневі протоколи взаємодії; достатньо викликати функції бібліотеки, зосереджуючись на логіці алгоритмів. У навчальному процесі це дозволяє студентам проводити експерименти з високорівневими командами, розуміючи при цьому логіку взаємодії між апаратними та програмними модулями.

Суттєвою перевагою Arduino IDE 2.x є підтримка автодоповнення коду. Це забезпечує оперативний доступ до методів, властивостей і описів функцій, що дозволяє уникнути типових помилок синтаксису та полегшує роботу з великою кількістю бібліотек. Для навчального стенду, який містить понад десять апаратних модулів, це є особливо важливим, оскільки різні пристрої мають різні структури даних та команди. Наприклад, бібліотека для RC522 має складну структуру функцій читання та автентифікації, бібліотека для MAX7219 містить алгоритми керування матрицею, а бібліотека DHT дозволяє отримувати структуровані дані сенсорів. Автодоповнення дає змогу студентам швидко опанувати ці особливості без необхідності постійно звертатися до документації.

Arduino IDE 2.x також підтримує функцію інтегрованого налагодження (debugging) для деяких моделей контролерів, що відкриває нові можливості для аналізу роботи програм. Хоча Arduino Uno не підтримує апаратне налагодження на рівні мікроконтролера, сама концепція дебагера дозволяє студентам ознайомитися з підходом до покрокового виконання програм та контролю змінних. У контексті навчального стенду це дозволяє пояснити принципи діагностики помилок у складних системах, особливо при взаємодії множини модулів одночасно.

Значний вплив на якість розробки має і покращена система повідомлень про помилки. Arduino IDE 2.x надає детальний аналіз, зазначає лінію коду, тип помилки та пропонує можливі способи її усунення. Це формує у студентів навички роботи з компіляторами та розуміння структури програмних помилок, що є важливою складовою інженерної підготовки.

Підтримка вкладок дозволяє структурувати великий проєкт на окремі логічні частини. У випадку навчального стенду це може бути поділ коду на файли для роботи з індикацією, для сенсорних пристроїв, для виконавчих механізмів і для обробки команд користувача. Такий підхід формує у студентів базове розуміння модульного програмування та принципів побудови масштабованих програмних систем.

Окремим елементом є менеджер плат, який дозволяє розширювати можливості IDE за рахунок встановлення додаткових мікроконтролерних платформ. Хоча навчальний стенд використовує Arduino Uno, підтримка інших плат дозволяє студентам порівнювати архітектури, вивчати переваги та обмеження кожної платформи і формувати комплексне уявлення про мікроконтролерні системи. Це створює умови для подальшого переходу від простих стендів до промислових систем.

Таким чином, Arduino IDE 2.x є не просто редактором коду, а цілісним інтегрованим програмним середовищем, яке забезпечує повний цикл розробки програмного забезпечення для навчального стенду. Воно поєднує інструменти для створення, аналізу, компіляції, тестування та діагностики програм, надаючи студентам можливість працювати зі складними апаратними модулями, досліджувати їхню поведінку та вивчати методи взаємодії мікроконтролерів з фізичними пристроями. Завдяки цьому Arduino IDE 2.x виступає ключовим інструментом у підготовці майбутніх фахівців у галузі комп'ютерних систем і вбудованих технологій.

3.2 Програмна архітектура та реалізація окремих підсистем

Програмне забезпечення навчального стенду побудоване за принципом модульної та подієво-орієнтованої архітектури, у якій кожна функціональна частина системи представлена окремою підсистемою, що відповідає за роботу

певного апаратного компонента або групи компонентів. Центральний цикл програми виконує роль керованого диспетчера, який узгоджує виконання логічних операцій, моніторинг станів, опитування сенсорів та реагування на події користувача. Основною особливістю побудови програмної логіки є відмова від блокуючих затримок та перехід до неблокуючої моделі, реалізованої через використання таймерів на основі функції `millis()`. Завдяки такому підходу всі підсистеми функціонують паралельно з точки зору користувача, що створює ефект багатозадачності та забезпечує коректну роботу складної інтегрованої системи навіть під час одночасного виконання кількох процесів.

Основою архітектури є розділення всієї логіки на окремі модулі-контейнери, що взаємодіють між собою через глобальні змінні стану. Такий підхід дозволив реалізувати підсистему кліматичного моніторингу, підсистему реального часу, підсистему користувацької взаємодії, підсистему ідентифікації, підсистему графічної індикації, підсистему звукових сигналів та механізм електромеханічного приводного керування. Структура програми створює умови для покрокової ініціалізації, незалежного оновлення, захисту від некоректних даних та синхронізації подій, пов'язаних із діяльністю різних апаратних компонентів.

Підсистема опрацювання кліматичних даних (DHT11 та LCD1602 I²C). Підсистема кліматичного моніторингу відіграє важливу роль у демонстрації взаємодії мікроконтролера з цифровими сенсорами, а також у формуванні текстових інтерфейсів для подання інформації користувачу. Вона ґрунтується на роботі з датчиком температури та вологості DHT11, який використовує цифровий однопровідний протокол для передавання результатів вимірювання. Принципи кодування імпульсів у цьому протоколі базуються на часовому розтягненні тривалості високого рівня сигналу, що дає змогу формувати біти нульового та одиничного значення. У програмі реалізовано алгоритм, заснований на періодичному опитуванні датчика з використанням внутрішнього таймера, який запобігає перевантаженню сенсора надмірною кількістю запитів. Програмна функція оновлення кліматичних даних порівнює поточний час із останнім моментом звернення до DHT11, і тільки після спливу визначеного інтервалу

здійснюється нова спроба отримання показників. Це дозволяє уникати блокування основного циклу та забезпечує стабільність роботи.

```
// ----- DHT11 + LCD -----  
unsigned long lastDhtTime = 0;  
const unsigned long DHT_PERIOD = 2000; // оновлення кожні 2 секунди  
  
void updateDHTandLCD() {  
    unsigned long now = millis();  
    if (now - lastDhtTime < DHT_PERIOD) return;  
    lastDhtTime = now;  
  
    float h = dht.readHumidity();  
    float t = dht.readTemperature();  
  
    lcd.clear();  
  
    // Перевірка на помилки датчика  
    if (isnan(h) || isnan(t)) {  
        lcd.setCursor(0, 0);  
        lcd.print("DHT11 ERROR");  
        return;  
    }  
}
```

Рисунок 3.1 – Оновлення DHT11

Отримані значення температури й вологості проходять додаткову перевірку на предмет коректності. Якщо один із параметрів повертає некоректне значення, функція формує відповідне повідомлення про помилку, що дозволяє забезпечити надійність індикації. Після успішного зчитування даних інформація відображається на дисплеї LCD1602, який підключений за інтерфейсом I²C через перетворювач адресної шини. Дисплей у цій підсистемі виконує роль основного інтерфейсу виведення текстових повідомлень. На першому рядку показуються актуальні значення температури у градусах Цельсія та відносної вологості, а на другому — статус електромеханічного замка та позначення режиму роботи системи. Такий підхід дозволяє водночас моніторити стан середовища та реагувати на зміни доступу чи активності інших модулів.

```

// ----- РЯДОК 1 -----
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("T:");
lcd.print(t, 1);
lcd.print((char)223); // градус
lcd.print("C ");

lcd.print("H:");
lcd.print(h, 0);
lcd.print("%");

// ----- РЯДОК 2 -----
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Lock:");
lcd.print(lockOpen ? "OPEN " : "CLOSE");
lcd.print(" ");

lcd.print(gameMode ? "GAME" : "NORM");|

```

Рисунок 3.2 – Виведення на LCD

Ця підсистема демонструє приклад комплексного об'єднання сенсора та засобу індикації у межах одного програмного циклу. Вона також задає стиль організації логіки в інших функціональних модулях, які використовують аналогічні принципи неблокуючого оновлення та високого рівня надійності у зчитуванні даних.

Підсистема реального часу (DS3231 та TM1637). Підсистема реального часу базується на роботі прецизійного годинника DS3231, який забезпечує точність відліку часу завдяки вбудованому температурно-компенсованому генератору. У програмній частині реалізовано механізм періодичного звернення до модуля з використанням таймера, що гарантує раціональне використання ресурсів. Під час кожного циклу оновлення зчитується структура часу, яка містить години та хвилини, після чого дані проходять форматування для відображення на цифровому індикаторі TM1637.

```

unsigned long lastRtcTime = 0;
const unsigned long RTC_PERIOD = 500; // оновлення кожні 0.5 секунди

void updateClockTM1637() {
    unsigned long now = millis();
    if (now - lastRtcTime < RTC_PERIOD) return;
    lastRtcTime = now;

    DateTime t = rtc.now();
}

```

Рисунок 3.3 – Оновлення RTC

Індикатор TM1637 використовується для подання часових даних у стислому та легко сприйнятному вигляді. Він працює з використанням дволінійного синхронного протоколу, що дозволяє формувати індикацію через передавання структурованих команд. Система використовує можливість відображати декілька цифр у форматі «години–хвилини», а також передбачає візуальне підсвічення двокрапки. Такий підхід забезпечує користувачеві чітке уявлення про поточний час, що важливо для експериментів, пов'язаних із часовою залежністю та синхронізацією процесів.

```
int hh = t.hour();
int mm = t.minute();

// Формуємо число для виводу -> 12:34 = 1234
int displayVal = hh * 100 + mm;

// Відображення на TM1637, двокрапка блимає раз на оновлення
static bool dots = false;
dots = !dots;

//      число      двокрапка   вирівняти   (true)
display.showNumberDecEx(displayVal, dots ? 0b01000000 : 0, true);
}
```

Рисунок 3.4 – Виведення на TM1637

Підсистема реального часу відіграє значну роль у загальній архітектурі стенду, оскільки забезпечує можливість реалізації подій, залежних від часу, а також дозволяє синхронізувати відображення даних із іншими процесами, що виконуються паралельно в межах програмного циклу.

Підсистема взаємодії з користувачем (інфрачервоний приймач та джойстик HW-504). У програмному забезпеченні стенду реалізовано двоканальну систему взаємодії з користувачем. Перший канал працює на основі інфрачервоного приймача, який використовується для дистанційного керування. Підсистема побудована на роботі з бібліотекою IRremote, що забезпечує декодування сигналів у форматі NEC та інших популярних протоколів. Кожна команда, отримана з

пульт, обробляється в окремому блоці логіки без затримок, що дає змогу реалізувати миттєве реагування на дії користувача. Програмна частина передбачає фіксацію останнього прийнятого коду, його відображення в моніторі порту для діагностики, а також виконання дій залежно від відповідної команди. Це можуть бути зміна напряму крокового двигуна, увімкнення режиму гри, активація мелодії або перемикання станів у інших підсистемах.

```
// ----- IRremote -----
#define IR_PIN 2

IRrecv irrecv(IR_PIN); // приймач
decode_results results; // структура для збереження коду
irrecv.enableIRIn(); // запускаємо приймач ІЧ сигналу
// ----- IR обробка -----
if (irrecv.decode(&results)) {

    unsigned long code = results.value;
    Serial.println(code, HEX); // вивід коду в HEX

    // приклад обробки кнопок
    if (code == IR_CODE_1) {
        // дія для кнопки "1"
    }

    if (code == IR_CODE_PLAYPAUSE) {
        // дія для Play/Pause
    }

    if (code == IR_CODE_NEXT) {
        // дія для Next
    }

    if (code == IR_CODE_PREV) {
        // дія для Prev
    }

    irrecv.resume(); // обов'язково! прийом наступного сигналу
}
```

Рисунок 3.5 – Фрагмент коду IRremote

Другий канал взаємодії забезпечується модулем джойстика HW-504, який складається з двох потенціометрів та натискної кнопки. Програмне забезпечення здійснює аналіз аналогових значень, які надходять з виводів АЦП, і перетворює їх на визначені напрямки руху. Отримані результати використовуються передусім у грі на матричному індикаторі, але можуть бути застосовані і для інших функцій, що робить джойстик універсальним інструментом керування.

```

void setup() {
  pinMode(JOY_SW_PIN, INPUT_PULLUP);

  // калібруємо центр (усереднюємо кілька вимірів)
  long sumX = 0, sumY = 0;
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    sumX += analogRead(JOY_X_PIN);
    sumY += analogRead(JOY_Y_PIN);
    delay(5);
  }
  joyCenterX = sumX / 10;
  joyCenterY = sumY / 10;

  Serial.begin(9600);
} // Повертає напрямок: 0=центр, 1=UP, 2=DOWN, 3=LEFT, 4=RIGHT
int getJoyDirection() {
  int xVal = analogRead(JOY_X_PIN);
  int yVal = analogRead(JOY_Y_PIN);

  int dx = xVal - joyCenterX;
  int dy = yVal - joyCenterY;

  // ВГОРУ / ВНИЗ
  if (dy < -JOY_DEADZONE) return 1; // UP
  if (dy > JOY_DEADZONE) return 2; // DOWN

  // ВЛІВО / ВПРАВО
  if (dx < -JOY_DEADZONE) return 3; // LEFT
  if (dx > JOY_DEADZONE) return 4; // RIGHT

  return 0; // немає руху
}

```

Рисунок 3.6 – Фрагмент коду для калібрування джойстика

Підсистема взаємодії з користувачем є ключовою в організації динамічної поведінки стенду, оскільки дозволяє керувати його режимами, активувати додаткові функції та моделювати поведінку складних керувальних систем.

Підсистема ідентифікації користувача (RFID RC522 та сервопривід SG90). У підсистемі ідентифікації реалізовано повний цикл оброблення доступу на основі безконтактної технології RFID. Модуль RC522 працює через інтерфейс SPI та здійснює зчитування UID карток, що наближаються до антени. У програмі реалізовано механізм визначення появи нової карти, а також процедуру зчитування унікального ідентифікатора. Після отримання UID він порівнюється з еталонним масивом, який містить дозволений ключ доступу. Такий підхід дозволяє реалізувати базовий алгоритм авторизації.

```

// ----- ОНОВЛЕННЯ RFID -----
void updateRFID() {
  // Немає нової картки → вихід
  if (!mfrc522.PICC_IsNewCardPresent()) return;

  // Не вдалося зчитати → вихід
  if (!mfrc522.PICC_ReadCardSerial()) return;

  // Перевірка UID
  bool access = checkUID(mfrc522.uid.uidByte, mfrc522.uid.size);

  if (access) {
    Serial.println("RFID: Access granted");
    lockSetState(true);      // відкриваємо замок
    beep(100);              // короткий сигнал
  } else {
    Serial.println("RFID: Access denied");
    lockSetState(false);    // зачиняємо замок
    beep(300);              // довший сигнал
  }

  // Завершення сеансу роботи карти
  mfrc522.PICC_HaltA();
  mfrc522.PCD_StopCrypto1();
}

```

Рисунок 3.7 – Основний фрагмент оновлення RC522

У разі успішної авторизації активується електромеханічний замок, керований сервоприводом SG90. Програмне забезпечення задає сервоприводу певний кут повороту, що моделює відкриття або закриття механізму. Для забезпечення зручності користування реалізовано додаткову світлодіодну індикацію, яка наочно демонструє стан замка.

У разі невірної карти система автоматично повертається у закритий стан і супроводжує подію звуковим сигналом, що дозволяє сформувати чіткий алгоритм реагування на несанкціоновані спроби доступу.

```

void lockSetState(bool open) {
    lockOpen = open;

    if (open) {
        lockServo.write(90);           // відкрити
        digitalWrite(LED_GREEN_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED_RED_PIN, LOW);
    } else {
        lockServo.write(0);           // закрити
        digitalWrite(LED_GREEN_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED_RED_PIN, HIGH);
    }
}
}

```

Рисунок 3.8 – Функція керування замком

Підсистема RFID є прикладом інтеграції цифрової технології ідентифікації з виконавчими механізмами, що дозволяє студентам досліджувати принципи електронних систем доступу та методи керування електромеханічними пристроями в режимі реального часу.

Підсистема графічної індикації та ігрового режиму (MAX7219). Підсистема графічного відображення інформації реалізована на основі матричного індикатора MAX7219, який дозволяє керувати окремими світлодіодами та формувати складні візуальні структури. У програмі використано бібліотеку LedControl, що забезпечує доступ до функцій керування яскравістю, регістрами рядків та окремими світлодіодами. У межах навчального стенду особливу увагу приділено режиму гри, який базується на переміщенні точки по двовимірному полю розміром 8×8. Алгоритм руху формує зміни координат залежно від сигналів джойстика, які надходять у вигляді аналогових значень. Програмний код обробляє ці значення, переводить їх у напрямки руху, а потім оновлює відповідну позицію точки.

```

void updateGame() {
  unsigned long now = millis();
  if (now - lastMoveTime < MOVE_DELAY) return;

  lastMoveTime = now;

  int dir = getJoyDirectionGame();
  if (dir == 0) return; // немає руху

  drawDot(dotX, dotY, false);

  if (dir == 1 && dotY > 0) dotY--; // UP
  if (dir == 2 && dotY < 7) dotY++; // DOWN
  if (dir == 3 && dotX > 0) dotX--; // LEFT
  if (dir == 4 && dotX < 7) dotX++; // RIGHT

  drawDot(dotX, dotY, true);
}

```

Рисунок 3.9 – Основна логіка гри (рух точки)

У цій підсистемі реалізовано механізм очищення матриці при переході між режимами, що дозволяє зберігати коректність відображення та уникати артефактів. Вона демонструє здатність мікроконтролера взаємодіяти з графічними структурами, обробляти аналогові сигнали та моделювати поведінку в реальному часі. Такий підхід сприяє розумінню студентами принципів побудови інтерактивних графічних інтерфейсів і створює можливість розширення функціоналу за рахунок додавання нових ігрових або візуальних режимів.

Підсистема звукової індикації (активний зумер). Підсистема звукового супроводу забезпечує можливість формування коротких сигналів та відтворення мелодій. Для реалізації простого звукового сигналу використано неблокуючий механізм, який дозволяє встановити момент закінчення звуку через таймер, не перериваючи роботу інших підсистем. Це важливий аспект для систем, що повинні залишатися реактивними під час виконання звукових операцій.

```

void beep(int duration) {
  NewTone(BUZZER_PIN, 2000); // частота 2 кГц
  delay(duration);
  noNewTone(BUZZER_PIN);

  // Стоп шуму (для глючних активних зумерів)
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
}

```

Рисунок 3.10 – Фрагмент коду для Buzzer-модуля

Більш складний алгоритм створення мелодії базується на генерації звукової частоти шляхом чергування станів високого та низького рівня на виводі зумера з певною періодичністю. Такий підхід дозволяє реалізовувати повноцінні мелодичні структури, що складаються з нот різної тривалості та висоти. Використання власного генератора замість стандартної функції `tone()` показує можливість гнучкого керування параметрами звукового сигналу.

```
int melody[] = {
  NOTE_G4,8, NOTE_C4,8, NOTE_DS4,16, NOTE_F4,16,
  NOTE_G4,8, NOTE_C4,8, NOTE_DS4,16, NOTE_F4,16,
  NOTE_G4,8, NOTE_C4,8, NOTE_DS4,16, NOTE_F4,16,
  NOTE_G4,8, NOTE_C4,8, NOTE_DS4,16, NOTE_F4,16,

  NOTE_G4,-4, NOTE_C4,-4,
  NOTE_DS4,16, NOTE_F4,16, NOTE_G4,4, NOTE_C4,4,
  NOTE_DS4,16, NOTE_F4,16,
  NOTE_D4,-1,

  NOTE_F4,-4, NOTE_AS3,-4,
  NOTE_DS4,16, NOTE_D4,16, NOTE_F4,4, NOTE_AS3,-4,
  NOTE_DS4,16, NOTE_D4,16, NOTE_C4,-1
};
```

Рисунок 3.11 – Фрагмент коду пісні “Game of Thrones”

Ця підсистема дозволяє продемонструвати принципи формування звукових хвильових сигналів та їх застосування у системах індикації та попередження.

Підсистема електромеханічного приводу (кроковий двигун 28BYJ-48 та драйвер ULN2003). Підсистема електромеханічного керування ґрунтується на роботі крокового двигуна, який використовує послідовну активацію фазових обмоток. У другому програмному файлі представлено повну реалізацію управління двигуном з використанням таблиці послідовностей, де кожен рядок відповідає фазі кроку. Програмна функція `doOneStep()` оновлює індекс фази залежно від напрямку обертання, а потім активує відповідні обмотки через функцію `stepMotor()`.

```

// Таблиця фаз крокового двигуна 28BYJ-48 (режим half-step)
const uint8_t stepTable[8][4] = {
  {1, 0, 0, 0}, // Step 0
  {1, 1, 0, 0}, // Step 1
  {0, 1, 0, 0}, // Step 2
  {0, 1, 1, 0}, // Step 3
  {0, 0, 1, 0}, // Step 4
  {0, 0, 1, 1}, // Step 5
  {0, 0, 0, 1}, // Step 6
  {1, 0, 0, 1} // Step 7
};

// Подання однієї фази на ULN2003
void stepMotor(int stepIndex) {
  digitalWrite(STEP_IN1, stepTable[stepIndex][0]);
  digitalWrite(STEP_IN2, stepTable[stepIndex][1]);
  digitalWrite(STEP_IN3, stepTable[stepIndex][2]);
  digitalWrite(STEP_IN4, stepTable[stepIndex][3]);
}

```

Рисунок 3.12 – Фрагмент коду таблиці фаз

Підсистема підтримує керування швидкістю через зміну затримки між кроками, яка визначається параметром `stepDelay`. Перемикання напрямку здійснюється шляхом змінення знака змінної, що відповідає за напрямок руху. Програмна логіка передбачає можливість зупинки приводу, що дозволяє застосовувати модуль у режимах позиціонування. Оскільки кроковий двигун взаємодіє із драйвером ULN2003, який має транзисторні ключі для керування навантаженням, програмне забезпечення виконує роль генератора керувальних сигналів для формування руху, узгодженого з механічними характеристиками приводу.

3.3 Інтегрована архітектура та функціонування системи

Повна система навчального стенду являє собою цілісну мікроконтролерну інфраструктуру, у якій поєднано велику кількість апаратних модулів, що функціонують спільно в рамках єдиної програмної логіки. Комплекс складається з

сенсорних, індикаційних, виконавчих та комунікаційних елементів, інтегрованих навколо центрального обчислювального ядра — мікроконтролера Arduino. Архітектура побудована за принципом паралельної взаємодії автономних підсистем, кожна з яких виконує власну функцію, але водночас залишається пов'язаною з іншими через глобальні механізми диспетчеризації, синхронізації та оброблення подій. У результаті формується комплексна взаємодія між усіма компонентами, що дозволяє відтворювати поведінку реальних мікроконтролерних систем та демонструвати їх роботу студентам під час практичних занять.

Усі модулі стенду інтегруються з урахуванням апаратних обмежень Arduino та можливостей його портів введення-виведення. Фізична схема підключення побудована таким чином, щоб гарантувати стабільне електроживлення, коректне розміщення цифрових і аналогових ліній, дотримання логічних рівнів сигналів та мінімізацію перешкод у комунікаційних інтерфейсах. Модулі, що використовують I²C, SPI та інші протоколи, організовано таким чином, щоб виключити конфлікти адрес, перетини ліній або невідповідність рівнів. Це дозволяє створити стабільну платформу, у межах якої можна демонструвати не тільки основи мікроконтролерної інженерії, а також складні приклади синхронної роботи різних пристроїв.

Програмне забезпечення стенду побудоване навколо концепції неблокуючого циклу, у якому всі підсистеми взаємодіють через періодичні оновлення та логічні механізми подій. Функціонування системи не залежить від послідовних затримок, що дозволяє уникати традиційних проблем, пов'язаних з блокуванням виконання під час взаємодії з довготривалими операціями. Замість цього кожний модуль використовує власні таймери, що фіксують останній момент виконання функції, і повторно активуються лише тоді, коли з'являється потреба в оновленні даних. Такий підхід створює умови для взаємної незалежності підсистем і формує динамічну структуру, здатну реагувати на зовнішні події у реальному часі.

Загальна логіка програми побудована таким чином, що першим етапом у роботі стенду є процес ініціалізації. На цьому етапі конфігуруються цифрові лінії, запускаються апаратні протоколи, активуються бібліотеки, встановлюється

початковий стан індикаторів, ініціалізуються сенсори та підсистеми, що вимагають коректного стартового значення. Такий підхід дозволяє запобігти некоректній поведінці у перші секунди роботи, що особливо важливо для модулів із власними початковими станами, таких як RTC DS3231, матричний індикатор MAX7219 та сервопривід SG90.

Після завершення фази ініціалізації відбувається перехід у режим стабільного виконання основної логіки, де центральним елементом є нескінченний цикл `loop()`. У цій частині програми мікроконтролер послідовно викликає функції оновлення, кожна з яких відповідає певній підсистемі. Саме цей механізм створює структуровану модель взаємодії, у якій кожна підсистема існує як незалежний блок, але водночас взаємодіє з іншими через змінні стану та спільні ресурси. У циклі відбувається оброблення команд від інфрачервоного пульта, реакція на аналогові сигнали з джойстика, перевірка ідентифікаційних міток RFID, оновлення кліматичних параметрів, синхронізація з реальним часом, керування приводними механізмами та оброблення звукових подій.

Повноцінна інтеграція підсистем проявляється у тому, що зміни в одній частині системи можуть безпосередньо впливати на поведінку інших компонентів. Наприклад, успішна ідентифікація RFID-картки призводить до активації сервопривода, супроводжується зміною стану світлодіодної індикації та коротким звуковим сигналом, що здійснюється в інших підсистемах, але викликається подією, зафіксованою у системі ідентифікації. Аналогічно в ігровому режимі зміни значень аналогових сигналів з джойстика відразу відображаються на матричному індикаторі, а інфрачервоний пульт може у будь-який момент переключити режим системи. Це створює багатоаспектний приклад взаємодії компонентів у реальному часі та демонструє принципи подійно-орієнтованого програмування.

Ключовим структурним елементом інтегрованої системи є диспетчеризація станів, що дозволяє підтримувати логіку роботи у різних режимах. Мікроконтролер постійно відстежує значення глобальних змінних, що відповідають за стан замка, активність ігрового режиму, статус крокового двигуна, напрямок обертання, наявність авторизації та інші параметри. Це дозволяє організувати програму у

вигляді системи, що реагує на обставини, уникаючи надмірного дублювання коду та забезпечуючи передбачувану поведінку системи.

Особливе місце в інтегрованій структурі посідає підсистема відображення даних. LCD1602, TM1637 та матричний індикатор MAX7219 працюють у тісній координації з іншими модулями та відображають різні аспекти системи. Текстовий дисплей LCD1602 постійно подає дані про температуру, вологість, стан замка та режим роботи. Індикатор TM1637 відображає час, отриманий з DS3231, забезпечуючи постійну візуальну синхронізацію часу. Матричний індикатор MAX7219 виконує роль графічного елемента, що може відображати як статичні компоненти, так і інтерактивну гру, у якій рух точки реалізовано через оброблення аналогових значень з джойстика.

Звукова підсистема також взаємодіє з іншими елементами інтегрованого середовища. Зумер подає короткі сигнали після прийому команд з пульта, після завершення процесу ідентифікації RFID-картки, після зміни режиму або активації певної дії. Мелодія, реалізована у програмній частині через власний генератор частоти, є демонстрацією того, як системи реального часу можуть формувати складні сигнали на основі точних мікросекундних затримок.

Кроковий двигун відіграє роль демонстраційного виконавчого механізму, показуючи приклад генерації послідовностей керувальних сигналів. Його робота прив'язана до підсистеми прийому інфрачервоних сигналів, що дозволяє демонструвати віддалене керування приводами. Це створює інтегровану інженерну модель, у якій одна підсистема створює подію, а інша здійснює фізичну реакцію, що чітко відображає принципи керування перетворювачами у реальних цифрових системах автоматизації.

Фізично зібраний стенд являє собою компактну платформу з розміщеними на ній модулями, встановленими у визначеній конфігурації. Кожний модуль займає логічне місце та підключений до Arduino строго відповідно до функціонального призначення. Таке компонування створює умови для інтуїтивного розуміння структури системи, дозволяє легко проводити діагностику, демонстрації та

навчальні експерименти. Важливим елементом розділу є можливість подати візуальне представлення складеної системи.

Ілюстративні матеріали зібраної системи подано у додатку А

3.4 Висновки до розділу 3

У третьому розділі було представлено комплексний аналіз програмної складової системи, що охоплює середовище розробки, архітектуру програмного забезпечення та інтеграцію функціональних підсистем у єдину мікроконтролерну систему. Послідовне дослідження програмних інструментів і алгоритмів дозволило сформулювати цілісне уявлення про принципи побудови вбудованих програмних рішень та їхню практичну реалізацію у межах навчального стенду на основі Arduino Uno.

У цілому третій розділ показав, що програмне забезпечення навчального стенду є продуманою та структурно впорядкованою системою, яка демонструє практичні методи побудови вбудованих рішень. Розділ формує основу для подальших досліджень та експериментів із системами автоматизації, дозволяє глибше зрозуміти принципи організації мікроконтролерних програм і підсилює професійні компетентності користувачів у галузі комп'ютерної інженерії.

ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи:

1) створено та досліджено модель системи керування давачами «розумного будинку», проаналізовано принципи роботи сенсорних модулів, побудовано структурну схему інформаційно-керуючої системи. На відміну від відомих рішень, орієнтованих переважно на готові IoT-платформи, розроблена модель інтегрує датчики, виконавчі пристрої та алгоритми керування в єдиний навчально-дослідницький комплекс. Це дозволило сформувати цілісне уявлення про архітектуру інтелектуальних систем керування та забезпечити практичну наочність для вивчення роботи сенсорних мереж;

2) побудовано математичну модель функціонування системи, яка описує взаємозв'язки між показниками сенсорів, логічними станами контролера та управляючими діями щодо виконавчих пристроїв. На відміну від типової алгоритмічної інтерпретації, запропонована модель враховує апаратно-програмну інтеграцію, динаміку зміни параметрів середовища та структурні особливості системи «розумного будинку». Це забезпечило можливість поглибленого аналізу поведінки системи, прогнозування її реакцій та використання моделі як інструмента навчальних і експериментальних досліджень;

3) узагальнено створену модель як універсальний засіб для навчання та відпрацювання алгоритмів автоматизації, що на відміну від комерційних IoT-комплектів має відкриту архітектуру, можливість модифікації та адаптації під різні сценарії управління давачами. Це забезпечило розвиток інженерного мислення, формування практичних компетентностей у галузі автоматизації та підвищення ефективності підготовки фахівців, які працюють із системами «розумного будинку» та сенсорними мережами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lee E. A., Seshia S. A. Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach. – 2nd ed. – Cambridge, MA: MIT Press, 2017.
2. Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications//IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2015. – Vol. 17, No. 4. – P. 2347–2376.
3. Wolf W. Computers as Components: Principles of Embedded Computing Systems Design. – 3rd ed. – Burlington, MA: Morgan Kaufmann, 2012.
4. Marwedel P. Embedded System Design: Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems and the Internet of Things. – 2nd ed. – Berlin: Springer, 2011.
5. Heath S. Embedded Systems Design. – 2nd ed. – Oxford: Newnes, 2003.
6. Barr M., Massa A. Programming Embedded Systems: With C and GNU Development Tools. – 2nd ed. – Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2006.
7. Vahid F., Givargis T. Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Introduction./New York: Wiley, 2002.
8. Ganssle J. The Art of Designing Embedded Systems. – 2nd ed. – Oxford: Newnes, 2008.
9. Yiu J. The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors. – 3rd ed. – Oxford: Newnes, 2013.
10. Arm Ltd. Cortex-M Series: Technical Overview. – Arm White Paper.
11. Cook D. J., Das S. K. Smart Environments: Technology, Protocols and Applications. – Hoboken, NJ: Wiley, 2004.
12. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions // Future Generation Computer Systems. – 2013. – Vol. 29, No. 7. – P. 1645–1660.
13. Zanella A., Bui N., Castellani A. et al. Internet of Things for Smart Cities // IEEE Internet of Things Journal. – 2014. – Vol. 1, No. 1. – P. 22–32.
14. Ashton K. That “Internet of Things” Thing // RFID Journal. – 2009. – Vol. 22, No. 7.

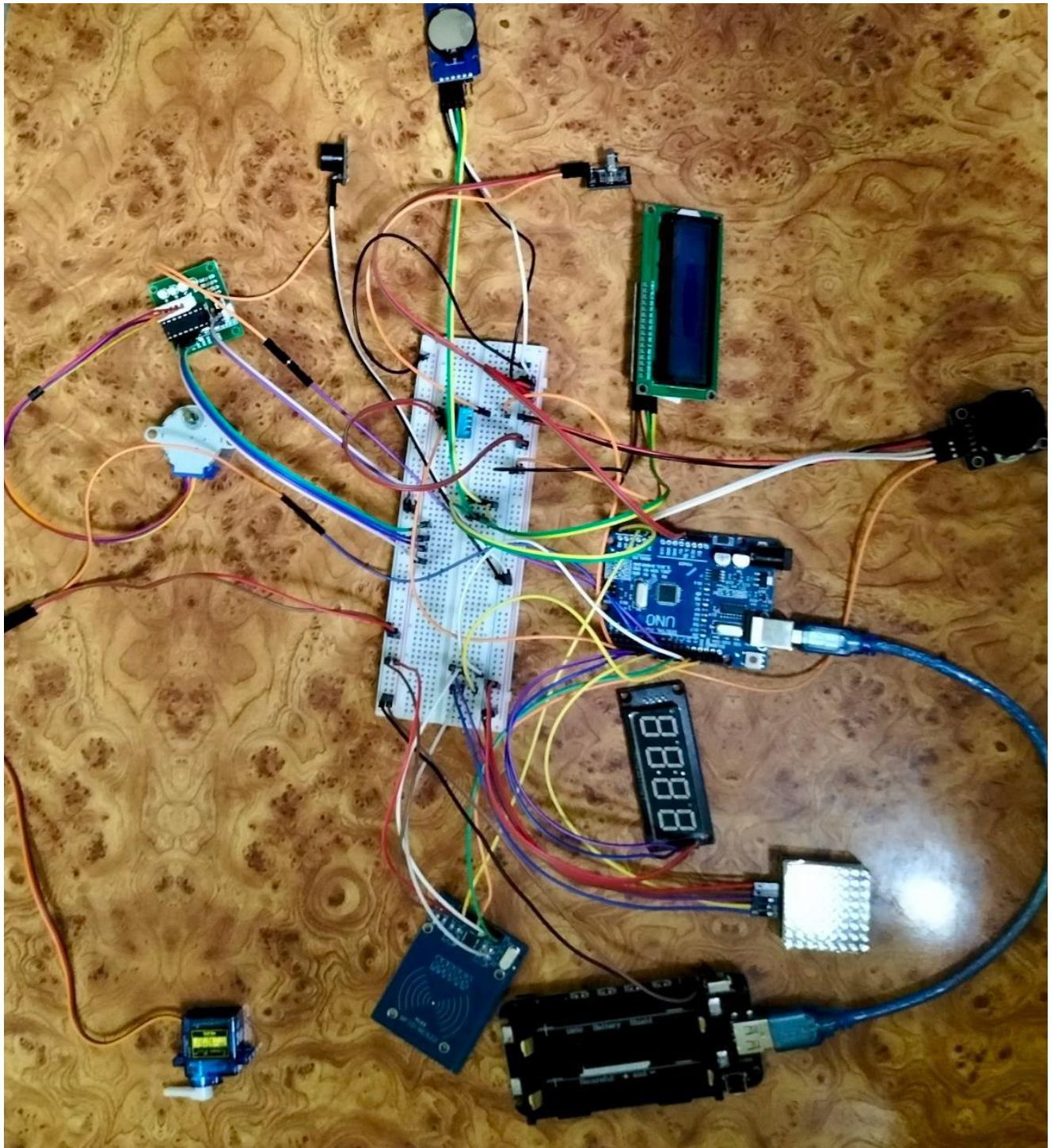
15. Microchip Technology Inc. ATmega328P: 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes of ISP Flash. – Datasheet.ww1.microchip.com
16. Arduino. Arduino Uno Rev3 – Technical Specifications.
17. Microchip Technology Inc. 8-bit AVR Microcontrollers – Product Overview.
18. Microchip Technology Inc. PIC16F87X: 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers.
19. STMicroelectronics. STM32 32-bit Arm® Cortex® Microcontroller Portfolio.
20. NXP Semiconductors. LPC Microcontroller Portfolio. – Product Overview.
21. Texas Instruments. MSP430 Ultra-Low-Power Microcontrollers. – Product Overview.
22. Texas Instruments. C2000™ 32-bit Microcontrollers for Real-Time Control.
23. Renesas Electronics. RX Family 32-Bit Microcontrollers.
24. Infineon Technologies. AURIX™ Microcontroller Family for Automotive and Industrial Applications.
25. Espressif Systems. ESP8266EX Datasheet. – Wi-Fi SoC for IoT Applications.
26. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. – Wi-Fi & Bluetooth SoCs.
27. Raspberry Pi Ltd. RP2040 Microcontroller Datasheet. – Raspberry Pi Documentation.
28. Banzi M., Shiloh M. Getting Started with Arduino. – 3rd ed. – Sebastopol, CA: Maker Media, 2014.
29. Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. – 2nd ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2016.
30. Schmidt J.-C. Arduino: A Technical Reference. – Sebastopol, CA: O’Reilly Media, 2017.
31. Evans D. The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. – Cisco IBSG White Paper, 2011.
32. Arduino. Arduino Programming Language Reference. – Офіційна довідка по мові Arduino.
33. Arduino. Arduino Education – Empowering Students to Innovate. – Офіційні матеріали Arduino Education.

34. Rajkumar R., Lee I., Sha L., Stankovic J. Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution // Proceedings of the 47th Design Automation Conference (DAC'10). – 2010. – P. 731–736.
35. Shi W., Cao J., Zhang Q., Li Y., Xu L. Edge Computing: Vision and Challenges // IEEE Internet of Things Journal. – 2016. – Vol. 3, No. 5. – P. 637–646.
36. Satyanarayanan M. The Emergence of Edge Computing // Computer. – 2017. – Vol. 50, No. 1. – P. 30–39.
37. Atzori L., Iera A., Morabito G. The Internet of Things: A Survey // Computer Networks. – 2010. – Vol. 54, No. 15. – P. 2787–2805.
38. Höller J., Tsiatsis V., Mulligan C. et al. From Machine-to-Machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence. – Amsterdam: Academic Press, 2014.
39. Blum J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry. – Hoboken, NJ: Wiley, 2013.
40. Keyes. Active Buzzer Module – Technical Specifications.
41. Aosong Electronics Co. Ltd. DHT11 Humidity & Temperature Sensor
42. Vishay Semiconductors. TSOP382... Series: IR Receiver Modules for Remote Control Systems.
43. HW-504 Joystick Module. Dual-Axis Joystick Sensor Module for Arduino – Technical Description. – Опис апаратури модуля джойстика HW-504.
44. Hitachi. HD44780U: LCD Controller/Driver Datasheet.
45. Maxim Integrated. MAX7219/MAX7221: Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers.
46. NXP Semiconductors. MFRC522: NFC 13.56 MHz Reader IC for Contactless Communication.
47. Maxim Integrated. DS1302: Trickle-Charge Timekeeping Chip. – Datasheet.silicon-ark.co.uk
48. Tower Pro. SG90 Micro Servo – Technical Specifications.
49. 28BYJ-48 Stepper Motor with ULN2003 Driver Board. 5V Stepper Motor and Driver Module – Application Notes.

50. Titan Micro Electronics. TM1637: LED Driver & Keyboard Scan Interface.

51. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи з освітнього ступеня “Магістр”. Спеціальність: 123 - Комп’ютерна інженерія/Березький О.М., Мельник Г.М. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. 33 с.

ДОДАТОК А
ІЛЮСТРАЦІЯ ЗІБРАНОЇ СИСТЕМИ



ДОДАТОК Б
СВІТЛОКОПІЇ ПУБЛІКАЦІЙ

ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ



Комп'ютерна
Інженерія



**III ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ СТУДЕНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА
МЕРЕЖІ»**

**ІКСМ
осінь 2025**

25 ЛИСТОПАДА 2025



KI.WUNU.EDU.UA/CONFERENCE/

**ТЕРНОПІЛЬ
2025**



ЗМІСТ

<i>Березька К. М. , Цимбалюк Л. В.</i>	
Цифрові засоби формування логічного мислення у процесі підготовки до ТЗНК	9
<i>Ковтуненко А.Р.</i>	
Мультимодальна висхідна сегментація об'єктів за текстовим запитом.....	11
<i>Андрухів Б.І., Воротній В.А.</i>	
Сучасні технології створення програмних засобів генерування звуків природніх мов	13
<i>Квітень Д.О.</i>	
Алгоритми класифікації режимів енергоспоживання для зниження пікових навантажень в розумному будинку.....	15
<i>Савка А.П.</i>	
Управління портфелем проєктів з використанням засобів штучного інтелекту	17
<i>Липа А.В.</i>	
Методи машинного навчання для прогнозування та управління ризиками в інфраструктурних проєктах.....	21
<i>Мороз Ю.П.</i>	
Нейромережева модель глибокого навчання для класифікації мережевих пакетів	24
<i>Шайнюк В.О.</i>	
Прогнозування транспортних потоків за допомогою Інтернету речей та машинного навчання.....	27
<i>Дзядик Б.-Д.Ю</i>	
Інтеграція блокчейн-технології та штучного інтелекту для аналізу великих даних у середовищі Інтернету речей.....	30
<i>Сичов Р.С.</i>	
Модель машинного навчання для аналізу та прогнозування якості в процесах інтелектуального виробництва	33
<i>Каравець Р.О.</i>	
Аналіз настроїв в соціальних мережах на основі технологій великих даних	37
<i>Галин В.А.</i>	
Методи динамічного та статичного виявлення аномалій у великих даних.....	39
<i>Горяча І.В.</i>	
Автоматизований підхід до огляду літератури з використанням великих мовних моделей	43
<i>Киричук Д.О.</i>	
Дослідження ефективності застосування Slicing Aided Hyper Inference для виявлення малих об'єктів на зображеннях високої роздільної здатності.....	45
<i>Гуда Ю.Ю.</i>	
Застосування методів машинного навчання для прогнозування запахів на основі молекулярної структури.....	48
<i>Загрійчук В. І.</i>	

Аналіз способів автоматизації ділової комунікації в організаціях.....	50
<i>Панасюк Н.Р.</i>	
Метод та засоби відлагодження програмного забезпечення для інтелектуальних давачів наземної мобільної робототехнічної платформи.....	52
<i>Чайківська І.Р.</i>	
Модель та засоби оцінки дизайну ІТ-продуктів.....	55
<i>Гілета А.Р.</i>	
Порівняльний аналіз ефективності гібридної нейронної мережі та класичних алгоритмів машинного навчання у задачі аналізу настрою текстів.....	57
<i>Білявський В. В.</i>	
Інтелектуально оптичні сенсори для оптимізацію рулонно-офсетного друку.....	61
<i>Турянця Т. С.</i>	
Аналіз методів досягнення консенсусу в сучасних розподілених системах	64
<i>Кришевська В.П.</i>	
Explainable AI у системах виявлення фінансового шахрайства	67
<i>Kuzmin S.O.</i>	
Efficient LoRA Tuning of Stable Diffusion for Histopathology Image Synthesis with Pathology Foundation Model Embeddings.....	70
<i>Лящинський П.Б.</i>	
Програмна система автоматичного діагностування раку молочної залози	74
<i>Копія А.В.</i>	
Пошук наборів біомедичних зображень за метаданими	78
<i>Копія А.В.</i>	
Алгоритми анотації гістологічних зображень	79
<i>Новосад В.О.</i>	
Інтелектуальна система управління мікрокліматом на основі алгоритмів машинного навчання.....	81
<i>Басалкевич О.А.</i>	
Архітектура програмного модуля для обчислення накопичування втомного пошкодження у корені лопаті вітрової турбіни.....	83
<i>Плисюк О.А.</i>	
Аналіз онлайн-відгуків товарів швидкого обороту для формування маркетингових стратегій.....	86
<i>Гешур К. В.</i>	
Методи машинного зору для розпізнавання авіаційної техніки.....	88
<i>Молодько Д.В.</i>	
Метод і засоби нейромережевого прогнозування просторових координат мобільної роботизованої платформи.....	90
<i>Чепига Р.В.</i>	
Автоматизована система менеджменту кредитних ризиків на основі штучного інтелекту.....	92

Варвянський А.О., Матіяш Ю.Р.	
Сучасні технології аналізу та опису цитологічних та гістологічних біомедичних зображень.....	94
Сидоренко О.В.	
Експертні системи у структурах управління авіаційної логістикою	97
Berezkyi M. O.	
Modular architecture for metric-based biomedical image comparison	99
Фольварочний Д. А.	
Методи та алгоритми оптимізації складних тривимірних сцен.....	103
Заяць І.В., Звіжинський В.В.	
Аналіз алгоритмів розгортання модулів навчання нейронних мереж на основі засобів MLOps.....	105
Івасів С. С.	
Інтелектуальна система визначення елементів одягу та їх кольорів на користувацькому зображенні....	107
Яворівський Т.З.	
Методи та засоби збору й обробки даних для енергоефективності смарт-підприємств.....	110
Воротній В.А., Андрухів Б.І.	
Сучасні технології створення автоматизованих систем тестування програмних засобів.....	112
Кравченко Д.О.	
Продуктивність мультиагентних систем та чинники, що її формують	114
Сорочан Н.О.	
Розпізнавання української дактильної абетки засобами штучного інтелекту.....	116
Сташишин О.В., Носанчук О.О.	
Система збору даних в бездротових мережах з використанням БПЛА	118
Соломко М.Т.	
Математична модель оптимізації пропускну здатності мережі на основі методів цілочислового програмування.....	121
Бадзь В.М.	
Recurrent Neural Networks approach for determining the authorship of English-language texts.....	125
Сологуб В. Р.	
Параметризація у аналітичних візуалізаційних системах.....	127
Івануха В.Р.	
Використання мікроконтролерної платформи Arduino у навчальному процесі.....	132
Зубрович Р.Е., Приходько О.В.	
Алгоритм реконструкції зображень на основі глибоких нейромереж	134
Щербина А.Е., Шамановський Б.В.	
Інформаційна технологія для оптимізації планування подорожей на основі штучного інтелекту.....	136
Крайник А. Р.	
Розроблення вебсистеми управління проектами з інтегрованою аналітикою.....	137
Гараздій М. Б.	

Система автоматизованого розпізнавання статі людини з використанням методів машинного зору.....	139
Рудик В.В.	
Алгоритми оптимального формування елементів веб-сторінок на основі машинного навчання.....	141
Соколовський Р. І.	
Методи та інструменти покращення користувацького досвіду в криптовалютних агрегаторах.....	143
Звіжинський В.В., Заяць І.В.	
Аналіз ефективних технологій розподілу електроенергії в розумному будинку.....	145
Гема А.В.	
Розробка імітаційної моделі управління групою мобільних роботизованих платформ.....	147
Матіяш Ю.Р., Варвянський А.О.	
Аналіз алгоритмів сегментації цифрових кольорових зображень.....	149
Батько Ю.М.	
Web-орієнтована система моніторингу температури на базі Raspberry Pi Pico W.....	151
Богонос Д.С., Павловський Т.М.	
Дифузійні моделі для синтезу цитологічних зображень.....	154
Павловський Т.М., Богонос Д.С.	
Синтез гістологічних зображень на основі дифузійних моделей	156
Мельник Г.М.	
Області застосування мікроконтролерів TinyML рівня.....	158
Захаряк А.О.	
Модель розташування відеокамер спостереження у приміщенні.....	161
Сеньків Ю.М.	
Метод інтегрального оцінювання якості наукоємного програмного забезпечення	164
Бернадський М.В., Сорока С.С., Лизун Р.І.	
Формування математичної моделі автоматизованої системи регулювання процесом розділення продуктів окислення при виробництві адипінової кислоти.....	168

Івануха В.Р.

Магістрант II курсу, ФКІТ, Західноукраїнський національний університет

Науковий керівник: к.т.н., доцент Дубчак Л.О., кафедра КІ, ЗУНУ

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ ПЛАТФОРМИ ARDUINO

У

НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Вступ. Мікроконтролери є одним із ключових елементів сучасної електроніки, що забезпечують інтелектуальні функції керування у найрізноманітніших пристроях від побутових приладів до складних промислових систем. Вони являють собою інтегральні схеми, які об'єднують центральний процесор, пам'ять, інтерфейси введення/виведення та периферійні модулі на одному кристалі, утворюючи завершену обчислювальну систему, здатну автономно виконувати задані алгоритми. На відміну від мікропроцесорів, які потребують зовнішніх компонентів для повноцінного функціонування, мікроконтролери працюють як самостійні обчислювальні вузли, що робить їх надзвичайно зручними для побудови вбудованих систем. У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій мікроконтролери стали ключовими елементами реалізації концепцій кіберфізичних систем, у яких фізичні процеси інтегруються з цифровими мережами та алгоритмами керування. Мікроконтролери виступають своєрідними «нервовими вузлами» таких систем, забезпечуючи обмін даними між сенсорами, виконавчими механізмами та центральними обчислювальними блоками [1].

Постановка задачі. У сучасних умовах розвитку кіберфізичних систем та інтеграції електроніки з інформаційними технологіями постає завдання ефективного використання мікроконтролерних платформ у навчальному процесі. Необхідно дослідити можливості застосування плати Arduino Uno для формування практичних навичок студентів у галузі проєктування комп'ютерних систем, ознайомлення з принципами побудови вбудованих систем та розвитку компетентностей у сфері автоматизації й цифрового керування. Завданням дослідження є аналіз апаратних та програмних можливостей мікроконтролера ATmega328PB у складі Arduino Uno, а також визначення ефективних підходів до використання цієї платформи у навчальних дисциплінах технічного спрямування. Мета дослідження - розробити та обґрунтувати підходи до використання мікроконтролерної платформи Arduino як ефективного інструменту навчання студентів технічних спеціальностей, спрямованого на формування практичних навичок проєктування вбудованих систем і засвоєння принципів функціонування комп'ютерних систем.

Об'єкт дослідження - процес побудови й функціонування навчальних комп'ютерних систем на основі мікроконтролерних платформ. Предмет дослідження - апаратно-програмні засоби Arduino Uno.

Основна частина. Arduino Uno належить до найпоширеніших апаратних платформ, призначених для розробки систем на базі мікроконтролерів. Основним обчислювальним елементом цієї плати є мікроконтролер ATmega328PB, розроблений компанією Atmel, який забезпечує достатній рівень продуктивності для виконання більшості навчальних, експериментальних та аматорських проєктів [2]. З моменту свого створення Arduino Uno пройшла кілька етапів модернізації, що відображають поступову еволюцію конструкції. Початкова версія — Arduino Uno R1 — заклала основу для подальших розробок, сформувавши архітектурну базу, яка згодом стала стандартом у спільноті розробників. У версії Arduino Uno R2 були внесені зміни до конфігурації виводів, що підвищило зручність підключення додаткових модулів. Хоча ці вдосконалення не мали радикального характеру, вони покращили ергономіку використання плати. Найбільш суттєві зміни реалізовано в ревізії Arduino Uno R3. Ця версія отримала додаткові контакти для інтерфейсу I2C, що значно розширило комунікаційні можливості плати. Також було оптимізовано конструкцію інтерфейсів і роз'ємів, що сприяло підвищенню стабільності та надійності при створенні складних систем. Завдяки цим оновленням Arduino Uno R3 набула статусу найпопулярнішої версії серед користувачів та сприяла розширенню спільноти Arduino. Кожна нова ревізія плати є результатом прагнення розробників зробити технологію більш універсальною, доступною та гнучкою, відповідно до динамічних потреб сучасної електроніки та освітніх процесів [3].

Платформа Arduino набула надзвичайної популярності у закладах освіти різного рівня — від шкіл до університетів. Вона стала невід'ємною складовою сучасного напрямку STEM-освіти (Science, Technology, Engineering, Mathematics), який орієнтований на розвиток практичних навичок у поєднанні з теоретичними знаннями. Використання Arduino дозволяє студентам безпосередньо експериментувати з електронними компонентами, вивчати основи програмування, алгоритмізації, цифрової логіки та систем автоматичного керування. Основною перевагою Arduino як навчальної платформи є її відкритість — як у апаратній частині, так і в програмному забезпеченні. Крім того, численні спільноти розробників і викладачів постійно поповнюють базу навчальних проєктів, що дає можливість швидко адаптувати Arduino під конкретні освітні цілі. У навчальному процесі Arduino використовується для побудови лабораторних стендів, макетів і демонстраційних установок, що ілюструють роботу елементів комп'ютерних систем — від сенсорів і виконавчих пристроїв до модулів обміну даними. Завдяки своїй простоті й модульності ця платформа є ефективним засобом формування інженерного мислення та розвитку креативності студентів. Робота з Arduino сприяє не лише розумінню принципів електроніки, а й засвоєнню базових концепцій системного проєктування, інтеграції апаратних і програмних компонентів [4].

Висновки. Таким чином, Arduino виступає потужним інструментом реалізації сучасних освітніх стратегій, орієнтованих на практичне застосування знань. Її використання у навчальних дисциплінах технічного профілю, зокрема у “Комп’ютерних системах”, створює умови для активного залучення студентів до експериментальної діяльності, стимулює самостійність і підвищує мотивацію до навчання.

Список літератури

1. V. Govindraj, M. Sathiyarayanan and B. Abubakar, "Customary homes to smart homes using Internet of Things (IoT) and mobile application," 2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon), Bengaluru, India, 2017, pp. 1059-1063.

2. Das, T., & Hasan, M. K. (2023). IoT Devices and Embedded Systems: Architecture and Applications. *International Journal of Internet of Things*, 12(1), 21–35.

3. B. Madoš, N. Ádám, J. Hurtuk and M. Čopjak, "Brain-computer interface and Arduino microcontroller family software interconnection solution," 2016 IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), Herlany, Slovakia, 2016, pp. 217-221.

4. S. Arakliotis, D. G. Nikolos and E. Kalligeros, "LAWRIS: A rule-based arduino programming system for young students," 2016 5th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST), Thessaloniki, Greece, 2016, pp. 1-4.

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ

**II ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-
ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
“ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО РОЗВИТКУ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОНОМІКИ”**



Свалява - 2025

ЗМІСТ

<i>Албанський І. Б., Заставний О. М., Гарліцький Р. В.</i> СХЕМОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ТА ЦИФРОВА ЕЛЕКТРОНІКА КОРЕЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ	11
<i>Алексеєнко Л. М., Квасовський О. Р., Стецько М. В.</i> ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ФІНАНСОВОЇ ЕКОСИСТЕМИ: МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ ПІДХІД	15
<i>Андрушків Р.</i> ОСНОВНІ СТРУКТУРНІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВІДМІННОСТІ МІЖ ЦИФРОВОЮ ТА ТРАДИЦІЙНОЮ ЕКОНОМІЧНИМИ МОДЕЛЯМИ	19
<i>Батажок С. В., Башуцький М. Р., Кудінов В. В., Розум Р. І.</i> АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РУЛЬОВОГО МЕХАНІЗМУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	22
<i>Бевз Н. В., Стрельченко Д. В.</i> ВІД САМОУСВІДОМЛЕННЯ ДО ВІДБУДОВИ: ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ СОЦІАЛЬНО-ЕМОЦІЙНОГО НАВЧАННЯ (SEL) ДЛЯ УКРАЇНИ	26
<i>Белова І. М., Ярошук О. В., Вишинський Я. Ю.</i> ІНСТИТУЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ В ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД: ВІД ГУМАНІТАРНОЇ ПОЛІТИКИ ДО СИСТЕМНОГО УПРАВЛІННЯ	31
<i>Белова І. М., Ярошук О. В., Гілевич В. А.</i> ОБЛІКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ: ПРОБЛЕМАТИКА ТА ВЕКТОРИ РОЗВИТКУ	34
<i>Белова І. М., Ярошук О. В., Глазков Д. Р.</i> ОБЛІКОВО-АНАЛІТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЦИФРОВОМУ БІЗНЕС-СЕРЕДОВИЩІ: ВИКЛИКИ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ	37
<i>Белова І. М., Ярошук О. В., Дисенко А. В.</i> МІЖСЕКТОРНА ІНТЕГРАЦІЯ В БІОЕКОНОМІЦІ УКРАЇНИ: ІНСТИТУЦІЙНИЙ ВЕКТОР ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ	40
<i>Белова І. М., Ярошук О. В., Коваль Р. О.</i> БІОЕКОНОМІКА ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ ПОСТКРИЗОВОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ: ІНТЕГРАЦІЙНИЙ ЄВРОПЕЙСЬКИЙ КОНТЕКСТ	43
<i>Белова І. М., Ярошук О. В., Миханчук Н. М.</i> ЦИФРОВІЗАЦІЯ ОБЛІКУ: ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ТА АУДИТ ДАНИХ	46
<i>Белова І. М., Ярошук О. В., Нагорняк О. П.</i> ОБЛІКОВО-АНАЛІТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЦІНОВОЇ ПОЛІТИКИ ПІДПРИЄМСТВА: СИСТЕМНИЙ ПІДХІД В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА	49
<i>Белова І. М., Ярошук О. В., Скуратко М. В.</i> ІНСТИТУЦІЙНА ІНКЛЮЗИВНІСТЬ У СИСТЕМІ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ: МОДЕЛЬ ВІДНОВЛЕННЯ ДОВІРИ ТА УПРАВЛІНСЬКОЇ СПРОМОЖНОСТІ	51
<i>Беляк А. О., Чеберяко О. В.</i> ФІНАНСОВА БЕЗПЕКА КОРПОРАЦІЇ В ЦИФРОВУ ЕПОХУ: РОЛЬ КРИПТОВАЛЮТНИХ РЕЗЕРВІВ	54

<i>Білецька Ю. Ю.</i> ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ СТРАХУВАННЯ ЦИВІЛЬНО-ПРАВОВОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ У ЄВРОПЕЙСЬКОМУ СОЮЗІ	56
<i>Білий К. І., Дерши Б. Б., Устенко В. В.</i> ПРОГРАМНО-АПАПАТНА СИСТЕМА РЕАГУВАННЯ НА ВАРІАТИВНІ ЗАГРОЗИ: ПРОГРАМНА СИСТЕМА РЕАГУВАННЯ НА DDoS-АТАКИ	60
<i>Блажевич Д. В., Величенко І. Є., Мартенюк В. М., Буряк М. В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДИФІКОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДВИГУНОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОСИЛЕНИХ СИГНАЛІВ ЛЯМБДА-ЗОНДА	63
<i>Боберський О. В.</i> АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ АНАЛІЗУ СИСТЕМИ КОМПЛАЄНС	67
<i>Бондар О. Б.</i> ЕКОЛОГІЧНІ ІГРИ ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОЇ СВІДОМОСТІ	70
<i>Борисова Т. М., Іванечко Н. Р.</i> ВПЛИВ НЕЙРОМАРКЕТИНГУ НА ПОВЕДІНКУ ПОКУПЦІВ У СФЕРІ ЕЛЕКТРОННОЇ ТОРГІВЛІ	73
<i>Васіна А. Ю.</i> РЕАЛІЗАЦІЯ ПОТЕНЦІАЛУ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ В СИСТЕМІ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ НА ЗАСАДАХ ПАРТНЕРСТВА	78
<i>Великіцька Т. Є.</i> РОЛЬ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ В СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНІЙ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПОСТТРАЖДАЛИХ ВІД ВІЙНИ	82
<i>Вийванко О.</i> ОСОБЛИВОСТІ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ОБМЕЖЕНЬ МАЙНОВИХ ПРАВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ	85
<i>Вівчар Н. Т., Дубчак Л. О.</i> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ЛОПАТЕЙ ВІТРОВИХ ТУРБІН НА ОСНОВІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ: СТАН, ВИКЛИКИ ТА НАПРЯМИ РОЗВИТКУ	89
<i>Герман І. Є.</i> СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ РОЗВИТКУ ЕМОЦІЙНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРАЦІВНИКІВ ОРГАНІЗАЦІЙ	93
<i>Гладка І., Ятуцак А. А.</i> КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ПОДОЛАННЯ ПОЧУТТЯ САМОТНОСТІ ЛЮДЕЙ ПОХИЛОГО ВІКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСОБІВ АРТ-ТЕРАПІЇ	98
<i>Горин В. П.</i> ФІНАНСОВИЙ ПАТРІОТИЗМ У СИСТЕМІ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ	100
<i>Гуменний П. В., Мулько Д. М., Білявський В. Р.</i> КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ З ВИГОТОВЛЕННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГРАФІЧНОГО ІНТЕРФЕЙСУ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ WINDOWS	106
<i>Гуменний П. В., Білявський В., Ільків Р.</i> КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ФІКСАЦІЇ ПОРУШЕНЬ ПРАВИЛ ДОРОЖНЬОГО РУХУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГРАФІЧНОГО ІНТЕРФЕЙСУ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ WINDOWS	111

Данилюк І. В., Дяченко Т. Б. РОЗРОБКА ІС ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОСЛУГ УКРПОШТИ: ШЛЯХ ДО ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ	116
<i>Данилюк І. В., Мисак Ю. В.</i> АНАЛІЗ ДАНИХ У МАРКЕТИНГОВИХ СТРАТЕГІЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	120
<i>Демчишин Д. Т., Дерши Б. Б.</i> СИСТЕМА БЕЗПЕКИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ ІЗ ЛОКАЛЬНИМ СЕРВЕРОМ	124
<i>Дзюбановська Н.</i> ВЕРИФІКАЦІЯ ШІ-КОНТЕНТУ ЯК ДЕТЕРМІНАНТА КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ СТУДЕНТІВ	128
<i>Домбровський В. М.</i> РЕСУРСНО - ІНФОРМАЦІЙНА КОНЦЕПЦІЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ЛОГІСТИКИ І УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАВОК	133
<i>Дубчак Л. О., Домбровський В. І., Домбровський І. В.</i> СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК В УКРАЇНІ	138
<i>Дундій І. В., Розум М. І., Кудінов І. В., Розум Р. І.</i> ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ: ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ	141
<i>Жовковська Т. Т.</i> РОЛЬ МАРКЕТИНГОВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ЯК СКЛАДОВОЇ ЕФЕКТИВНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА	144
<i>Жонца С. Я., Тулай О. І.</i> ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ФОРМУВАННІ МІЖНАРОДНОГО ІМІДЖУ УКРАЇНИ: ІННОВАЦІЙНІ ІНСТРУМЕНТИ ГЕОПОЛІТИЧНОГО ВПЛИВУ	147
<i>Жуковська А. Ю.</i> СТРАТЕГІЧНІ ВЕКТОРИ ІНКЛЮЗИВНОГО РОЗВИТКУ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ	151
<i>Журавель С., Антонюк В.</i> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УЧАСТІ ГРОМАДИ У ФОРМУВАННІ ТА РАЛІЗАЦІЇ ПОЛІТИКИ МІСЦЕВОГО РОЗВИТКУ	155
<i>Жутов К. В., Лоїк І. О., Папінко А. І., Розум Р. І.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ФІЛЬТРА ТОНКОЇ ОЧИСТКИ ПАЛИВА СИСТЕМИ COMMON RAIL	158
<i>Занько Є. А., Дерши Б. Б.</i> СИСТЕМА ВІДЕОНАГЛЯДУ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ ІЗ АДАПТИВНИМИ МЕТОДАМИ ЗАХИСТУ	161
<i>Заслуцький М. П., Квасовський О. Р.</i> УПРАВЛІННЯ ВЛАСНИМ КАПІТАЛОМ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ ВОЄННИХ РИЗИКІВ ТА ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ...	165
<i>Заставний О. М., Албанський І. Б., Возна Н. Я.</i> АНАЛІЗ АПАРАТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ПРОЕКТУВАННЯ НМІ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ, МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ТА ІоТ СИСТЕМ	169
<i>Івануха В. Р., Дубчак Л. О., Шпак М. Ю.</i> ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ: СУЧАСНІ РІШЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	174

<i>Івасьєв С., Лизун Я., Кобиця В.</i> ФАКТОРИЗАЦІЯ БАГАТОРОЗРЯДНОГО ЧИСЛА З ВИКОРИСТАННЯМ АСОЦІАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ	179
<i>Івасьєв С., Янік І.</i> ВИКОРИСТАННЯ RRNS І КОДІВ GOPP ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ АЛГОРИТМУ RSA	183
<i>Івашико К.-А. Є.</i> ЄВРОПЕЙСЬКА ІНТЕГРАЦІЯ УКРАЇНИ ТА СТАЛИЙ РОЗВИТОК: МІЖІНСТИТУЦІЙНА СПІВПРАЦЯ, ВИКЛИКИ ТА СТРАТЕГІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ	188
<i>Кайни Д. І., Михайло О. А.</i> ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ДОГЛЯНУТОСТІ ВІДКРИТОГО ГРОМАДСЬКОГО ПРОСТОРУ ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ГРОМАД В ЗАКАРПАТТІ	191

ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ: СУЧАСНІ РІШЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Івануха Володимир Романович

Магістрант спеціальності “Комп’ютерна Інженерія”

Західноукраїнський національний університет

garpi137945@gmail.com

Дубчак Леся Орестівна

к. т. н., доцент, завідувач кафедри комп’ютерної інженерії

Західноукраїнський національний університет dlo@wunu.edu.ua

Шпак Марта Юріївна

Мікроконтролери відіграють ключову роль у розвитку сучасних електронних систем, слугуючи базовим елементом для побудови інтелектуальних пристроїв та автоматизованих рішень. Завдяки компактним розмірам, невисокому енергоспоживанню, гнучкості в програмуванні та широким можливостям інтеграції з різноманітними сенсорами й виконавчими механізмами, вони стали незамінним компонентом у проєктуванні пристроїв для повсякденного, промислового й наукового використання. Від побутової електроніки до складних технологічних систем — мікроконтролери активно впроваджуються в інфраструктуру “розумних” рішень, автоматизацію виробництва, медичну техніку, робототехніку, транспорт і оборону. Їх використання забезпечує можливість створення адаптивних систем з реальним часом обробки даних, що відповідає запитам сучасного світу, орієнтованого на цифровізацію, ефективність і надійність.

У сфері медичних технологій мікроконтролери набули широкого поширення завдяки здатності забезпечувати автономну роботу портативних діагностичних і терапевтичних пристроїв. Вони активно використовуються в системах моніторингу життєво важливих параметрів пацієнтів — зокрема в глюкометрах, пульсометрах, тонометрах, імплантованих кардіостимуляторах, а також у пристроях для електрокардіографії (ЕКГ). Інтеграція мікроконтролерів із сенсорами біофізіологічних показників дозволяє в режимі реального часу зчитувати, обробляти та передавати дані до медичних центрів або мобільних застосунків, що підвищує ефективність нагляду за пацієнтами в умовах стаціонару або віддаленого спостереження. Крім того, мікроконтролери застосовуються у вентиляційних установках, системах дозування лікарських засобів і навіть у пристроях телемедицини, де важливою є мінімізація затримки сигналу та висока точність обробки біомедичних даних. Таким чином, вони

не лише оптимізують роботу медичного персоналу, а й підвищують рівень безпеки та персоналізації лікування [1].

У промисловому секторі мікроконтролери є невід’ємним елементом систем автоматизованого керування, що дозволяє підвищити точність, надійність і гнучкість технологічних процесів. Вони забезпечують контроль за роботою різноманітного обладнання — від електродвигунів і насосів до роботизованих маніпуляторів і ліній конвеєрного типу. Завдяки наявності численних інтерфейсів (UART, SPI, I2C, CAN) та широкій сумісності з сенсорами й модулями збору даних, мікроконтролери ефективно інтегруються в системи промислової автоматизації та цифрового контролю. Наприклад, платформи на базі STM32 або TI MSP430 активно застосовуються для побудови пристроїв контролю температури, тиску, вібрацій та інших параметрів, що впливають на якість виробництва. Крім того, мікроконтролери використовуються у виробничих процесах для реалізації адаптивного управління, прогнозування технічного стану обладнання (predictive maintenance) та оптимізації енергоспоживання, що є важливою складовою концепції Індустрії 4.0. Поєднання мікроконтролерів із промисловими мережами, такими як Modbus або EtherCAT, відкриває можливості для створення масштабованих, децентралізованих рішень зі зворотним зв’язком і високою швидкістю [2].

Сільське господарство є однією з галузей, де мікроконтролери демонструють значний потенціал для підвищення ефективності виробничих процесів за рахунок автоматизації та інтелектуального управління ресурсами. Зокрема, вони активно використовуються в системах точного землеробства, автоматизованого зрошення, моніторингу стану ґрунтів, агрокліматичних умов і догляду за тваринами. За допомогою датчиків вологості, температури, освітленості, рН і рівня поживних речовин, підключених до мікроконтролерів, фермери можуть отримувати достовірну інформацію про стан посівів у реальному часі. Це дозволяє здійснювати своєчасне й адресне внесення води або добрив, уникаючи надлишкового використання ресурсів. У поєднанні з бездротовими модулями зв’язку (наприклад, LoRa або NB-IoT) мікроконтролерні системи здатні працювати на великих відстанях без потреби в дротовому підключенні, що особливо актуально в умовах віддалених або важкодоступних аграрних регіонів. Крім того, мікроконтролери є основою автономних агророботів, які здатні виконувати механізовану обробку ґрунту, сівбу або збирання врожаю з мінімальним втручанням людини. Таким чином, впровадження мікроконтролерних рішень у сільське господарство сприяє зниженню витрат, підвищенню врожайності та забезпеченню сталого використання природних ресурсів [3].

Розвиток Інтернету речей (IoT) істотно трансформував уявлення про побудову сучасних електронних систем, і саме мікроконтролери стали ключовим апаратним компонентом більшості IoT-рішень. Їхнє поєднання з вбудованими сенсорами, засобами бездротової комунікації та мікропрограмною логікою дозволяє реалізовувати компактні, енергоефективні та водночас

функціонально насичені пристрої. Платформи, такі як Arduino, ESP8266, ESP32 або Raspberry Pi Pico, активно використовуються для створення “розумних” будинків, носимих пристроїв, систем безпеки, інтелектуального освітлення, а також екологічного моніторингу. У таких системах мікроконтролери не лише зчитують дані з датчиків, а й попередньо обробляють їх, фільтруючи, аналізуючи та приймаючи локальні рішення без необхідності постійного підключення до серверів. Це особливо актуально в контексті концепції Edge Computing, де обробка даних здійснюється “на краю” мережі для зменшення затримок і навантаження на інфраструктуру. Завдяки підтримці сучасних протоколів зв’язку (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN, MQTT), мікроконтролери забезпечують гнучке підключення до хмарних платформ і мобільних застосунків, що відкриває широкі можливості для віддаленого керування, аналітики та автоматизації повсякденних процесів. Застосування таких рішень у міських інфраструктурах (Smart City), логістиці, охороні здоров’я та енергетиці демонструє стратегічний потенціал мікроконтролерів як фундаментального елемента цифрової екосистеми [4].

Сучасні тенденції розвитку мікроконтролерних систем спрямовані на досягнення більшої продуктивності, енергоефективності та інтелектуальної автономності. Однією з ключових парадигм є інтеграція методів штучного інтелекту безпосередньо на рівні вбудованих систем, що отримало назву Edge AI. Завдяки використанню оптимізованих бібліотек і прискорювачів нейронних обчислень (наприклад, TensorFlow Lite for Microcontrollers), сучасні мікроконтролери здатні виконувати базову класифікацію, виявлення аномалій або прогнозування без звернення до зовнішніх обчислювальних ресурсів. Це особливо актуально для застосувань, де критично важливі швидкість реагування, конфіденційність даних і стабільність роботи в умовах обмеженого зв’язку — наприклад, у медичних приладах, безпілотних системах або засобах безпеки. Ще одним важливим вектором є зниження енергоспоживання за рахунок нових архітектур, таких як ARM Cortex-M0+/M4 або RISC-V, які дозволяють забезпечити ефективну роботу від батарей протягом місяців або навіть років. Дедалі частіше виробники вбудовують у мікроконтролери модулі захисту даних, криптографічні прискорювачі та апаратні засоби автентифікації, що особливо важливо для IoT-рішень, які працюють у відкритих або потенційно вразливих мережах. Таким чином, сучасні мікроконтролери еволюціонують із простих пристроїв управління у повноцінні інтелектуальні обчислювальні вузли з високим рівнем функціональної автономії [5].

Аналіз поточного стану розвитку мікроконтролерних технологій свідчить про їхню здатність адаптуватися до дедалі складніших вимог цифрової трансформації. Впровадження мікроконтролерів у різні сфери техніки та економіки забезпечує не лише автоматизацію рутинних процесів, а й формує підґрунтя для створення нових, більш гнучких і масштабованих систем керування. Їх використання дозволяє значно зменшити потребу в громіздкому обладнанні,

знизити витрати на обслуговування, забезпечити відмовостійкість і реальний час реагування. Швидкий розвиток супутніх технологій — бездротового зв'язку, енергоефективної елементної бази, розподілених обчислень та алгоритмів штучного інтелекту — відкриває нові горизонти для проєктування інтелектуальних вбудованих систем, здатних працювати автономно, без зовнішньої інфраструктури. У поєднанні з відкритими апаратно-програмними платформами, такими як Arduino, PlatformIO або Zephyr RTOS, мікроконтролери сприяють демократизації технологій і розширюють можливості як великих підприємств, так і індивідуальних розробників. Усе це свідчить про стратегічну важливість мікроконтролерів як фундаментального елементу нової технічної парадигми — розумної, енергоефективної та адаптивної до змін середовища

Список використаних джерел:

1. Chen, M., Ma, Y., Li, Y., Wu, D., Zhang, Y., & Youn, C. H. (2017). Wearable 2.0: Enabling human-cloud integration in next generation healthcare systems. *IEEE Communications Magazine*, 55(1), 54–61. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600363CM>
2. Saxena, N., Roy, A., & Kumar, P. (2020). Microcontroller-based industrial automation: A review. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(3), 123–128.
3. Rana, R., Gupta, R., & Rajpal, R. (2021). IoT and Embedded Systems for Smart Agriculture: Challenges and Opportunities. *Journal of AgriTech*, 2(2), 45–52.
2. Saxena, N., Roy, A., & Kumar, P. (2020). Microcontroller-based industrial automation: A review. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(3), 123–128.
3. Rana, R., Gupta, R., & Rajpal, R. (2021). IoT and Embedded Systems for Smart Agriculture: Challenges and Opportunities. *Journal of AgriTech*, 2(2), 45–52.
4. Das, T., & Hasan, M. K. (2023). IoT Devices and Embedded Systems: Architecture and Applications. *International Journal of Internet of Things*, 12(1), 21–35.
5. Banbury, C., Reddi, V. J., Torelli, P., Holleman, J., & Whatmough, P. (2021). Micronets: Neural network architectures for deploying tinyML applications on microcontrollers. *IEEE Micro*, 41(5), 39–47. <https://doi.org/10.1109/MM.2021.3095340>