

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Розроблення макету автоматизованого диспенсеру для ліків

(тема)

Виконав:
здобувач 4 року навчання,
групи АКТСІ-21-3
Семен ЄРОФЄЄВ
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник ст. викл. Дмитро ГУРІН
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту
Завідувач кафедри

(підпис)

Ігор НЕВЛЮДОВ
(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

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

17 червня 2025 р.



Семен ЄРОФЄЄВ

Харківський національний університет радіоелектроніки

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«19» травня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Єрофєєву Семену Олександровичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка макету автоматизованого диспенсеру для ліків
затверджена наказом університету від 19 травня 2025 р. №391Ст
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 24.06.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи _____
- 3.1 Вхідна напруга 5В
- 3.2 Кількість комірок для ліків 21
- 3.3 Автономність 24 години
- 3.4 Середовище розробки програмного забезпечення Arduino IDE
- 3.5 Середовище для 3D-моделювання Autodesk Fusion 360
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
- 4.1 Аналіз існуючих систем автоматизованої видачі лікарських засобів _____
- 4.2 Розробка та аналіз конструктивно-функціональних рішень
автоматизованого диспенсера _____
- 4.3 Розробка схеми підключення автоматизованого диспенсеру _____
- 4.4 Розробка програмного забезпечення автоматизованого диспенсера _____
- 4.5 Висновки та перелік джерел посилань _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____

Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації Power Point (*.ppt) 12 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	29.04-06.05.2025	Виконано
2	Опрацювання літератури за темою роботи	07.05-10.05.2025	Виконано
3	Створення 3д моделі диспенсера	11.05-16.05.2025	Виконано
4	Розробка схеми підключення автоматизованого диспенсеру	17.05-19.05.2025	Виконано
5	Розробка програмного забезпечення автоматизованого диспенсера	20.05-01.06.2025	Виконано
6	Висновки та перелік джерел посилань	02.06-03.06.2025	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	03.06-04.06.2025	Виконано

Дата видачі завдання 28 квітня 2025 р.

Студент _____

(підпис)

Семен ЄРОФЄЄВ _____

(власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____

(підпис)

ст. викл. Дмитро ГУРІН _____

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 82 с., 9 табл., 25 рис., 3 дод., 20 джерел.

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ДИСПЕНСЕР, ESP32, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ (ІОТ), МІКРОКОНТРОЛЕР, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ВЕБ-ІНТЕРФЕЙС.

Об'єкт розробки – процес створення апаратно-програмного комплексу для автоматизованої видачі лікарських засобів.

Предмет розробки – конструкція та програмне забезпечення макета автоматизованого диспенсера для ліків.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення точності та надійності автоматизованого дозування ліків шляхом розробки макету.

У кваліфікаційній роботі розглянуто актуальну проблему дотримання режиму прийому ліків та запропоновано її вирішення шляхом розробки доступного автоматизованого пристрою. Проведено аналіз ринку існуючих диспенсерів, на основі якого обґрунтовано концепцію проєкту. Розроблено тривимірну модель та конструкцію пристрою в САПР Autodesk Fusion 360. Створено апаратну частину на базі мікроконтролера ESP32, що керує виконавчими механізмами, та реалізовано програмне забезпечення на C++, яке включає систему віддаленого налаштування через веб-інтерфейс по Wi-Fi. Проведено теоретичне дослідження стійкості умовної моделі системи керування.

За результатами роботи опубліковано статтю у збірнику студентських наукових статей.

ABSTRACT

Explanatory note: 82 pages, 9 tables, 25 figures, 3 appendices, 20 sources.

AUTOMATED DISPENSER, ESP32, INTERNET OF THINGS (IOT), MICROCONTROLLER, SOFTWARE, CONTROL SYSTEM, 3D MODELING, WEB INTERFACE.

Object of development – the process of creating a hardware and software complex for automated medication dispensing.

Subject of development – the design, circuitry, and software solutions for implementing a prototype of an automated dispenser with remote control functionality.

The objective of the qualification work is to improve the accuracy and reliability of automated medication dispensing by developing a prototype.

The qualification work addresses the relevant problem of medication adherence and proposes a solution through the development of an accessible automated device. An analysis of the existing dispenser market was conducted, which formed the basis for the project's concept. A three-dimensional model and design of the device were developed using the Autodesk Fusion 360 CAD system. The hardware part was based on the ESP32 microcontroller, controlling the executive mechanisms. The software was implemented in C++ and includes a system for remote configuration via a Wi-Fi web interface. A theoretical investigation of the control system's stability was also performed.

Based on the results of the work, an article was published in a collection of student scientific articles.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ	10
1 Аналіз існуючих систем автоматизованої видачі лікарських засобів.....	12
1.1 Актуальність проблеми контролю прийому ліків та загальний огляд АСВЛ.....	12
1.2 Базові механічні диспенсери: конструкція, переваги та недоліки	12
1.3 Комплексні «розумні» системи: функціонал, переваги та недоліки	14
2 Розробка конструктивно-функціональних рішень автоматизованого диспенсера	16
2.1 Вибір програмного середовища для 3D-моделювання	16
2.2 Моделювання основних корпусних елементів	16
2.3 Моделювання корпусу блока інтерфейса.....	18
2.4 Створення фінальної збірки та візуалізація	19
3 Реалізація апаратної і програмної архітектури автоматизованого диспенсера для ліків.....	22
3.1 Розробка структурної схеми	22
3.2 Опис основних функціональних блоків пристрою	24
3.2.1 Вибір характеристик платформи ESP32 DevKit V1	24
3.2.2 Вибір драйверу крокового мотора A4988.....	25
3.2.3 Вибір крокового мотору NEMA 17	26
3.2.4 Вибір сервомотору Tower Pro SG90.....	28
3.2.5 Вибір модуля годинника реального часу DS3231	29
3.2.6 Вибір OLED-дисплею 0,96	30
3.2.7 Вибір енкодеру KY-040	30
3.2.8 Вибір активного зумеру	31
3.2.9 Вибір оптичного датчика перешкоди	32
3.3 Розробка схеми підключення автоматизованого диспенсеру	33
3.4 Розробка програмного забезпечення автоматизованого диспенсера.....	36

3.4.1	Архітектура програмного забезпечення та використані технології.....	36
3.4.2	Загальний алгоритм роботи пристрою.....	38
3.4.3	Реалізація ключових програмних модулів	41
3.5	Експериментальна перевірка функціональності макета	43
3.5.1	Увімкнення та ініціалізація	43
3.5.2	Програмування розкладу	44
3.5.3	Спрацювання за розкладом та видача дози	45
3.5.4	Підтвердження прийому та завершення циклу	45
3.6	Охорона праці та техніка безпеки при розробці макета	46
	Висновки	48
	Перелік джерел посилання	50
	Додаток А Апробація результатів роботи	53
	Додаток Б Частковий лістинг програмного коду.....	59
	Додаток В Демонстраційний матеріал	76

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АСВЛ – автоматизовані системи видачі ліків
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач
- ДБЖ – джерело безперебійного живлення
- ІК – інтерфейс користувача
- КЗ – коротке замикання
- ОЗУ – оперативний запам'ятовуючий пристрій
- ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний
- САПР – система автоматизованого проектування
- ТАУ – теорія автоматичного управління
- ШІМ – широтно-імпульсна модуляція
- AP – Access Point (точка доступу Wi-Fi)
- DC – Direct Current (постійний струм)
- GPIO – General-Purpose Input/Output (порт вводу-виводу загального призначення)
- HTTP (HTTP) – Hypertext Transfer Protocol (протокол передачі гіпертексту)
- I2C – Inter-Integrated Circuit (внутрішньосхемний послідовний інтерфейс)
- JSON – JavaScript Object Notation
- LDO – Low-Dropout (стабілізатор з низьким падінням напруги)
- OLED – Organic Light-Emitting Diode (органічний світлодіод)
- RTC – Real-Time Clock (годинник реального часу)
- SPI – Serial Peripheral Interface (послідовний периферичний інтерфейс)
- STA – Station (режим станції Wi-Fi)

ВСТУП

Нерегулярне вживання ліків залишається однією з головних перепон на шляху до вдалого лікування. Складні схеми терапії, забудькуватість чи прості побутові незручності часто спричиняють пропуск дози, що може звести нанівець дієвість курсу. Ця проблема стосується не лише людей похилого віку чи пацієнтів з хронічними недугами, а й усіх, хто прагне точно дотримуватись медичних порад.

Для вирішення цього завдання все частіше залучаються технології автоматизації, особливо у сфері домашнього догляду. Головним інструментом тут стали автоматизовані диспенсери, які беруть на себе контроль за розкладом та дозуванням.

Сучасні моделі, так звані «розумні» диспенсери, зробили крок вперед. Вони інтегрують мікроконтролерні системи та засоби зв'язку, перетворюючись із простих таймерів на гнучкі інтелектуальні пристрої. Саме такі технології, як Wi-Fi та веб-інтерфейси, дозволяють подолати основні недоліки старих моделей: складне налаштування та неможливість віддаленого контролю з боку опікунів.

Водночас на ринку існує розрив між простими, але функціонально обмеженими механічними диспенсерами, та надзвичайно дорогими комплексними системами. Таким чином, актуальним завданням є розробка доступного, надійного та функціонального пристрою, який би поєднував у собі перевірену механіку та гнучке інтелектуальне керування.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення точності та надійності автоматизованого дозування ліків шляхом розробки макету.

Об'єкт розробки – процес створення апаратно-програмного комплексу для автоматизованої видачі лікарських засобів.

Предмет розробки – конструкція та програмне забезпечення макета автоматизованого диспенсера для ліків.

Задачами, що потрібно вирішити у кваліфікаційній роботі, є:

- провести аналіз існуючих систем автоматизованої видачі лікарських засобів, їх переваг та недоліків;
- розробити тривимірну модель конструкції автоматизованого диспенсера та його основних вузлів;
- провести теоретичне дослідження стійкості моделі системи керування виконавчим механізмом;
- розробити принципову електричну схему пристрою та обґрунтувати вибір елементної бази;
- розробити програмне забезпечення для керування всіма функціями диспенсера;
- розглянути питання охорони праці та безпеки життєдіяльності при роботі з пристроєм;
- оформити пояснювальну записку згідно з вимогами ДСТУ 3008:2015 [1] та керуючись методичними вказівками з написання кваліфікаційної роботи бакалавра [2].

Проведена робота відповідає цілям сталого розвитку (ЦСР): ЦСР 3, ЦСР 9 та ЦСР 10.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ВИДАЧІ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ

1.1 Актуальність проблеми контролю прийому ліків та загальний огляд АСВЛ

Точне дотримання режиму прийому лікарських засобів є головною умовою ефективності будь-якої терапії. Несвоєчасний або пропущений прийом ліків може значно знизити результативність лікування, а в деяких випадках і призвести до ускладнень. Ця проблема є актуальною для широкого кола людей: пацієнтів з хронічними захворюваннями, людей, що проходять курс реабілітації, осіб літнього віку, що часто стикаються з поліфармацією (необхідністю приймати кілька препаратів одночасно), а також для всіх, хто через активний спосіб життя чи забудькуватість має труднощі з підтриманням чіткого графіка.

Автоматизовані системи видачі ліків (АСВЛ) є класом пристроїв, розроблених для мінімізації людського фактора та підвищення прихильності пацієнтів до лікування. Глибокий аналіз цього ринку є необхідним етапом для виявлення незакритих потреб споживачів та визначення перспективних напрямків для розробки нових пристроїв.

Для вирішення цих завдань на ринку представлено два основні класи пристроїв, що кардинально відрізняються своїм підходом до реалізації: базові механічні диспенсери та комплексні «розумні» системи.

1.2 Базові механічні диспенсери: конструкція, переваги та недоліки

Перший, найпоширеніший клас пристроїв – базові диспенсери карусельного типу. Їх конструкція базується на обертовому барабані з комірками (зазвичай 28), в які ліки зазвичай закладаються вручну. Вбудований таймер у запланований час

активує двигун, що повертає барабан, відкриваючи доступ до чергової дози. Візуальні приклади таких пристроїв наведено на рисунку 1.1 (а – LiveFine [3]; б – Med-E-Lert [4]).



Рисунок 1.1 – Базові диспенсери карусельного типу: а – LiveFine [3]; б – Med-E-Lert [4]

Переваги:

- висока надійність: проста та перевірена часом механічна конструкція має мінімальну кількість рухомих частин, що знижує ризик збоїв та заклинювань;
- низька вартість: використання базових електронних компонентів та простих механізмів робить ці пристрої фінансово доступними для широкого кола споживачів;
- простота використання: процес отримання ліків є інтуїтивно зрозумілим для літніх людей – у потрібний час пристрій подає звуковий сигнал і відкриває доступ до однієї комірки.

Недоліки:

- незручне налаштування: програмування графіка прийому відбувається за допомогою маленьких, неінформативних кнопок та примітивного РК-дисплея, що є складним завданням для людей зі слабким зором або порушеною моторикою;

- відсутність віддаленого контролю: такі пристрої не мають зв'язку з мережею, тому опікуни не можуть дистанційно перевірити, чи не пропустив пацієнт прийом, або змінити розклад;
- обмежена система сповіщень: сигналізація обмежується лише вбудованим звуковим зумером, який може бути недостатньо гучним або ігноруватися пацієнтом.

1.3 Комплексні «розумні» системи: функціонал, переваги та недоліки

На протипагу простим механічним пристроям, на ринку існує і преміальний сегмент – комплексні «розумні» системи бункерного типу. Яскравим представником цього класу є диспенсер Неро [5] представленим на рисунку 1.2. Такі системи здатні зберігати великий запас (до 90 днів) різних видів ліків у спеціальних картриджах чи бункерах. Складний внутрішній механізм автоматично відраховує потрібну кількість таблеток і видає їх у спеціальний лоток.



Рисунок 1.2 – Диспенсер Неро [5]

Переваги:

- повна автоматизація: процес дозування не вимагає попереднього ручного сортування, що значно спрощує використання при складних схемах лікування;
- гнучкість та моніторинг: завдяки інтеграції з хмарними платформами та мобільними додатками, такі системи дозволяють опікунам дистанційно керувати розкладом, відстежувати статистику прийому та отримувати миттєві сповіщення;
- розширена система нагадувань: сповіщення надходять не лише від пристрою, а й на смартфон пацієнта чи опікуна.

Недоліки:

- надзвичайно висока вартість: ціна таких пристроїв може сягати кількох сотень доларів, а багато виробників працюють за моделлю щомісячної підписки, що робить їх фінансово недоступними для більшості;
- складність конструкції: використання складних механізмів дозування підвищує ризик механічних збоїв, заклинювання таблеток нестандартної форми або їх пошкодження;
- надлишковий функціонал: для багатьох пацієнтів, які приймають 2-3 види ліків, можливості зберігання 10-15 видів таблеток є надлишковими.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО ДИСПЕНСЕРА

2.1 Вибір програмного середовища для 3D-моделювання

Розробка тривимірної твердотільної моделі автоматизованого диспенсера для ліків дозволила мені вирішити ключові конструкторські завдання: детально опрацювати геометрію та взаємне розташування всіх вузлів пристрою, перевірити їх компонування, а також отримати точні геометричні дані, які необхідні для подальшого виготовлення фізичного прототипу за допомогою 3D друку. В якості основного інструменту для моделювання я використав САПР Autodesk Fusion 360. Данну програму було обрано через широкі можливості в області параметричного моделювання, гнучким інструментарієм для проектування складних корпусних деталей та механічних вузлів, а також інтегрованими засобами для створення фотореалістичних зображень та підготовки моделей до адитивного виробництва, що повністю відповідало вимогам мого проекту.

2.2 Моделювання основних корпусних елементів

Процес створення 3D-моделі було здійснено послідовно, виходячи з функціональних вимог до пристрою та розробленої оригінальної концепції його конструкції, яка передбачала оптимальне поєднання функціональності та ергономіки. Роботу було розпочато з детального моделювання нижньої частини корпусу, що є основою всієї конструкції. Було сформовано її основне циліндричне тіло, габарити якого визначалися з урахуванням розмірів внутрішніх компонентів та загальної стійкості пристрою. У верхній частині основи було ретельно спроектовано посадкове місце для точного та плавного обертання барабана. Внутрішній простір основи було ретельно опрацьовано: сформовано відсік для

зручної видачі ліків, доповнений висувною шухлядкою для легкого доступу, та інтегровано комплекс необхідних кріпильних елементів. Ці кріплення було розраховано для надійного та компактного розміщення плати керуючої електроніки, сервопривода та оптичного кінцевого вимикача (рис. 2.1).

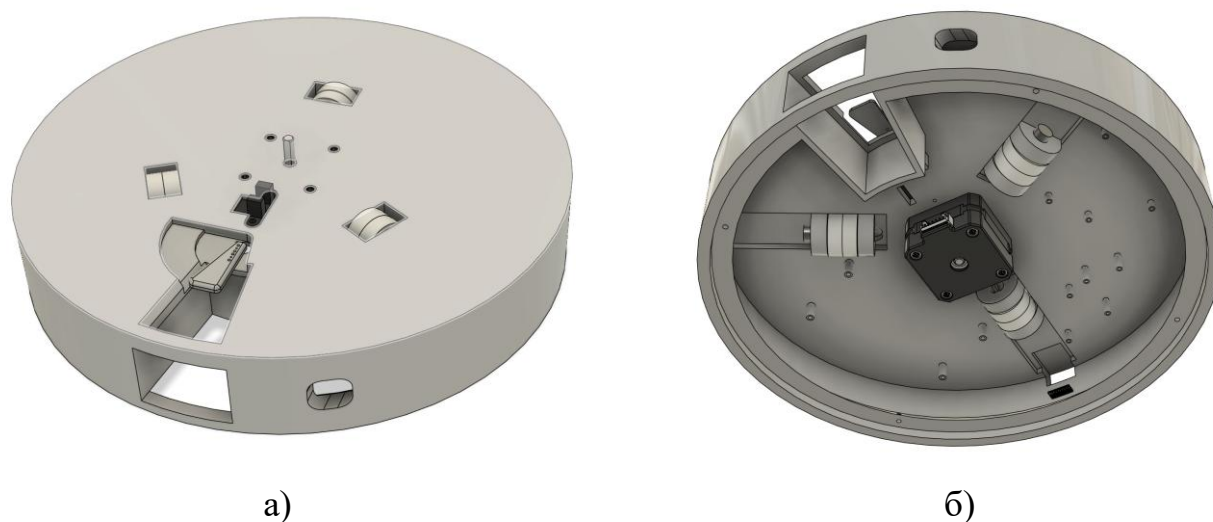


Рисунок 2.1 – Основа конструкції диспенсеру: а – вид зверху; б – вид знизу

Наступним важливим етапом стало створення верхньої частини – обертового барабана з комірками для медикаментів. Було змодельовано його масивний циліндричний корпус, що забезпечує необхідну міцність та об'єм для розміщення ліків. Ключовим завданням на цьому етапі було точне проектування 22 комірок. Було ретельно визначено геометрію однієї комірочки-сектору для забезпечення оптимального об'єму та кута нахилу стінок, що гарантує безперешкодне висипання ліків. Після цього, за допомогою інструментів кругового масиву, було точно відтворено 22 таких сектори по колу барабана. Одна з цих комірок, згідно з розробленою логікою роботи пристрою, була конструктивно модифікована для позначення її як "домашньої" позиції та виконана закритою. Також у конструкції передбачено міцне центральне кріплення для вала приводного двигуна (рис. 2.2).

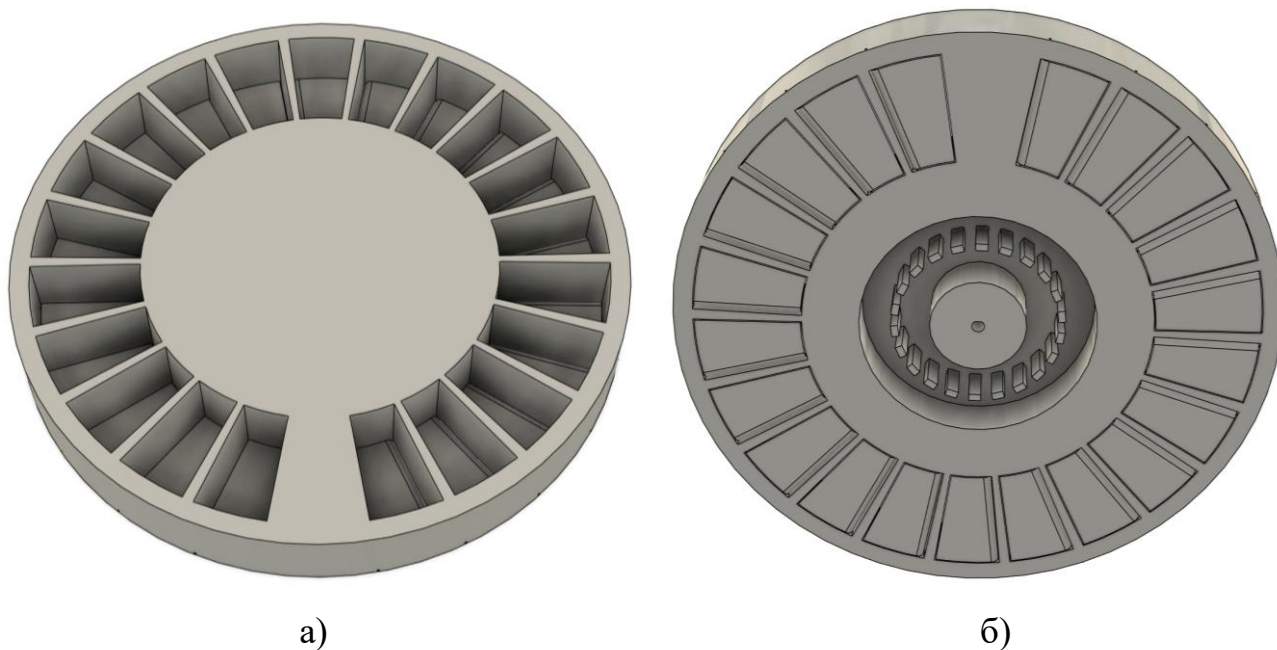


Рисунок 2.2 – Верхній лоток для ліків: а – вид зверху; б – вид знизу

2.3 Моделювання корпусу блока інтерфейсу

Паралельно, для розміщення елементів інтерфейсу користувача (інформаційного дисплея SSD1306 та енкодера для навігації по меню), було розроблено окремий, ергономічно розташований компактний корпус. У ньому передбачено відповідні монтажні отвори та елементи кріплення для цих компонентів (рис. 2.3).

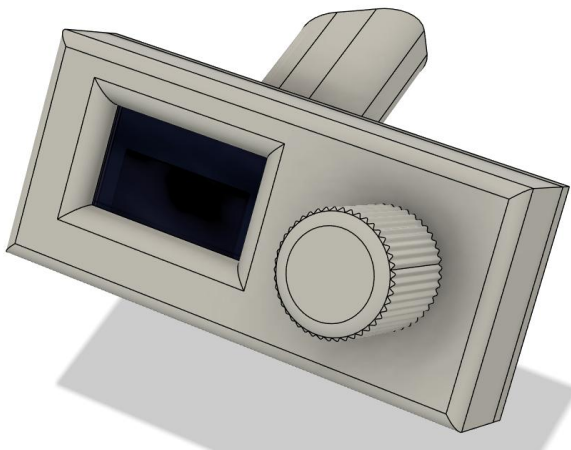


Рисунок 2.3 – Блок інтерфейсу диспенсера

2.4 Створення фінальної збірки та візуалізація

На завершальному етапі моделювання, всі розроблені окремі компоненти було логічно об'єднано в загальну тривимірну збірку (рис. 2.4). Це дозволило перевірити правильність взаємного розташування деталей та відсутність колізій. Для забезпечення імітації реальної роботи пристрою, зокрема обертання барабана відносно основи, було визначено та налаштовано відповідне кінематичне з'єднання. Естетичний та технологічний вигляд моделі було покращено шляхом ретельного згладжування гострих ребер за допомогою скруглень та фасок, а також через призначення візуальних матеріалів компонентам, що надало моделі завершеного та реалістичного вигляду.

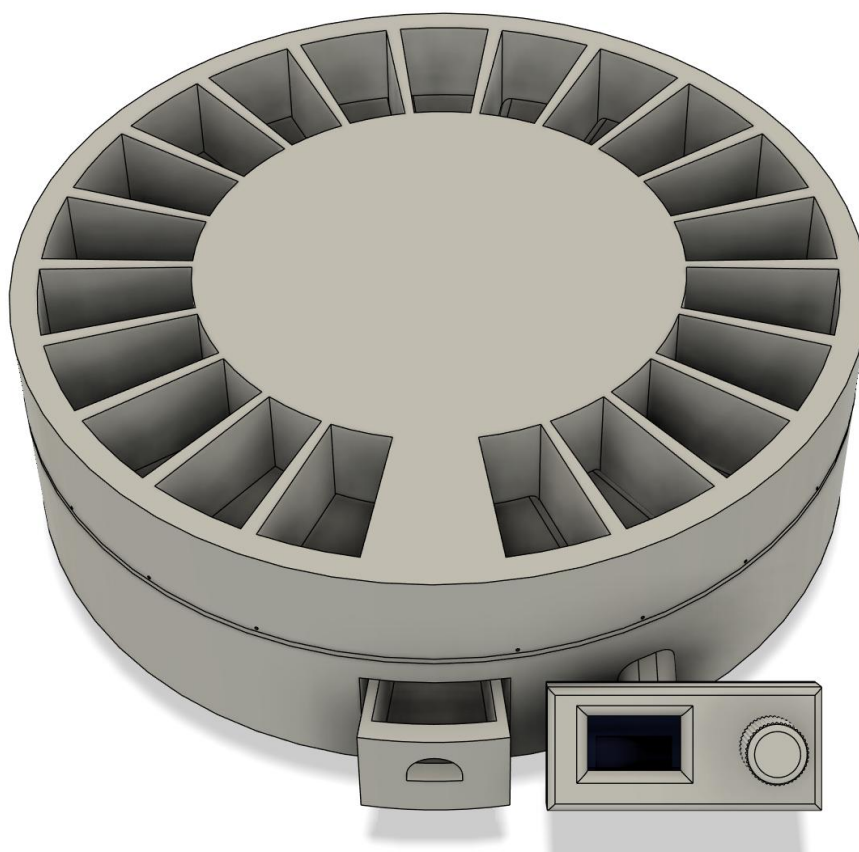


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд диспенсеру для ліків

2.5 Теоретичне дослідження стійкості системи керування виконавчим механізмом

У процесі розробки макету автоматизованого диспенсера для лікарських засобів виникла необхідність формального обґрунтування правильності функціонування системи виконавчого механізму з точки зору теорії автоматичного управління (ТАУ). Незважаючи на те, що розглядувана система фактично працює у режимі відкритого циклу (open-loop) без реалізованого зворотного зв'язку, в рамках кваліфікаційної роботи бакалавра, згідно з методичними рекомендаціями [6], необхідно було виконати теоретичне дослідження її стійкості.

Виконавчим органом у даному проєкті є кроковий двигун, який обертає барабан з 21 коміркою для таблеток. Позиціонування виконується шляхом подачі імпульсів step/direction, а нульове положення визначається за допомогою оптичного кінцевика. Оскільки керування реалізується у вигляді дискретної послідовності команд без безперервного регулювання або ПІД-регулятора, точна передатна функція об'єкта не є відомою. Водночас, для формального дослідження системи було прийнято типову математичну модель другого порядку, яка широко застосовується в навчальних цілях для опису електромеханічних систем з інерцією.

У відповідності до прикладів з [7], динаміку системи було описано передатною функцією:

$$W(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}, \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт підсилення (умовно прийнятий), $k=10$;

T – стала часу, яка відповідає швидким електромеханічним системам, $T=0,05$ с;

ξ – коефіцієнт демпфування, що дозволяє моделювати слабко коливальну поведінку, $\xi=0,4$.

Таким чином, характеристичне рівняння системи, що отримується прирівнюванням знаменника передатної функції (2.1) до нуля, має вигляд:

$$T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1 = 0. \quad (2.2)$$

Підставляючи прийняті значення параметрів, отримуємо:

$$\begin{aligned} (0,05)^2 s^2 + 2 \cdot 0,4 \cdot 0,05s + 1 &= 0, \\ 0,025s^2 + 0,04s + 1 &= 0. \end{aligned}$$

Для перевірки стійкості системи було застосовано алгебраїчний критерій Гурвіца. Згідно з цим критерієм, для системи другого порядку $a_2 s^2 + a_1 s + a_0 = 0$ (де $a_2 > 0$), система є стійкою, якщо всі коефіцієнти (a_2, a_1, a_0) додатні [7]. Для рівняння маємо:

- $a_0 = 1 > 0$;
- $a_1 = 0,04 > 0$;
- $a_2 = 0,0025 > 0$.

Оскільки всі коефіцієнти характеристичного рівняння є додатними, можна зробити висновок, що система є стійкою при заданих умовних параметрах, і така модель задовольняє формальні вимоги до аналізу САУ у технічних системах.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНОЇ І ПРОГРАМНОЇ АРХІТЕКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ДИСПЕНСERA ДЛЯ ЛІКІВ

3.1 Розробка структурної схеми

Структурну схему доцільно розробляти вже на початкових етапах проєкту, оскільки вона дає змогу проаналізувати взаємозв'язки між усіма компонентами системи. Готову структурну схему системи наведено на рисунку 3.1.

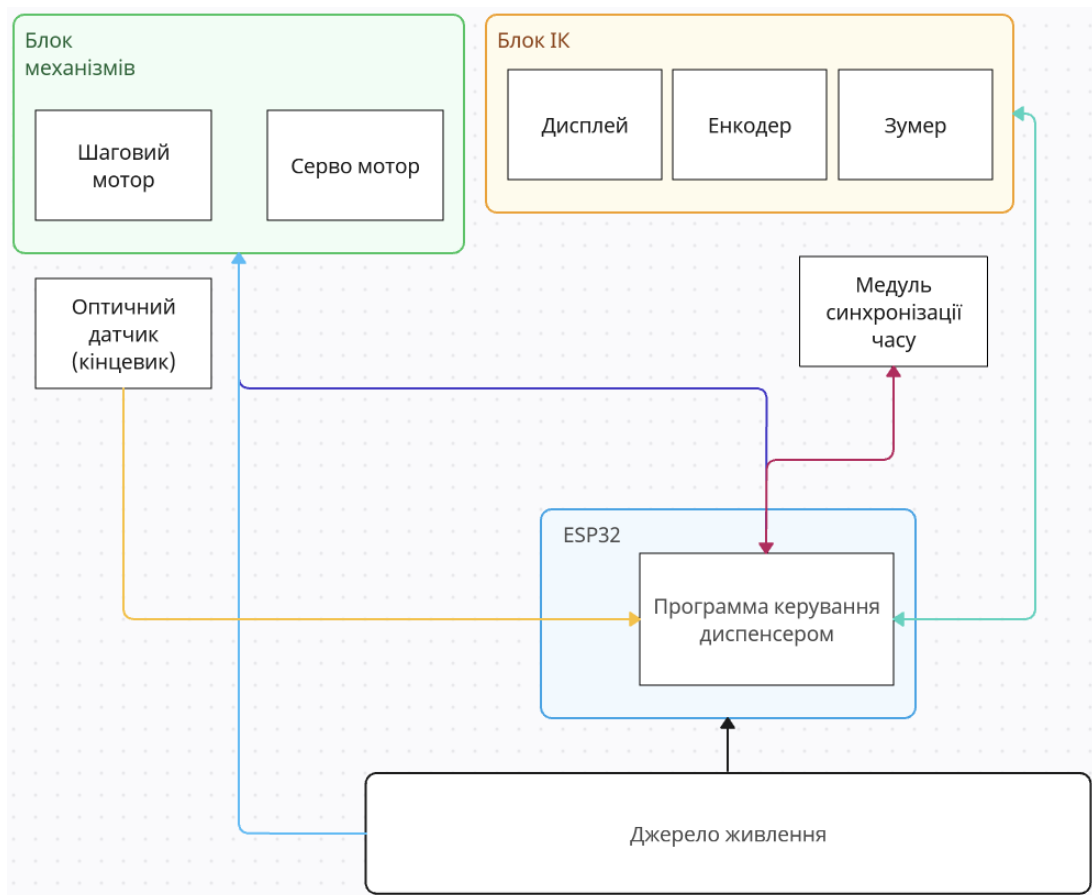


Рисунок 3.1 – Структурна схема диспенсеру

Система керування автоматизованим диспенсером ліків базується на основі мікроконтролерної платформи ESP32 DevKitC[8]. Цей мікроконтролер було обрано через його високу продуктивність, достатній обсяг пам'яті, наявність

широкого набору периферійних інтерфейсів та вбудованих бездротових модулів. Такі характеристики повністю відповідають функціональним вимогам проєкту та мають прийнятну вартість для реалізації макету.

Пристрій включає кілька ключових функціональних блоків, котрі взаємодіють з мікроконтролером для забезпечення роботи диспенсеру.

Блок механізмів видачі слугує для фізичного переміщення таблеток з місця зберігання до лотка видачі. До цього блоку входить кроковий двигун NEMA 17 [9] з драйвером A4988 [10], котрий відповідає за точний поворот обертового барабана з 21 секцією на потрібний кут для вибору відповідної дози. Також до цього блоку входить сервомотор SG90 [11], який керує невеликою засувкою відкриття доступу таблеткам до лотка видачі у потрібний момент.

Блок ІК забезпечує взаємодію пристрою з користувачем. Він включає графічний OLED дисплей 0,96" (128x64) [12], на якому відображаються інформація про наступний прийом та пункти меню налаштувань. Для введення команд та навігації по меню використовується ротаційний енкодер KY-040 [13], що дозволяє змінювати значення обертанням та підтверджувати вибір натисканням. Також до ІК належить активний зумер [14], котрий використовується для звукових нагадувань про час прийому ліків та інших сповіщень.

Блок синхронізації часу представлено модулем годинника реального часу DS3231 [15]. Цей високоточний модуль підтримує відлік часу та дати з батарейним резервуванням, що гарантує збереження актуального часу навіть при виключенні основного живлення диспенсеру. Наявність точного часу є критично важливою для коректного виконання запрограмованого графіка видачі ліків.

Блок датчиків включає оптичний датчик перешкоди [16]. Цей датчик використовується як кінцевий вимикач для механічної системи, зокрема, для визначення певного положення обертового барабана. Це дозволяє системі точно калібрувати положення барабана після ввімкнення або для контролю правильності його поворотів.

3.2 Опис основних функціональних блоків пристрою

3.2.1 Вибір характеристик платформи ESP32 DevKit V1

Для подальшої розробки макету автоматизованого диспенсеру для ліків необхідним кроком є вибір компонентної бази. При цьому першочерговим є визначення мікроконтролерної платформи, на якій буде працювати логіка керування пристроєм.

Було обрано мікроконтролер ESP32 DevKit V1 (рис. 2.3) [8], який демонструє вражаючу продуктивність, з підтримкою бездротового зв'язку та достатньою кількістю портів для вводу/виводу даних. Основні технічні параметри подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технічні параметри ESP32 DevKit V1 [8]

Мікроконтролер	ESP32 (ESP-WROOM-32)
Робоча напруга	3,3 В
Вхідна напруга	5 В через USB або 7–12 В через VIN
Кількість цифрових входів/виходів	30
Аналогові входи	До 18 (ADC 12-біт)
Інтерфейси	UART, SPI, I2C, PWM, ADC, DAC
Тактова частота	до 240 МГц (2 ядра)
ОЗУ	520 КБ
Флеш-пам'ять	4 МБ
Бездротові модулі	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2

ESP32 DevKit V1 було обрано для втілення проекту, враховуючи такі переваги:

- відмінна продуктивність та багатоядерна структура;
- значна кількість цифрових і аналогових портів;

- підтримка апаратних протоколів, таких як I2C, UART, SPI;
- змога живлення через USB та VIN;
- широке застосування в середовищі Arduino IDE та доступність численних бібліотек;
- вбудовані таймери, що дозволяють точно контролювати час реального часу та ШІМ-сигнали.

На рисунку 3.2 зображено розпіновку ESP32 DevKit V1.

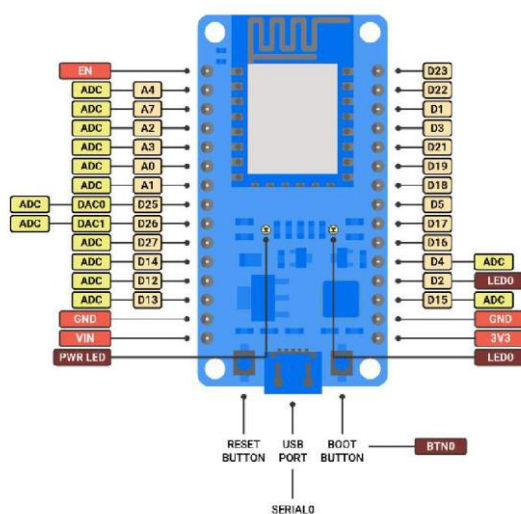


Рисунок 3.2 – Розпіновка ESP32 DevKit V1 [8]

3.2.2 Вибір драйверу крокового мотора A4988

Для керування обертанням барабана диспенсера застосовується драйвер крокового двигуна A4988, що дозволяє управляти двигуном NEMA 17 (17HS4023) з великою точністю.

A4988 – це драйвер, що забезпечує керування біполярними кроковими двигунами з мікрокрокуванням до 1/16 (рис. 3.3) [10]. Плата драйвера містить систему захисту від перегріву, короткого замикання й перевантаження по струму. Для регулювання максимально допустимого струму застосовується потенціометр.



Рисунок 3.3 – Драйвер A4988 [10]

Основні характеристики модуля наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики драйвера A4988 [10]

Робоча напруга логіки	3 – 5,5 В
Напруга живлення двигуна	8 – 35 В
Максимальний струм	до 2 А (з охолодженням)
Кількість мікрокроків	Повний, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16
Інтерфейс керування	STEP / DIR
Захисти	Від перегріву, КЗ, перевантаження

A4988 підходить для втілення точного позиціонування, потрібного для обертання барабана диспенсера. Простий інтерфейс та підтримка мікрокрокування дають змогу точно контролювати кут обертання навіть при повільному пересуванні.

3.2.3 Вибір крокового мотору NEMA 17

Основою виконавчого механізму, що забезпечує точне обертання барабана з відсіками для медикаментів, виступає кроковий двигун NEMA 17 (табл. 3.3) [9], модель 17HS4023 (рис. 3.4). Крокові двигуни є оптимальним вибором для задач,

де потрібне високоточне кутове позиціонування без застосування систем зворотного зв'язку.



Рисунок 3.4 – Кроковий мотор NEMA 17 [9]

Таблиця 3.3 – Характеристики крокового мотору NEMA 17 [9]

Тип	Біполярний кроковий двигун
Кроковий кут	1,8°
Кількість кроків на оберт	200
Номінальний струм на фазу	1,0 А
Опір фази	3,3 Ом
Напруга фази	3,3 В
Утримуючий момент	~26 Н·см (2,6 кг·см)
Індуктивність фази	2,8 мГн
Довжина корпусу	23 мм
Діаметр вала	5 мм
Вага	180 г

Кроковий двигун обраний через його здатність до прецизійного покрокового обертання, що критично важливо для механізму з барабаном, який містить 21 секцію. Для розташування потрібної секції над лотком, необхідно виконати точно визначену кількість кроків від початкової позиції. Розмір NEMA 17 представляє

адекватний компроміс між невеликими габаритами та достатнім крутним моментом для обертання заповненого таблетками барабана. Модель 17HS4023 легкодоступна та економічно вигідна, що робить її ідеальною для макету. Для управління цим двигуном потрібен спеціалізований драйвер (наприклад, A4988), котрий генеруватиме відповідні імпульси струму в обмотках на основі сигналів кроку та напрямку, отриманих від мікроконтролера.

3.2.4 Вибір сервомотору Tower Pro SG90

Для здійснення невеликих, але точних кутових переміщень у механізмі видачі пігулок використано мініатюрний сервомотор Tower Pro SG90 (рис. 3.5) [11]. Сервомотори є різновидом двигунів, що дають змогу точно контролювати позицію їх вихідного вала в певній області кутів. Модель SG90 (табл. 3.4) є однією з найпоширеніших серед розробників електроніки та робототехніки через свої компактні габарити, невелику вагу та низьку ціну.



Рисунок 3.5 – Сервомотор Tower Pro SG90 [11]

Таблиця 3.4 – Характеристики сервомотору Tower Pro SG90 [11]

Кут повороту	0–180°
Напруга	4,8–6 В
Вага	9 г
Сила тяги	до 1,8 кг/см
Час реакції	~0,1 с/60°

Сервомотор легко програмується та дає змогу втілити нескладні рухи з точним позиціюванням, необхідні для завершального етапу видачі пігулки з барабана у лоток.

3.2.5 Вибір модуля годинника реального часу DS3231

Для забезпечення високоточного відліку часу та дати, що є вкрай важливим для виконання запрограмованого графіка видачі ліків, у пристрої застосовується модуль DS3231 – годинник реального часу з температурною компенсацією (рис. 3.6) [15]. На відміну від дешевших варіантів (наприклад, DS1307), DS3231 (табл. 3.5) має вбудований високо стабільний кварцовий резонатор, котрий дозволяє зберігати виняткову точність ходу годинника протягом тривалого періоду часу незалежно від коливань температури навколишнього середовища.



Рисунок 3.6 – Модуль годинника реального часу DS3231 [15]

Таблиця 3.5 – Характеристики модуля годинника реального часу DS3231 [15]

Інтерфейс зв'язку	I2C
Робоча напруга	2,3–5,5 В
Точність	± 2 ppm (приблизно ± 1 хв/рік)
Живлення від батареї	CR2032

Модуль DS3231 дає змогу надзвичайно точно визначати запланований час для активації дозатора з високим ступенем надійності, позбавляючи потреби в постійному живленні або необхідності синхронізувати час після кожного перезавантаження мікроконтролера.

3.2.6 Вибір OLED-дисплею 0,96

Для візуалізації даних та створення взаємодії з користувачем буде використано графічний OLED-дисплей [12]. Його діагональ становить 0,96 дюйма, а роздільна здатність – 128×64 пікселі (табл. 3.6). Дисплей обрано через відмінну якість картинки та невеликі габарити, що ідеально для малогабаритних пристроїв.

Таблиця 3.6 – Характеристики OLED-дисплею 0,96 [12]

Тип дисплея	OLED
Роздільна здатність	128×64 пікселів
Діагональ	0,96 дюйма
Інтерфейс	I2C
Напруга живлення	3,3–5 В
Споживання струму	~20 мА

Цей дисплей забезпечує створення зручного графічного інтерфейсу для відображення поточного часу та дати, індикації режиму роботи, статусу пристрою, а також навігації та вибору пунктів у меню налаштувань.

3.2.7 Вибір енкодера KY-040

Для забезпечення інтуїтивно зрозумілого та зручного введення інформації та управління меню налаштувань у пристрої буде використаний ротаційний

енкодер KY-040 із вмонтованою кнопкою (табл. 3.7) [13]. Цей компонент дає змогу замінити декілька традиційних кнопок одним елементом управління.

Таблиця 3.7 – Характеристики енкодера KY-040 [13]

Тип енкодера	Інкрементальний, механічний
Робоча напруга	3,3 В – 5 В
Кількість імпульсів на оберт	~20 імпульсів
Сигнали	CLK (A), DT (B), SW (кнопка)
Напруга сигналів на виході	Цифрова (LOW/HIGH)
Кут обертання	Повне коло

Енкодер KY-040 дозволяє користувачу зручно і швидко перемикатися між пунктами меню на дисплеї, змінювати числові параметри (наприклад, час дії, дату) обертанням та затверджувати свій вибір натисканням кнопки. Це робить інтерфейс більш ергономічним.

3.2.8 Вибір активного зумеру

Для звукового сповіщення користувача про важливі події, передусім про запланований час видачі пігулок, застосовується активний зумер (рис. 3.7) [14]. Характеристики активного зумеру наведено в таблиці 3.8.



Рисунок 3.7 – Активний зумер [14]

Таблиця 3.8 – Характеристики активного зумеру [14]

Напруга живлення	3,3–5 В
Частота звуку	~2 кГц

Він є дієвим та недорогим способом для привернення уваги користувача у слушний момент, нагадуючи йому про потребу прийняти ліки з лотка видачі.

3.2.9 Вибір оптичного датчика перешкоди

Для контролю стану механізмів та гарантії надійного використання застосовують оптичний сенсор перешкоди (рис. 3.8), що функціонує за принципом преривання ІЧ-проміння (табл. 3.9) [16]. Цей сенсор застосовується як безконтактний кінцевий вимикач.

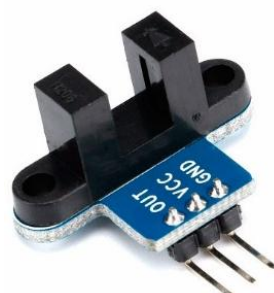


Рисунок 3.8 – Оптичний датчик перешкоди [16]

Таблиця 3.9 – Характеристики оптичного датчика перешкоди [16]

Напруга живлення	3,3–5 В
Вихід	Цифровий (LOW/HIGH)
Споживаний струм	~20 мА
Час відгуку	<1 мс
Інтерфейс	3 піна: VCC, GND, OUT

Цей сенсор дозволяє автоматично виявити, чи досягнув рухомий компонент (наприклад, барабан, що обертається) певного положення, що необхідне для калібрування системи, контролю коректності виконання операцій та уникнення збоїв чи пошкоджень механіки.

3.3 Розробка схеми підключення автоматизованого диспенсеру

В рамках даної дипломної роботи було розроблено детальну та комплексну схему підключень (рис. 3.9). Ця схема логічно об'єднує центральний контролер, виконавчі електромеханічні механізми, елементи візуальної та звукової індикації, органи керування, а також багатоступеневу систему електроживлення, забезпечуючи їх злагоджену та коректну взаємодію.

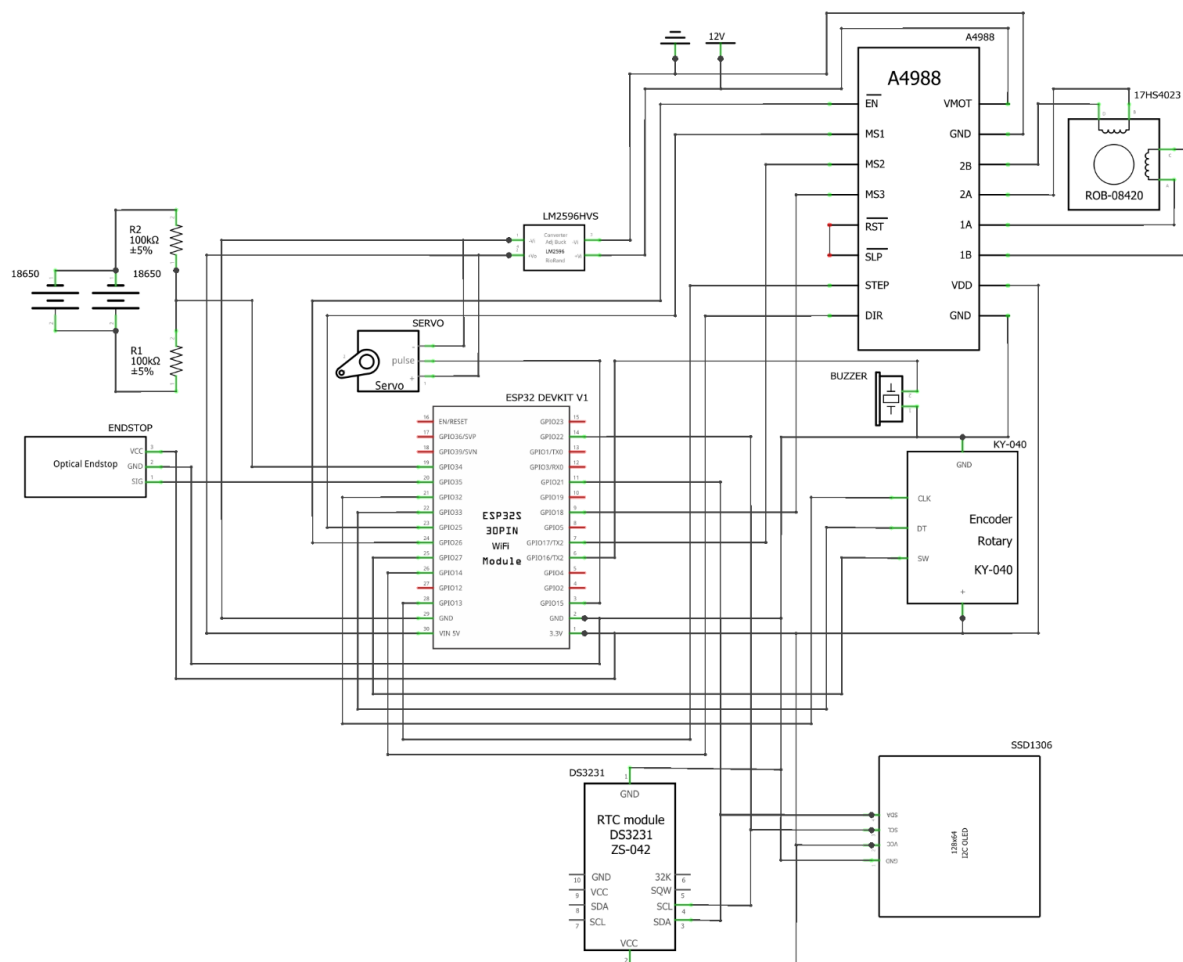


Рисунок 3.9 – Принципова електрична схема автоматизованого диспенсеру

Пристрій включає кілька ключових функціональних блоків, які взаємодіють з мікроконтролером для забезпечення роботи диспенсеру. Підключення периферійних пристроїв до ESP32 було ретельно сплановано та здійснено наступним чином:

Для прецизійного керування кроковим двигуном, який забезпечує точне обертання барабана з медикаментами, було використано спеціалізований драйвер A4988. Даний драйвер дозволяє ефективно перетворювати низькорівневі логічні сигнали з мікроконтролера у струми, необхідні для живлення обмоток двигуна. Сигнали керування драйвером було підключено до наступних виводів ESP32:

- STEP – до GPIO25. Вибір цього виводу обумовлений його стандартними можливостями цифрового виводу, здатного генерувати послідовність імпульсів, що визначають крок обертання двигуна;

- DIR – до GPIO26. Цей вивід дозволяє програмно змінювати напрямок обертання вала двигуна;

- EN – до GPIO14. Активувавши цей сигнал, можна програмно вмикати або вимикати живлення обмоток двигуна, що є корисним для зниження енергоспоживання у режимах очікування;

- виводи MS1, MS2, MS3 драйвера, призначені для конфігурування режиму мікрокрокування, було підключено до GPIO27, GPIO33 та GPIO32 відповідно. Використання мікрокроку дозволяє досягти більш плавного руху барабана та підвищити точність його позиціонування.

Для реалізації механізму закриття/відкриття комірки видачі ліків було задіяно компактний сервопривід SG90. Його сигнальний керуючий вивід було підключено до GPIO13 мікроконтролера ESP32. Даний вивід має можливість генерації ШІМ-сигналу, що є стандартним методом для точного керування кутовим положенням вала сервомеханізмів.

Для надання користувачеві важливої інформації було використано монохромний OLED-дисплей на базі контролера SSD1306, що характеризується високою контрастністю та низьким енергоспоживанням. Підключення дисплея

було реалізовано за допомогою двопровідного інтерфейсу I2C. Для цього було задіяно SCL – GPIO22 та SDA – GPIO21. Ці виводи є штатними апаратними I2C портами на ESP32 DEVKIT V1, що гарантує стабільну комунікацію.

Для інтуїтивно зрозумілої навігації по меню пристрою та оперативного внесення змін у налаштування було застосовано механічний інкрементальний енкодер KY-040 з вбудованою кнопкою. Його виходи було підключено до мікроконтролера таким чином: CLK – до GPIO19; DT – до GPIO18; SW – до GPIO5. Вибір GPIO для сигналів CLK та DT дозволяє ефективно використовувати механізм апаратних переривань.

Для точного визначення початкового, або "домашнього", положення барабана, що є критично важливим для коректної індексації комірок, було використано безконтактний оптичний кінцевий вимикач. Його сигнальний вивід було підключено до GPIO4.

Для забезпечення точного відліку часу та дати було інтегровано високоточний модуль RTC на базі мікросхеми DS3231. Його підключення також було здійснено через інтерфейс I2C, використовуючи ті ж лінії SCL (GPIO22) та SDA (GPIO21), що й OLED-дисплей.

Для подачі звукових сигналів користувачеві було підключено активний п'єзоелектричний зумер до GPIO12. Керування ним здійснюється подачею логічного рівня з цього цифрового виводу.

Особливу увагу при розробці схемотехнічного рішення було приділено проектуванню надійної та багатоступеневої системи живлення пристрою. Джерелом основного автономного живлення слугує спеціально розроблений блок ДБЖ на основі двох літій-іонних акумуляторів типу 18650. Цей блок формує стабілізовану вихідну напругу 12 В, що є критично важливим для забезпечення неперервності лікувального процесу.

Сформована напруга 12 В була визначена як оптимальна для безпосереднього живлення силової частини драйвера крокового двигуна A4988, що дозволяє досягти його кращих швидкісно-моментних характеристик.

Для живлення решти компонентів, які розраховані на нижчі рівні напруги, було реалізовано схему послідовного пониження напруги. На першому етапі, напруга 12 В з виходу блоку ДБЖ подається на вхід імпульсного понижуючого DC-DC перетворювача на базі мікросхеми LM2596HVS. Цей перетворювач трансформує вхідні 12 В у стабілізовану напругу 5 В, яка необхідна для живлення мікроконтролера ESP32 та сервопривода.

У свою чергу, мікроконтролерна плата ESP32 DEVKIT V1 оснащена власним інтегрованим лінійним стабілізатором напруги (LDO). Цей стабілізатор виконує другий ступінь пониження, перетворюючи вхідні 5 В на робочу напругу 3,3 В. Саме ця стабілізована напруга використовується для живлення ядра самого мікроконтролера ESP32, а також усіх підключених до нього цифрових периферійних пристроїв: OLED-дисплея SSD1306, модуля годинника реального часу DS3231, інкрементального енкодера KY-040, оптичного кінцевого вимикача, а також логічної частини драйвера A4988.

Таким чином, розроблена електрична принципова схема забезпечує не тільки коректну функціональну взаємодію всіх апаратних компонентів, але й їх належне та безпечне електроживлення. Створена схемотехнічна база є надійною апаратною платформою для подальшої розробки програмного забезпечення.

3.4 Розробка програмного забезпечення автоматизованого диспенсера

Функціонування автоматизованого диспенсера для ліків повністю визначається розробленим програмним забезпеченням. Програмний код було створено мовою C++ в середовищі розробки Arduino IDE та скомпільовано для мікроконтролерної платформи ESP32.

3.4.1 Архітектура програмного забезпечення та використані технології

В основі архітектури програмного забезпечення лежить концепція машини скінченних станів. Такий підхід дозволяє чітко розділити логіку роботи пристрою

на окремі стани (наприклад, відображення головного екрана, навігація по меню, процес видачі ліків, налаштування WiFi), кожен з яких має свою логіку обробки подій та графічне представлення. Переходи між станами відбуваються у відповідь на дії користувача (обертання енкодера, натискання кнопки) або системні події (спрацювання таймера, настання часу видачі). У програмному коді це реалізовано за допомогою наступного переліку (enum):

```
enum AppState {
    STATE_MAIN_SCREEN,
    STATE_MAIN_MENU,
    // ... інші стани меню ...
    STATE_DISPENSING_CONFIRMATION,
    STATE_DISPENSING_ACTIVE,
    STATE_WIFI_AP_SETUP,
    STATE_WIFI_CONNECTING,
    STATE_WIFI_STATUS
};
AppState appState = STATE_MAIN_SCREEN;
```

Для реалізації функціоналу було задіяно набір спеціалізованих бібліотек:

- U8g2lib: для керування OLED-дисплеєм та виведення графічної інформації [17];
- AiEsp32RotaryEncoder: для обробки сигналів з інкрементального енкодера [18];
- RTCLib: для взаємодії з модулем годинника реального часу DS3231;
- Preferences: для збереження налаштувань (розкладів, режимів) в енергонезалежну пам'ять мікроконтролера;
- ESP32Servo: для керування сервоприводом засувки;

– WiFi, ESPAsyncWebServer [19], ArduinoJson [20]: для реалізації мережевих функцій, зокрема вбудованого веб-сервера, що надає віддалений доступ до налаштувань пристрою.

3.4.2 Загальний алгоритм роботи пристрою

Логічна структура роботи програми детально відображена в алгоритмі, представленому у вигляді блок-схеми (рис. 3.10). Робочий процес можна умовно розділити на два основні етапи: початкова ініціалізація та головний робочий цикл.

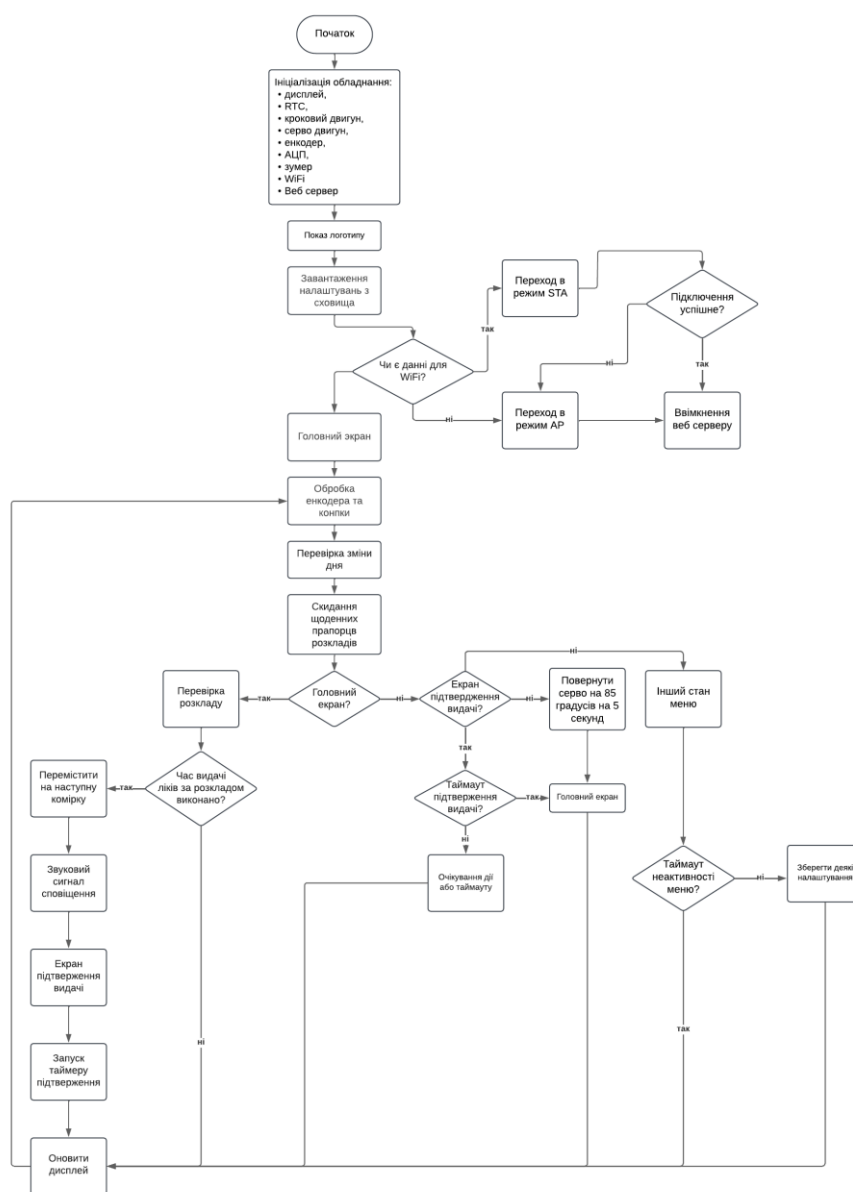


Рисунок 3.10 – Алгоритм роботи програмного забезпечення

При ввімкненні пристрою виконується послідовність налаштування апаратних компонентів: ініціалізуються інтерфейси, налаштовуються виводи мікроконтролера (GPIO), запускається годинник реального часу, драйвер крокового двигуна та сервопривід:

```
void setup() {
    Wire.begin();

    u8g2.begin();
    u8g2.enableUTF8Print();

    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(STEPPER_STEP_PIN, OUTPUT);
    pinMode(STEPPER_DIR_PIN, OUTPUT);
    pinMode(STEPPER_ENABLE_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(STEPPER_ENABLE_PIN, LOW);
    // ... налаштування інших пінів ...

    medicationServo.attach(SERVO_PIN);
    setServoPosition(SERVO_CLOSED_POSITION);

    if (!rtc.begin()) {
        u8g2.clearBuffer();
        u8g2.setFont(u8g2_font_ncenB08_tr);
        u8g2.drawStr(0, 15, "RTC not found!");
        u8g2.sendBuffer();
        while (1) delay(10);
    }
}
```

Після успішного запуску на дисплеї відображається логотип, що сигналізує про готовність пристрою (рис. 3.11). Далі відбувається завантаження раніше збережених налаштувань з енергонезалежної пам'яті. Ключовим кроком

ініціалізації є налаштування мережевого з'єднання: програма перевіряє наявність збережених даних для підключення до WiFi. Якщо дані є, виконується спроба підключення до мережі. Якщо даних немає, або підключення не вдалося, пристрій переходить у режим точки доступу (AP). Наприкінці ініціалізації запускається веб-сервер, і пристрій переходить у свій основний стан, відображаючи головний екран.



Рисунок 3.11 – Логотип пристрою

Після ініціалізації програма входить у нескінченний цикл (`loop()`), де відбувається постійний моніторинг та обробка подій. Як видно з блок-схеми (рис. 3.10), цей цикл включає обробку дій користувача (обертання та натискання енкодера), перевірку настання часу видачі ліків за розкладом, а також оновлення щоденних прапорців видачі при зміні доби.

Коли поточний час збігається з часом, вказаним в одному з активних розкладів, ініціюється послідовність дій для видачі медикаментів:

- позиціонування барабана;
- подача звукового сповіщення;
- відображення екрану підтвердження та запуск таймера.

Якщо користувач підтверджує дію, сервопривід відкриває засувку. Якщо користувач не реагує, видача скасовується.

3.4.3 Реалізація ключових програмних модулів

Логіка програми побудована на машині станів AppState. За обробку дій користувача відповідає функція `handleNavigation(EventType event)`. Вона приймає подію (наприклад, `EVENT_SHORT_PRESS`, `EVENT_LONG_PRESS`) і, залежно від поточного стану, змінює його на новий. Розрізнення між коротким та довгим натисканням реалізовано за допомогою таймерів на основі функції `millis()`.

Ключовою є функція `executeThreePhaseSensorMovement()`, яка реалізує надійний алгоритм пошуку наступної комірки з використанням оптичного датчика. Це забезпечує самокалібрування та запобігає накопиченню похибки позиціонування. Функція `moveToDispenseCell(int targetCell)` послідовно викликає `executeThreePhaseSensorMovement()` для досягнення цільової комірки.

Для збереження користувацьких налаштувань між сеансами роботи використовується бібліотека `Preferences`. Прості дані, як-от режим роботи, зберігаються безпосередньо, тоді як масиви (наприклад, розклади) зберігаються у вигляді послідовності байтів:

```
preferences.putBytes("sched_h", scheduleHours,
sizeof(scheduleHours));
preferences.putBytes("sched_m", scheduleMinutes,
sizeof(scheduleMinutes));
```

Для зручного налаштування пристрою було реалізовано вбудований асинхронний веб-сервер (рис. 3.12). Взаємодія між веб-сторінкою та пристроєм відбувається за допомогою асинхронних JavaScript-запитів (`fetch()`). Сервер обробляє HTTP-запити на різні шляхи:

- /getsettings (GET): повертає JSON-об'єкт з повним поточним станом пристрою;
- /setconfig (POST): приймає JSON-об'єкт з новими даними від веб-інтерфейсу для збереження;
- /updatewifi (POST): приймає нові облікові дані для мережі WiFi.

Таким чином, розроблене програмне забезпечення комплексно реалізує всю необхідну логіку для функціонування автоматизованого диспенсера, поєднуючи локальне керування через енкодер та дисплей з гнучкими можливостями віддаленого налаштування через веб-інтерфейс. Частковий лістинг розробленого програмного коду наведено у додатку Б.

Керування Диспенсером

Увага! Пристрій працює в режимі Точки Доступу (AP). IP: 192.168.4.1. SSID: PillDispenserAP. Для підключення до вашої мережі WiFi, введіть її дані в розділі "Налаштування WiFi" нижче та збережіть.

📌 Інформація про пристрій

Режим роботи:	Щоденний
Поточна комірка (0=дім):	4
Наступна комірка для видачі:	5
Статус зумера:	УВІМК
Активні розклади:	Розклад 1: 17:11 Розклад 2: 16:52 Розклад 3: 16:55

📶 Дані WiFi

Статус WiFi:	Точка доступу (AP)
Збережений SSID (в пам'яті):	LU-750
Поточний SSID підключення/AP:	PillDispenserAP
IP Адреса:	192.168.4.1

⚙️ Налаштування пристрою

Загальні налаштування, Розклади та RTC

Режим:
Щоденний (Daily) ▾

Розклади (до 3-х розкладів)

Розклад 1 (ГГ:XX): 17 : 11

Розклад 2 (ГГ:XX): 16 : 52

Розклад 3 (ГГ:XX): 16 : 55

Встановити дату RTC:
15 . 06 . 2025

Встановити час RTC (ГГ:XX:СС):
15 : 36 : 58

Зумер:
увіМК ▾

Рисунок 3.12 – Асинхронний веб-сервер

3.5 Експериментальна перевірка функціональності макета

З метою перевірки функціональності розробленого макета диспенсера було проведено серію випробувань функціональності розробленого макета та демонстрація його роботи у відповідності до поставлених завдань. Перевірка проводилася за сценарієм, що імітує реальне використання пристрою: від першого увімкнення до видачі дози ліків за розкладом.

3.5.1 Увімкнення та ініціалізація

При підключенні живлення до макета відбувається ініціалізація мікроконтролера ESP32 та всіх периферійних пристроїв. На OLED-дисплеї короткочасно відображається стартовий екран, після чого пристрій переходить в основний режим очікування, відображаючи на екрані поточний час та дату (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 – Початковий екран пристрою після увімкнення

3.5.2 Програмування розкладу

Налаштування розкладу виконувалося без використання зовнішніх засобів зв'язку. Для цього користувач увійшов у меню пристрою натисканням на кнопку енкодера. На екрані відобразився список пунктів, серед яких було обрано "SCHEDULE" (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Меню пристрою

У ході налаштування були здійснені такі дії:

- обрано пункт меню "SCHEDULE ";
- вибрано номер прийому (рис. 3.15);
- встановлено час спрацювання шляхом обертання енкодера;
- збережено внесені налаштування натисканням на кнопку.



Рисунок 3.15 – Інтерфейс меню для налаштування розкладу

Після завершення налаштування пристрій автоматично повернувся до головного екрана та розпочав відлік часу до наступного запланованого прийому.

3.5.3 Спрацювання за розкладом та видача дози

Після збереження налаштувань пристрій перебував у режимі очікування, відображаючи на дисплеї час до наступної видачі ліків. Точно в зазначений час спрацювала система сповіщення:

- активний зумер подав переривчастий звуковий сигнал;
- на екрані з'явилося повідомлення «Medication Intake».

Одночасно з сигналом сповіщення, кроковий двигун повернув барабан, точно позиціонуючи потрібну комірку навпроти вікна видачі. Після цього система перейшла в режим очікування підтвердження від користувача (рис. 3.16)



Рисунок 3.16 – Пристрій у режимі видачі дози з повідомленням на екрані

3.5.4 Підтвердження прийому та завершення циклу

Для імітації дії користувача за допомогою ротаційного енодера було обрано варіант «ОК». Після натискання на кнопку енодера, сервопривід відкрив засувку на 5 секунд, а потім закрив її. Після цього пристрій повернувся в режим очікування, відображаючи час до наступного запрограмованого прийому.

3.6 Охорона праці та техніка безпеки при розробці макета

Розробка та виготовлення фізичного макета пристрою, описаного в п. 3.1-3.4, потребували суворого дотримання правил техніки безпеки, особливо під час монтажу та налагодження електричної частини[21]. Основна увага була приділена запобіганню ураженню електричним струмом, термічним опікам та ризикам виникнення пожежі.

Під час виконання робіт було виявлено наступні потенційно небезпечні фактори:

- Робота з електричними схемами (напруга: 5–12 В);
- Робота з паяльним обладнанням (температура жала: до 350 °С).

Роботи виконувалися в умовах навчальної лабораторії. Приміщення площею приблизно 20 м² було обладнане одним робочим місцем. Освітленість робочої зони становила приблизно 500 лк, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28-2006 для лабораторних приміщень (норма – не менше 300 лк). Рівень шуму під час роботи устаткування не перевищував 50 дБ, що значно нижче допустимого рівня для офісних приміщень (норма – до 65 дБ згідно з ДСН 3.3.6.037-99).

Ключовим етапом була збірка та тестування принципової електричної схеми. Для забезпечення безпеки під час цих робіт було вжито комплексних заходів. Паяльні роботи проводились у добре провітрюваному приміщенні з використанням справної паяльної станції з регулюванням температури. Паяльник розміщувався на спеціальній термостійкій підставці, що унеможливило контакт його нагрітих частин з поверхнею стола чи сторонніми предметами. Робоче місце було організовано таким чином, щоб виключити наявність легкозаймистих матеріалів, таких як папір або пакувальні матеріали, в безпосередній близькості до зони паяння.

Перше ввімкнення та подальше налагодження схеми проводилося з використанням лабораторного блока живлення, оснащеного функцією обмеження струму. Цей превентивний захід дозволив уникнути пошкодження електронних

компонентів та займання у випадку ненавмисних помилок монтажу або виникнення короткого замикання. Будь-які зміни в конфігурації схеми, як-от підключення або відключення модулів, виконувалися виключно при повністю знеструмленій системі. Для вимірювання параметрів схеми використовувався цифровий мультиметр зі щупами, що мали неущожену ізоляцію.

Для підтримки належного мікроклімату та забезпечення оптимальних умов праці було проведено розрахунок необхідного об'єму повітрообміну. Розрахунки проводились за формулою:

$$L = N \cdot q, \quad (3.1)$$

де L – об'єм повітрообміну ($\text{м}^3/\text{год}$);

N – кількість осіб у приміщенні;

q – норма повітрообміну на одну особу ($60 \text{ м}^3/\text{год}$).

За умови, що над макетом працювало $N=1$ особа:

$$L = 1 \cdot 60 = 60 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Таким чином, для забезпечення безпечних умов праці необхідно передбачити вентиляцію з продуктивністю не менше $60 \text{ м}^3/\text{год}$.

ВИСНОВКИ

В результаті написання першого розділу кваліфікаційної роботи було проведено аналіз ринку автоматизованих диспенсерів для ліків, зокрема:

- проведено аналіз класу базових механічних диспенсерів, виявлено їхні переваги (висока надійність, низька вартість) та ключові недоліки (незручне налаштування, відсутність віддаленого контролю);
- розглянуто сегмент комплексних «розумних» систем, відзначено їхні переваги (повна автоматизація, гнучкість моніторингу) та недоліки (надзвичайно висока вартість, конструктивна складність);
- обґрунтовано актуальність розробки та виявлено ринкову нішу для пристрою, що поєднує механічну надійність та доступність з інтелектуальними функціями керування.

В результаті написання другого розділу було розроблено конструкцію та тривимірну модель пристрою, а також проведено його теоретичний аналіз, зокрема:

- обґрунтовано вибір системи автоматизованого проектування Autodesk Fusion 360 як основного інструменту для моделювання;
- розроблено деталізовані 3D-моделі всіх основних вузлів диспенсера: основи корпусу, обертового барабана на 22 комірки та окремого корпусу для блоку інтерфейсу;
- створено фінальну тривимірну збірку пристрою для перевірки компонування деталей та відсутності колізій;
- проведено теоретичне дослідження стійкості, де для умовної моделі системи керування другого порядку за допомогою критерію Гурвіца було підтверджено її стабільність.

В результаті написання третього розділу було розроблено та реалізовано апаратну та програмну частини макету, зокрема:

- розроблено принципову електричну схему, обґрунтовано вибір мікроконтролерної платформи ESP32 як центрального керуючого елемента та підібрано елементну базу для всіх функціональних вузлів;
- розроблено програмне забезпечення на мові C++ з архітектурою на основі машини скінченних станів, що реалізує всю логіку роботи пристрою;
- реалізовано ключовий функціонал, включаючи керування виконавчими механізмами з калібруванням по датчику, збереження налаштувань в енергонезалежну пам'ять, а також віддалене керування через веб-інтерфейс по Wi-Fi.

Також було розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 31 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В.Токарева, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2022. 66 с.
3. LiveFine Automatic Pill Dispenser with 28-Day Electronic Medication Organizer [Електронний ресурс]. URL: <https://www.amazon.com/Live-Fine-Electronic-Prescriptions-Supplements/dp/B07VDG4Y1J> (дата звернення: 02.06.2025).
4. e-Pill Med-E-Lert Automatic Pill Dispenser [Електронний ресурс]. URL: <https://www.amazon.com/MED-LERT-Compartments-Medication-Electronic/dp/B0147HTHRI> (дата звернення: 02.06.2025).
5. Hero: The New Way to Manage Meds [Електронний ресурс]. URL: <https://herohealth.com/> (дата звернення: 02.06.2025).
6. Рекомендації по застосуванню методів ТАУ при виконанні кваліфікаційної роботи бакалавра / упоряд.: І. Ш. Невлюдов та ін. Харків: ХНУРЕ, 2022. 13 с.
7. Невлюдов І. Ш., Токарева О. В. Теорія автоматичного управління (збірник задач): навч. посіб. Харків: ХНУРЕ, 2020. 240 с.
8. ESP32-DEVKITC-32D Getting Started Guide [Електронний ресурс] / Espressif Systems. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html> (дата звернення: 02.06.2025).
9. Кроковий двигун NEMA17HS4023 Titan для 3D-принтера [Електронний ресурс]. Arduinka.biz.ua. URL: <https://arduinka.biz.ua/shagovuyu->

[dvigatel-sd-17hs4023-tItaN-dlya-3d-printera-p716c83.html](https://www.pololu.com/product/1182) (дата звернення: 02.06.2025).

10. A4988 Stepper Motor Driver Carrier: Datasheet [Електронний ресурс] / Pololu. URL: <https://www.pololu.com/product/1182> (дата звернення: 02.06.2025).

11. SG90 Mini Gear Micro Servo: Datasheet [Електронний ресурс] / Tower Pro. URL: http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf (дата звернення: 02.06.2025).

12. OLED дисплей 0.96" 12864 I2C модуль білий* [Електронний ресурс]. Arduino.UA. URL: <https://arduino.ua/ru/prod1263-oled-displei-modul-belii> (дата звернення: 02.06.2025).

13. Енкодер на платі (модуль) [Електронний ресурс]. Mini-Tech. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/encoder-na-plate-modul> (дата звернення: 02.06.2025).

14. Активний зумер на платі 5В [Електронний ресурс]. ArduinoKit. URL: <https://arduinokit.com.ua/ua/p2271652574-aktivnyj-zummer-plate.html> (дата звернення: 02.06.2025).

15. DS3231 Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal: Datasheet [Електронний ресурс] / Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS3231.pdf> (дата звернення: 02.06.2025).

16. Оптичний датчик перешкоди компактний [Електронний ресурс]. Arduino.UA. URL: <https://arduino.ua/prod2290-opticheskii-datchik-prepyatstviya-kompaktnii> (дата звернення: 02.06.2025).

17. U8g2 for Arduino, C++, and ESP-IDF [Електронний ресурс]: GitHub repository / О. Краус. URL: <https://github.com/olikraus/u8g2> (дата звернення: 02.06.2025).

18. Antolic I. AiEsp32RotaryEncoder: a library for ESP32 to handle rotary encoder [Електронний ресурс] / I. Antolic. URL: <https://github.com/igorantolic/ai-esp32-rotary-encoder> (дата звернення: 02.06.2025).

19. ESPAsyncWebServer Library for ESP8266 and ESP32 [Електронний ресурс]: GitHub repository. URL: <https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer> (дата звернення: 02.06.2025).

20. ArduinoJson: C++ JSON library for Arduino and IoT [Електронний ресурс]. URL: <https://arduinojson.org/> (дата звернення: 07.06.2025).

21. Методичні вказівки до лаб. робіт з дисципліни «Основи охорони праці» для студентів усіх напрямів та форм навчання. / Упоряд.: Т.Є. Стиценко, В.А. Айвазов, О.В. Мамонтов. – Харків: ХНУРЕ, 2018.– 120 с.