

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

перший(бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

Розроблення програмно-технічного комплексу автоматизованих жалюзей  
в системі "Розумний Будинок"

(тема)

Виконала:

здобувачка 4 року навчання,

групи АКТСІ -21-2

Людмила МАЛЬКОВА

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальності 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 асистент Роман СТРИЛЕЦЬ

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. Кафедри КІТАР

(підпис)

Ігор НЕВЛЮДОВ

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Я, Малькова Людмила Олегівна, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовувала штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"14" червня 2025 р



Людмила МАЛЬКОВА

# 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 \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

«28» квітня 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачі \_\_\_\_\_ Малькової Людмили Олегівни \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Розроблення програмно-технічного комплексу  
жалюзей у системі "Розумний Будинок" \_\_\_\_\_

Затверджена наказом по університету від « 19 » травня 2025р. № 391 Ст. \_\_\_\_\_

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії « 24 » червня 2025р. \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_ 3.1 Контролер – Arduino UNO на базі \_\_\_\_\_

мікроконтролера ATmega328P 3.2 Виконавчий механізм – кроковий двигун \_\_\_\_\_

Nema 17 (17HS4401); 3.3 Драйвер – A4988; 3.4 Фоторезистор VT83N2 \_\_\_\_\_

3.5 Кінцевий вимикач – KW4-3Z-3-P; 3.6 ІЧ-приймач VS1838; \_\_\_\_\_

3.7 П'єзовипромінювач звуку HPA17A; 3.8 Програмне забезпечення – Arduino \_\_\_\_\_

IDE; 3.9 Живлення системи – адаптер 9 В / USB; 3.10 Система моделювання – \_\_\_\_\_

Autodesk Fusion 360 3.11 Прототипування електроніки – Fritzing \_\_\_\_\_

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

4.1 Вступ; \_\_\_\_\_

4.2 Аналіз технологій та концепцій для автоматизації жалюзі у системах \_\_\_\_\_

«Розумний Будинок» \_\_\_\_\_

4.3 Розробка конструкції системи автоматизованого управління жалюзі \_\_\_\_\_

4.4 Реалізація алгоритму роботи пристрою \_\_\_\_\_

4.5 Висновки та перелік джерел посилань \_\_\_\_\_

4.6 Висновки. \_\_\_\_\_

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

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

6 Консультанти розділів роботи

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

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологій та концепцій для автоматизації жалюзі у системах «Розумний Будинок»	28.04 – 04.05.25	Виконано
2	Розробка конструкції системи автоматизованого управління жалюзі	05.05 – 14.05.25	Виконано
3	Розробка конструкції та 3D-моделей механічних елементів	15.05 – 31.05.25	Виконано
4	Реалізація алгоритму роботи пристрою	01.06 – 10.06.25	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	11.06 – 14.06.25	Виконано
7	Подання роботи на рецензію	18.06 – 20.06.25	Виконано
8	Подання роботи на підпис зав. кафедри	21.06 – 23.06.25	Виконано
9	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	24.06.25	Виконано

Дата видачі завдання 28.04.2025

Здобувачка

\_\_\_\_\_

(підпис)

Людмила Малькова

(власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

асистент Роман Стрілець

(посада, власне ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 77 с., 2 табл., 35 рис., 1 дод., 41 джерело.

### РОЗУМНИЙ БУДИНОК, РОЗУМНІ ЖАЛЮЗІ, АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ, ARDUINO UNO.

Мета кваліфікаційної роботи – створити інтегроване рішення для автоматизованого керування жалюзями, орієнтоване на підвищення енергоефективності та комфорту користувачів у рамках системи "Розумний Будинок".

Актуальність цієї роботи зумовлена потребою в енергоефективних та автономних рішеннях для систем «Розумного Будинку». В умовах періодичних відключень електроенергії в Україні особливо важливою є можливість роботи пристрою без центрального контролера та з ручним керуванням у разі збою. Розробка простої у встановленні, надійної й економної системи керування жалюзі відповідає сучасним технічним викликам і сприяє підвищенню комфорту та безпеки користувачів.

Об'єкт розробки – процес автоматизації функціонування рулонних жалюзі як окремого пристрою, призначеного для інтеграції в екосистему «Розумний Будинок».

Предмет розробки – програмно-технічне втілення прототипу комплексу «Розумні жалюзі», який надає змогу керувати вертикальним переміщенням жалюзі в ручному та автоматичному режимах, не вдаючись до прокладання додаткових ліній комунікацій.

## ABSTRACT

Explanatory Note: 77 pages, 2 tables, 35 figures, 1 appendices, 41 sources.

SMART HOME, SMART BLINDS, AUTOMATED CONTROL, ARDUINO UNO.

The purpose of the qualification work is to create an integrated solution for automated control of blinds aimed at improving energy efficiency and user comfort within the Smart Home system.

The relevance of this work is driven by the demand for energy-efficient and autonomous solutions in Smart Home systems. In the context of periodic power outages in Ukraine, the ability of the device to operate without a central controller and to provide manual control in the event of a system failure is of particular importance. The development of a simple-to-install, reliable, and cost-effective blind control system addresses current technical challenges and contributes to enhancing user comfort and safety.

The object of the development is the process of automating the operation of roller blinds as a standalone device intended for integration into the Smart Home ecosystem.

The subject of the development is the hardware and software implementation of a prototype system titled "Smart Blinds," which enables vertical movement control of the blinds in both manual and automatic modes without the need for additional communication lines.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень .....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз технологій та концепцій для автоматизації жалюзі у системах «Розумний Будинок».....	13
1.1 Загальна архітектура та принципи функціонування системи «Розумний Будинок» .....	13
1.2 Аналіз структури та принципу дії «Розумного будинку» на прикладі Fibaro ....	16
1.3 Аналіз недоліків систем «Розумний Будинок» .....	25
1.4 Аналіз існуючих рішень систем автоматизованого керування та побудови жалюзі .....	27
1.5 Принцип роботи пристрою .....	29
2 Розробка системи автоматизованого управління жалюзі .....	31
2.1 Розробка структурної схеми пристрою.....	31
2.2 Вибір електричних компонентів для розумних жалюзі .....	32
2.3 Вибір виконавчих пристроїв і розробка елементів механіки .....	46
2.4 Побудова схеми підключення.....	50
3 Реалізація алгоритму роботи пристрою .....	56
3.1 Алгоритм програмного засобу для керування розумними жалюзями ..	56
3.2 Розробка програмного забезпечення розумних жалюзі .....	58
3.3 Теорія автоматичного управління .....	63
3.4 Охорона праці .....	65
Висновки .....	68
Перелік джерел посилань .....	70
Додаток А Демонстраційний матеріал.....	76

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ДП – дипломний проєкт;

ІЧ – інфрачервоний;

КД – кроковий двигун;

ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПР – промисловий робот;

РБ – розумний будинок;

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція;

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory;

ICSP – In-Circuit Serial Programming;

IOREF – Input/Output Reference;

ROM – Read-Only Memory;

SRAM – Static Random-Access Memory;

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter;

USB – Universal Serial Bus.

## ВСТУП

Сучасний світ стрімко змінюється під впливом цифрових технологій, і все більше аспектів нашого повсякденного життя автоматизується задля зручності, енергоефективності та безпеки. Концепція «Розумного Будинку» вже давно вийшла за межі експериментального етапу й активно впроваджується у житлові приміщення різного масштабу – від квартир до приватних будинків. Одним із важливих елементів таких систем є автоматизоване керування освітленням, кліматом та елементами інтер'єру, серед яких жалюзі відіграють функціональну роль

Жалюзі, як засіб контролю за рівнем природного освітлення, виконують критично важливу задачу – вони допомагають зменшити тепловтрати взимку, захищають від перегріву влітку, зберігають конфіденційність та дозволяють зменшити використання штучного освітлення, що позитивно впливає на споживання електроенергії. Їх автоматизація є логічним кроком до підвищення комфорту та енергоефективності будинку, що прямо позначатись на економії.

Автоматизація житлового простору дозволяє людині позбутись рутинних дій та зосередитися на важливіших аспектах життя. Інтелектуальні системи беруть на себе керування процесами, які раніше вимагали постійної уваги, а саме освітлення, клімат-контроль, захист від сонця тощо. Автоматизовані жалюзі є прикладом такого підходу: система самостійно аналізує умови та приймає рішення без безпосередньої участі користувача.

Однак повноцінна система «Розумного Будинку» потребує комунікацій, які переважно мають бути закладені під час будівництва/оздоблення приміщень. Саме тому досі особливо актуальними є окремі пристрої «Розумного Будинку», які не потребують прокладання комунікацій.

Керування освітленням через жалюзі відіграє ключову роль для забезпечення комфорту, підтримки здоров'я та забезпечення якісного сну.

Відповідний рівень освітлення сприяє запобіганню втоми очей, уникненню головного болю і позитивно впливає на працездатність. Достатнє природне світло зранку сприяє підтримці природних циркадних ритмів, що безпосередньо впливає на покращення сну вночі. Жалюзі дозволяють здійснювати регулювання світлового потоку, ефективно захищаючи від надмірної сонячної активності та впливу штучного освітлення у вечірній час, що стає важливим чинником для полегшення процесу засинання.

Варто відзначити також внесок жалюзі в покращення енергоефективності та захист інтер'єру. Вони суттєво знижують нагрівання приміщення, сприяючи економії на кондиціонуванні повітря та опаленні. Крім того, жалюзі забезпечують захист меблів від вигорання та сприяють створенню відчуття затишку і комфорту, що є необхідним для забезпечення відпочинку та сприяє здоровому сну.

У майбутньому ці рішення можуть бути інтегровані з голосовими помічниками та хмарними сервісами, такими як Google Home, Alexa та HomeKit. Це значно розширить функціональність та можливості взаємодії з користувачами.

Мета кваліфікаційної роботи – створити інтегроване рішення для автоматизованого керування жалюзями, орієнтоване на підвищення енергоефективності та комфорту користувачів у рамках системи "Розумний Будинок".

Актуальність цієї роботи зумовлена потребою в енергоефективних та автономних рішеннях для систем «Розумного Будинку». В умовах періодичних відключень електроенергії в Україні особливо важливою є можливість роботи пристрою без центрального контролера та з ручним керуванням у разі збою. Розробка простої у встановленні, надійної й економної системи керування жалюзі відповідає сучасним технічним викликам і сприяє підвищенню комфорту та безпеки користувачів.

Об'єкт розробки – процес автоматизації функціонування рулонних жалюзі як окремого пристрою, призначеного для інтеграції в екосистему «Розумний Будинок»

Предмет розробки – програмно-технічне втілення прототипу комплексу «Розумні жалюзі», який надає змогу керувати вертикальним переміщенням жалюзі в ручному та автоматичному режимах, не вдаючись до прокладання додаткових ліній комунікацій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати технології автоматизації жалюзі у системах «Розумний Будинок»;
- визначити переваги та недоліки;
- розробити конструкцію системи автоматизованого управління жалюзі;
- розробити прототип елемента системи «Розумний Будинок» а саме «Розумні жалюзі»;
- забезпечити можливість встановлення системи на існуючі рулонні жалюзі без зміни їхнього механізму.

Отримані результати кваліфікаційної роботи можна безпосередньо пов'язати з Цілями сталого розвитку, зокрема з 7 «Доступна та чиста енергія», що реалізується через оптимізацію використання природного освітлення та зниження потреби в штучному освітленні й кондиціонуванні, 11 «Сталий розвиток міст і громад», що досягається шляхом впровадження інтелектуальних систем, спрямованих на підвищення якості життя мешканців і раціональне використання ресурсів.

Таким чином, розроблена система «Розумні жалюзі» не лише підвищує комфорт і функціональність житлових приміщень, але й сприяє досягненню глобальних цілей сталого розвитку, акцентуючи увагу на технологічному прогресі, енергоефективності та екологічній відповідальності.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1] та керуючись навчальним посібником з дипломного проекту [2] та методичними вказівками [3] здобувачем першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми  
«Системна інженерія».

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА КОНЦЕПЦІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖАЛЮЗІ У СИСТЕМАХ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

## 1.1 Загальна архітектура та принципи функціонування системи «Розумний Будинок»

Сьогодні рівень розвитку електроніки та цифрових технологій відкриває нові можливості для автоматизації побуту. Завдяки зростанню функціональних можливостей пристроїв стало доступним створення інтегрованих рішень, здатних здійснювати автоматизоване керування усіма системами у будинку.

Під терміном «Розумний Будинок» розуміють інтегровану інтелектуальну систему керування, яка поєднує всі основні інженерні та побутові підсистеми житла в єдину керовану інфраструктуру. Такий будинок забезпечує користувачу високий рівень комфорту, безпеки та енергоефективності за рахунок використання сучасних технологій та автоматизованих рішень. Схематичне зображення типової структури такої системи наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – «Розумний Будинок»

Ключовою особливістю архітектури «Розумного Будинку» є інтеграція сенсорних та виконавчих пристроїв у єдину інформаційну мережу. Датчики, розташовані у різних зонах приміщення, передають інформацію до центрального контролера. Контролер, у свою чергу, обробляє вхідні сигнали відповідно до наперед заданих алгоритмів та уподобань користувача й, залежно від результату, надсилає команди відповідним актуаторам для реалізації певної дії.

Сучасну класифікацію таких систем можна поділити на три основні категорії [6]:

- системи з вбудованим контролером або локальним обчислювальним модулем;
- рішення, що використовують мобільні пристрої користувача (смартфон або планшет) як процесор обробки;
- хмарні системи, в яких обчислення та зберігання даних здійснюються на віддалених серверах розробника.

Типова архітектура системи передбачає наявність двох взаємопов'язаних рівнів. На першому рівні є центральний блок керування, який виконує обробку даних від сенсорів і формує сигнали управління. Другий рівень включає безпосередньо датчики та виконавчі механізми. У випадку використання апаратної платформи Arduino, контролер представлено як одну з апаратних плат на базі мікроконтролера Atmega, таких як Arduino Nano або Arduino Leonardo, із можливістю розширення функцій завдяки підключенню додаткових модулів [7].

На рисунку 1.2 продемонстровано інший підхід до архітектурної організації, в якому центральний контролер виступає лише посередником між сенсорною підсистемою та зовнішнім обчислювальним ресурсом. Він збирає інформацію з датчиків та транслює її на комп'ютер або сервер.

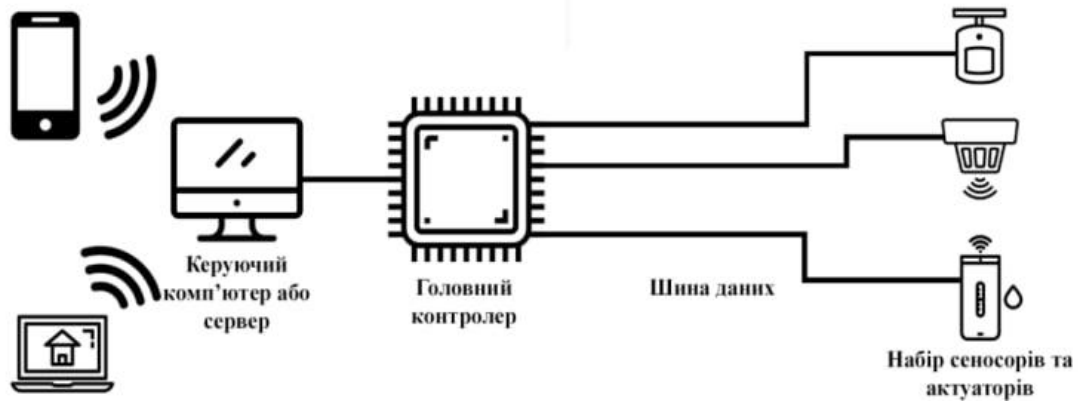


Рисунок 1.2 – Архітектура системи «Розумний Будинок» з виділеним комп'ютером

У цій конфігурації саме комп'ютер або сервер виконує основну логіку прийняття рішень, формуючи керуючі команди для контролера, який передає їх актуаторам. Такий підхід дозволяє, наприклад, дистанційно відкривати вікна або вмикати освітлення відповідно до поточних параметрів середовища.

Для реалізації подібної взаємодії на серверній частині встановлюють спеціалізоване програмне забезпечення, яке забезпечує гнучке налаштування сценаріїв та дає змогу здійснювати керування в режимі реального часу через Інтернет із будь-якої точки світу. У цьому випадку сервер не лише виконує аналітичні обчислення, а й може виступати в ролі інтерфейсного шлюзу для мобільних додатків чи веб-панелей керування.

Окремо варто відзначити, що кожен модуль у системі повинен бути здатен працювати автономно. У разі виходу з ладу одного елемента система не повинна втрачати функціональність у цілому – це критично важливо для збереження безпеки мешканців і стабільності роботи всього комплексу.

Інтеграція системи типу «Розумний Будинок» дозволяє суттєво підвищити рівень комфорту, автоматизувати щоденні рутинні дії, зменшити споживання ресурсів та забезпечити постійний моніторинг житлового простору. Такі системи поступово стають нормою у сучасному житловому будівництві.

Проте, в багатьох нових житлових комплексах автоматизовані системи наразі функціонують ізольовано одна від одної. Окремо працюють модулі керування опаленням, вентиляцією, безпековими системами, підрахунком енергоносіїв тощо. Відсутність єдиного координаційного центру не дозволяє розглядати таку будівлю як повноцінний «Розумний Будинок». Справжня система «Розумний Будинок» передбачає саме цілісну інтеграцію всіх компонентів в одну керовану мережу, яка діє узгоджено та адаптується до потреб мешканців.

## 1.2 Аналіз структури та принципу дії «Розумного будинку» на прикладі Fibaro

Структуру та принцип дії системи «Розумний Будинок» доцільно розглядати на основі аналізу існуючих комерційних рішень, які вже зарекомендували себе на ринку. Одним із найяскравіших прикладів є продукція компанії Fibaro, що поєднує в собі технічну інноваційність, функціональність і зручність у використанні. Системи цієї компанії працюють на основі сучасного бездротового протоколу Z-Wave, який є одним із найпоширеніших у сфері автоматизації житла.

Аналіз архітектури та функціонування системи на прикладі рішення Fibaro дає змогу краще зрозуміти загальні принципи побудови «Розумного Будинку» – від взаємодії компонентів до способів керування й реагування на зовнішні умови. Крім того, подібні приклади демонструють, як сучасні технології адаптуються до реальних потреб користувача, враховуючи економічність, масштабованість і простоту інтеграції [8].

Основною метою впровадження автоматизованої системи керування житлом є задоволення актуальних потреб людини у безпеці, комфорті та раціональному використанні енергоресурсів. Основні переваги системи «Розумний Будинок» відображені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Критерії та переваги системи «Розумний Будинок»

Критерії	Переваги
Безпека	Інтелектуальний захист від вторгнень, імітація присутності мешканців під час відсутності, автоматичне реагування на пожежу, витік води або газу.
Комфорт	Дистанційне та автоматичне керування освітленням, шторами, жалюзі, контроль та налаштування побутової техніки за графіком чи голосом.
Економія	Зменшення витрат за рахунок розумного регулювання, автоматичне вимкнення непотрібних приладів, оптимізація енергоспоживання в години пільгових тарифів.
Зручність керування	Централізоване керування всіма системами через смартфон або голосового асистента, налаштування індивідуальних сценаріїв для різних ситуацій.

Інтелектуальні системи управління житлом, відомі під назвою «Розумний Будинок», зазвичай реалізуються у вигляді ієрархічної структури з кількома функціональними рівнями. Основу цієї структури становить базовий рівень, до складу якого входять первинні сенсори, що здійснюють моніторинг довкілля. Зокрема, використовують датчики руху, детектори диму, протікання води, відкриття дверей і вікон, а також сенсори для виявлення чадного та вибухонебезпечного газу. Поряд із цим функціонують виконавчі пристрої – електричні розетки, сирени, електричні реле, що забезпечують керування такими елементами інфраструктури, як освітлення, ворота, жалюзі та інші інженерні системи.

Цей рівень функціонує завдяки тісній взаємодії між сенсорами та виконавчими пристроями. Сенсори оперативно реагують на зміни в середовищі, після чого надсилають відповідну інформацію до центрального модуля управління. У відповідь на отримані сигнали контролер або хмарний сервер видає команди виконавчим механізмам, які виконують задані дії й надсилають зворотний звіт про їх реалізацію. Крім того, система дозволяє

ініціювати керування вручну – через натискання кнопок, використання пультів або брелоків. Усі такі дії також передаються на обробку в систему для подальшого аналізу.

Конкретна конфігурація сенсорного та виконавчого обладнання залежить від індивідуальних запитів користувача. Найчастіше у системах використовують реле для управління світлом, сенсори протікання, диму, газу, руху та відкриття, а також розетки з можливістю дистанційного відключення.

Другий рівень цієї архітектури формує контролер, що виконує функцію центрального процесора всієї системи. Це автономний електронний пристрій, який збирає дані з сенсорів, аналізує їх, зберігає, генерує звіти у зручному форматі та забезпечує автоматизацію повсякденних процесів шляхом запуску наперед заданих сценаріїв. Зі зростанням кількості підключених пристроїв підвищуються й вимоги до обчислювальної потужності контролера, адже він має забезпечувати безперебійну й швидку роботу всієї системи.

По суті, контролер є повноцінним мікрокомп'ютером із власним процесором, оперативною пам'яттю та вбудованою операційною системою. Відповідно до стандарту Z-Wave, один такий пристрій може ефективно керувати до 200 компонентів системи. Якщо потребується більша кількість підключень, до системи додають ще один контролер, що дозволяє кратно збільшити можливості інфраструктури.

Водночас окремі виробники, зокрема Orvibo, пропонують альтернативні рішення, що дають змогу окремим модулям функціонувати безпосередньо через Wi-Fi – без контролера. До прикладу, на українському ринку можна знайти розумну розетку Orvibo B25EU Wi-Fi, вартість якої стартує від 1000 гривень [35].

Прикладом високопродуктивного контролера є Fibaro Home Center 2, який зображено на рисунку 1.3, побудований на базі двоядерного процесора Intel Atom. Його характеристики роблять цей пристрій особливо доцільним для проєктів на базі Z-Wave.



Рисунок 1.3 – Контролер Розумного Будинку Fibaro Home Centre2 та Home Centre Life

Втім, слід зазначити, що Wi-Fi-залежні модулі залежать від якості інтернет-з'єднання. У разі його втрати сценарії не активуються. Використання контролера усуває цю проблему, забезпечуючи автономне керування на локальному рівні та даючи змогу здійснювати дистанційне налаштування з будь-якого місця.

Наступним рівнем структури є система сценаріїв. Вона функціонує як гнучкий інструмент налаштування логіки взаємодії між усіма компонентами. Таку архітектуру можна порівняти з конструктором: користувач має змогу як застосовувати готові рішення, так і створювати власні конфігурації за умови відповідної сумісності пристроїв.

Програмне забезпечення, що відповідає за сценарії, значною мірою визначає функціональні можливості системи. Рішення від Fibaro вирізняються інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, який дозволяє візуалізувати сценарії у формі блок-схем, як це зображено на рисунку 1.4.

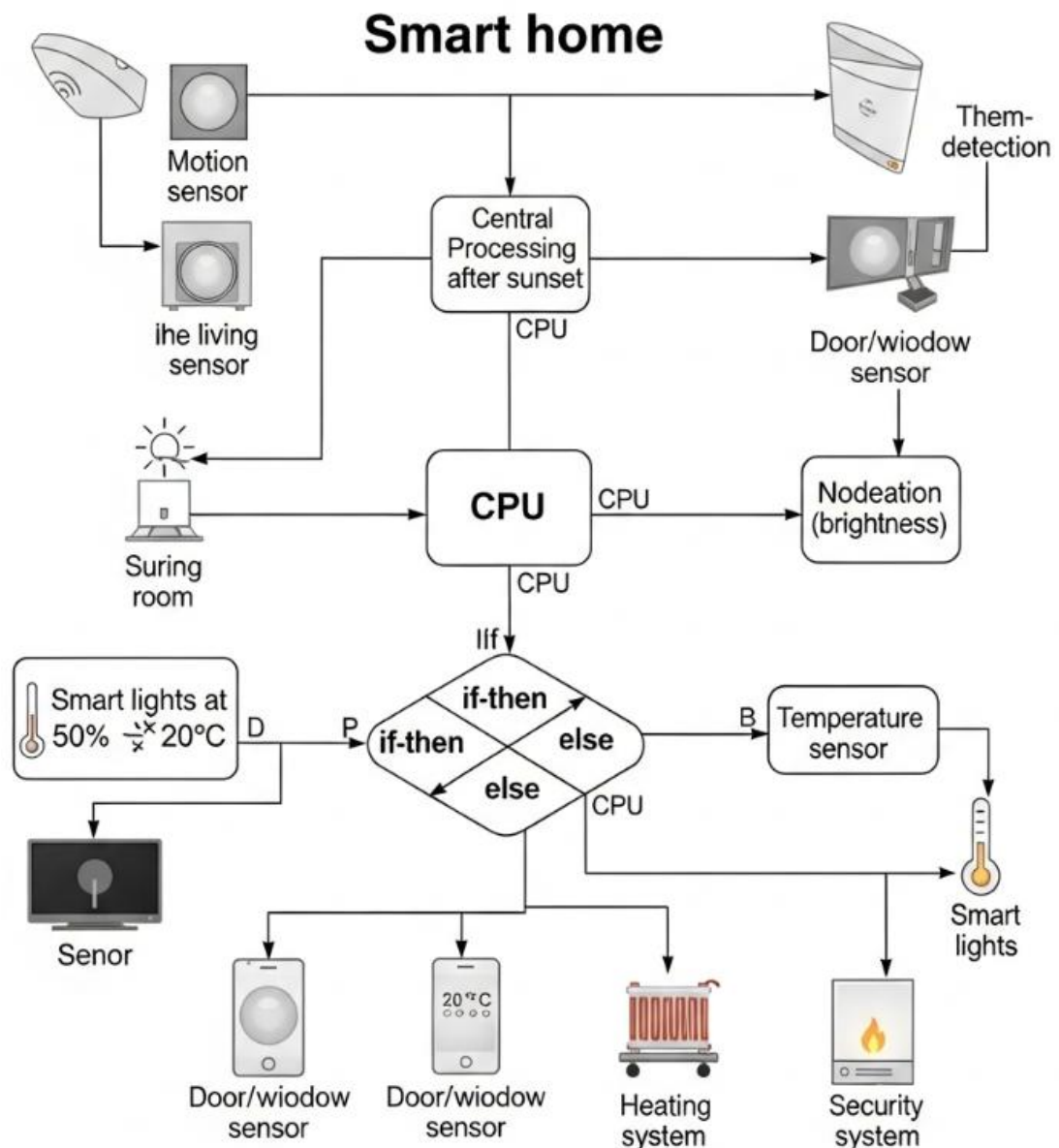


Рисунок 1.4 – Приклад блок-схеми з логікою if-then-else для сценарію у «Розумному Будинку»

Здебільшого створення логіки зводиться до простої моделі умовного оператора: «якщо подія X – тоді дія Y». Такий підхід не потребує знання мов програмування.

Разом із цим, для досвідчених користувачів передбачена підтримка мови LUA, яка дозволяє задавати складніші алгоритми та здійснювати тонке налаштування автоматизації, що особливо актуально для системних інтеграторів або технічних спеціалістів. Хоча блок-схеми зручні для швидкого

налаштування, текстові сценарії дозволяють ефективніше масштабувати та модифікувати логіку дій, особливо за великої кількості пристроїв.

В якості прикладу може виступати частина коду, яка зображена на рисунку 1.5. В цьому коді реалізовано алгоритм, який вночі за допомоги сенсорів фіксує рух у приміщенні, в результаті чого система може автоматично вмикати світло на 50 % яскравості, якщо воно раніше було вимкнене, або на повну потужність, якщо освітлення перебувало в приглушеному стані.

```

commandArray = {}

hour = (os.date ( '% H'))
if      (Devicechanged [ 'Badrum -Motion'] == 'On' and (hour >= 23 or hour <8) and
otherdevices [ 'Badrum-Belysning'] == 'Off') then
  -   commandArray [ 'Badrum-Belysning'] = 'Set Level 50'
  -   print ( "Badrum Belysning on 50% ")
  -   else
  -   commandArray [ 'Badrum-Belysning'] = 'Set Level 100'
  -   print ( 'Badrum Belysning on 100%' )
end
return commandArray

```

Рисунок 1.5 – Приклад сценарію

Зазвичай сценарії зберігаються локально на контролері, що гарантує їх виконання незалежно від підключення до мережі. Крім того, резервна копія таких сценаріїв синхронізується з хмарним середовищем, відкриваючи можливість віддаленого редагування.

Четвертий рівень реалізовано у вигляді зовнішніх програмних інтерфейсів, зокрема мобільних та хмарних додатків, приклад якого зображено на рисунку 1.6. Попри те, що вони функціонують автономно від внутрішньої архітектури, саме через ці інструменти користувач має змогу контролювати систему. У хмарі зберігається детальна конфігурація житлового простору:

перелік приміщень, їхні характеристики, прив'язані до них пристрої та налаштування сценаріїв.



Рисунок 1.6 – Візуалізація програми для мобільних телефонів і планшетів

Мобільні застосунки для смартфонів і планшетів, синхронізовані з цією інформацією, забезпечують зручне віддалене управління всією інфраструктурою та розширюють можливості користувача щодо оперативного контролю.

Загалом архітектура «Розумного Будинку» охоплює сукупність сенсорів, контролерів, виконавчих модулів, систем зв'язку та програмного забезпечення для моніторингу й керування приклад якого зображено на рисунку 1.7. Кожен компонент виконує визначену функцію, утворюючи єдину автоматизовану екосистему. Сенсори виконують роль «органів чуття», фіксуючи параметри середовища – температуру, вологість, освітлення, наявність диму або руху після чого передають інформацію для подальшої обробки. Такий підхід дозволяє системі гнучко адаптуватися до умов та автоматично реалізовувати запрограмовані сценарії без необхідності постійного втручання людини.



Рисунок 1.7 – Розташування сенсорів і виконавчих пристроїв у системі «Розумний Будинок»

У системі «Розумний Будинок» датчики виконують роль сенсорного елемента, що забезпечує безперервний моніторинг параметрів навколишнього середовища. Вони слугують основним джерелом інформації про стан приміщень, передаючи актуальні дані щодо температури, рівня освітлення, вологості повітря, наявності руху, задимлення та інших критичних показників. Завдяки оперативному збору таких відомостей система здатна адаптувати свою поведінку відповідно до реальних умов або наперед заданих сценаріїв. У результаті забезпечується оптимальний рівень комфорту, підвищується безпека житла та зменшуються витрати на енергоресурси – все це відбувається автоматично, без потреби у безпосередньому втручанні користувача. Приклади датчиків зображено на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Датчики системи «Розумний Будинок»

Виконавчі елементи, у свою чергу, реалізують фізичні дії на основі рішень контролера – це можуть бути відкривання вікон, опускання жалюзі, вмикання освітлення, регулювання подачі води або тепла. Саме ці пристрої забезпечують втілення логіки «Розумного Будинку» у конкретні дії, що значно підвищує рівень автоматизації, комфорту та безпеки для мешканців. Приклади виконавчих елементів зображено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Виконавчі елементи системи «Розумний Будинок»

### 1.3 Аналіз недоліків систем «Розумний Будинок»

Впровадження систем розумного дому супроводжується низкою вагомих викликів, серед яких першочергово вирізняється потреба у значних фінансових витратах на початковому етапі. Інсталяція обладнання, а також подальше технічне обслуговування та періодичне оновлення компонентів формують суттєве навантаження на бюджет користувача, що може вплинути на прийняття рішення про інтеграцію таких технологій у повсякденний побут.

Крім того, складність самої архітектури SmartHome створює додаткові бар'єри: ефективне налаштування й керування системою вимагає від

користувача певного рівня технічної обізнаності. У тих випадках, коли така компетентність відсутня, власник житла може стикнутися з труднощами у щоденному використанні, що знижує доступність технології для ширшого кола споживачів.

Технологічна залежність, характерна для автоматизованих систем, також становить значну проблему. Зокрема, функціонування інтелектуального середовища повністю покладається на стабільність електропостачання, коректність роботи каналів зв'язку та безперебійну взаємодію пристроїв. Будь-який збій, спричинений, наприклад, раптовим відключенням електроенергії або порушенням з'єднання, може призвести до тимчасової недієздатності всієї системи та, відповідно, порушити звичний ритм життя мешканців.

Справжнє занепокоєння викликають питання інформаційної безпеки. Сучасні рішення у сфері SmartHome, зокрема ті, що передбачають використання розумних замків, камер та інших сенсорних пристроїв, потенційно вразливі до кібератак. Відомі прецеденти, коли зловмисники за допомогою спеціального програмного забезпечення отримували несанкціонований доступ до елементів керування або особистих даних користувача. Наявність теоретичних вразливостей у системах біометричної аутентифікації, таких як розпізнавання відбитків пальців, підвищує ризик компрометації конфіденційної інформації та створює додаткові загрози для приватності.

Окрему проблему становить збереження персональних даних. Smart-системи здатні збирати та зберігати великий обсяг інформації про поведінкові моделі користувача, включаючи точні часові відмітки, геолокаційні дані, історію використання пристроїв тощо. У деяких випадках, як, наприклад, при використанні протоколів Bluetooth Low Energy, така інформація передається без належного рівня захисту. Це створює потенційну можливість для стороннього стеження та несанкціонованого аналізу зібраних даних. Дослідники вже зафіксували випадки, коли подібні технології виявляли

ідентифікатори пристроїв, кількість з'єднань, а також рівень заряду акумулятора. Усі ці відомості можуть бути використані для пасивного моніторингу, що викликає обґрунтовану стурбованість з точки зору етичних стандартів і цифрової приватності [14].

#### 1.4 Аналіз існуючих рішень систем автоматизованого керування та побудови жалюзі

Першим аналогом «Розумні жалюзі» є рулонні штори фірми Somfy.

Французька компанія Somfy пропонує окремі приводи та контролери, які встановлюються на рулонні штори, замінюючи стандартний механізм з ланцюжком. Приклад схеми роботи жалюзі зображено на рисунку 1.10.

#### Комплект SOMFY для дротового керування, 24 V або для підключення в «Розумний Будинок»

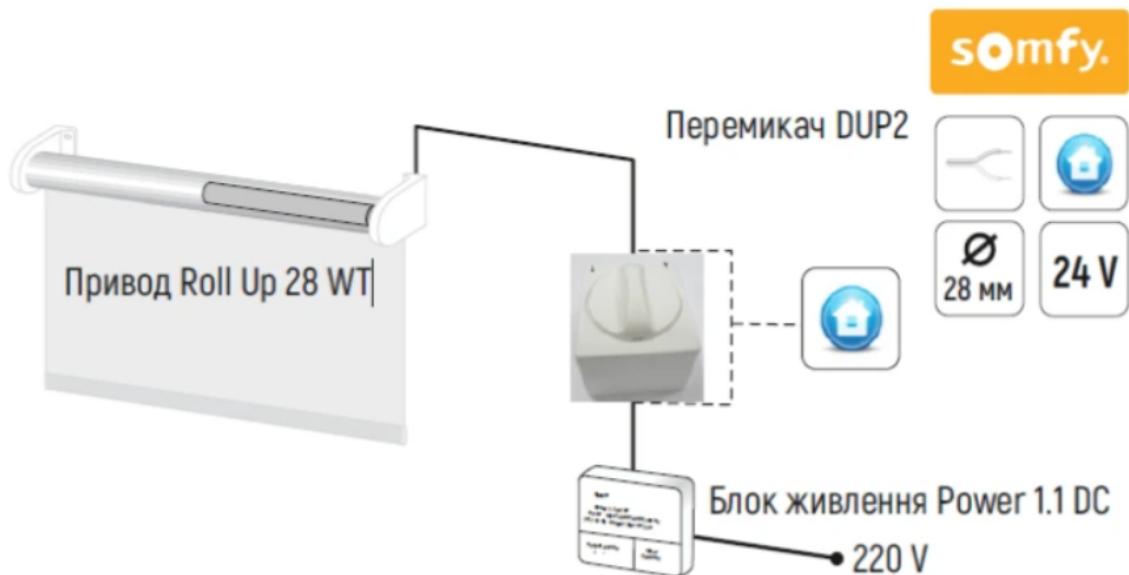


Рисунок 1.10 – Схема роботи рулонних штор Somfy

Керування автоматичними шторами можливе за допомогою радіопультів, дротових та бездротових кнопок, стаціонарних вимикачів, а також систем типу «Розумний Будинок». Є можливість програмування руху

штор залежно від часу доби або рівня природного освітлення в приміщенні [15-16].

Приводи для штор доступні з різними характеристиками вони відрізняються крутним моментом і швидкістю руху. Основною технологією є Zigbee 3.0 – бездротовий протокол для розумного дому, ТаНома: платформа для управління пристроями через мобільний додаток та голосових асистентів.

Станом на 2025 рік, орієнтовна вартість компонентів в Україні становить:

- привід базового рівня – від 5000 грн;
- датчик освітленості SUNIS Wirefree RTS – від 5500 грн;
- дистанційний пульт TELIS 16 RTS приблизно 6000 грн.

Таким чином, базовий комплект «розумного керування» рулонними жалюзі Somfy коштує від 16500 грн, без урахування вартості самих жалюзі та встановлення.

На основі проведеного аналізу існуючих рішень у сфері автоматизованого керування жалюзі було зроблено висновок, що переважна більшість доступних систем орієнтована на середній та високий ціновий сегмент. Вони характеризуються складною інтеграцією, прив'язаністю до конкретних екосистем та потребують значних фінансових витрат. У результаті на ринку спостерігається дефіцит універсальних, доступних за ціною рішень з базовим, але достатнім функціоналом для побутового використання.

Це підтверджує доцільність розробки власного прототипу пристрою, який буде відповідати актуальним вимогам щодо простоти встановлення, функціональної гнучкості та доступності. Такий підхід дозволяє не лише продемонструвати технічну реалізованість ідеї, а й обґрунтувати її потенційну конкурентоспроможність на ринку.

## 1.5 Принцип роботи пристрою

Пристрій являє собою розумну насадку на звичайні жалюзі, яка бере на себе рутинне завдання їхнього відкриття та закриття, роблячи це або за командою з пульта, або повністю самостійно.

Це невеликий модуль, який складається з кількох частин: першою є головний блок з мотором. Невеликий, але досить потужний кроковий двигун кріпиться на стіну або віконну раму поруч із ланцюжком ("ниткою" з кульками), яким зазвичай вручну піднімають й опускають жалюзі.

На вал мотора надівається спеціальна шпуля, надрукована на 3D-принтері. У цієї катушки є жолобок, що ідеально підходить під кульки на ланцюжку в жалюзі. Ланцюжок просто накидається на цю шпулю. Коли мотор обертається, він тягне ланцюжок і, відповідно, піднімає або опускає жалюзі.

Для досягнення поставленої мети дослідження необхідно розробити логіку функціонування системи «Розумні жалюзі», яка має забезпечувати як автоматичне, так і ручне керування рухом штор у вертикальній площині.

Після ввімкнення пристрою система повинна автоматично ініціювати підйом жалюзі у вихідне (паркувальне) положення та перейти до режиму автоматичного керування. Принцип роботи в автоматичному режимі передбачає динамічне регулювання положення жалюзі відповідно до рівня освітленості навколишнього середовища. Коли зовнішня освітленість знижується до визначеного порогового значення (наприклад, у сутінках або вночі), жалюзі мають опускатися, щоб забезпечити конфіденційність і обмежити видимість внутрішнього простору. Навпаки, у разі настання світлового дня або підвищення рівня зовнішнього освітлення, система повинна автоматично піднімати жалюзі для покращення природного освітлення в приміщенні.

У разі спроби керування жалюзі вручну за допомогою відповідних кнопок під час активного автоматичного режиму, система повинна реагувати звуковим сигналом через п'єзовипромінювач. Така індикація виконує функцію

попередження користувача про неможливість здійснення даної дії у поточному режимі.

Для забезпечення повноцінного функціоналу, система повинна також підтримувати ручний режим керування, який активується через інфрачервоний пульт дистанційного керування. Перемикання між автоматичним та ручним режимами здійснюється натисканням відповідної кнопки на пульті, а підтвердження зміни режиму супроводжується звуковим сигналом, характер якого відрізняється залежно від обраного режиму.

У межах ручного режиму необхідно реалізувати алгоритм захисту від повторного виконання однієї й тієї самої дії, якщо жалюзі вже перебувають у відповідному крайньому положенні (максимально підняті або опущені). Така функціональність запобігає зайвому навантаженню на привід і мінімізує ймовірність виникнення аварійних ситуацій, що можуть призвести до механічного зносу або виходу з ладу окремих компонентів системи.

## 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЖАЛЮЗІ

### 2.1 Розробка структурної схеми пристрою

Жалюзі складаються з таких функціональних елементів: електромеханічного приводу (крокового двигуна), системи сенсорів (фоторезистор, кінцевий вимикач), засобів керування (інфрачервоний приймач, пульт дистанційного керування) та контролера (Arduino UNO), що забезпечує взаємодію між усіма компонентами. У якості виконавчого елемента використовується кроковий двигун типу NEMA 17, який приводиться в дію через драйвер A4988.

В результаті проведеного аналізу було побудовано структурну схему пристрою, яка відображає логічні взаємозв'язки між основними апаратними модулями системи. Проектована система автоматизації базується на дротовому з'єднанні між елементами. Структурна схема наведена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою

## 2.2 Вибір електричних компонентів для розумних жалюзі

Контролер є найважливішим елементом системи управління, що приймає на себе одночасно управління виконавчим механізмом, приймачем команд.

Основою модуля контролю лежить застосування мікроконтролера, що представляє собою елемент, наділений функціоналом процесора і периферійного пристрою. До нього можуть входити блоки ОЗП і ПЗП. За фактом, мікроконтролер є найпростішою обчислювальною машиною, здатною самостійно працювати і виконувати команди. Крім ОЗП, мікроконтролер може мати власну вбудовану енергонезалежну пам'ять для зберігання програм і даних. Деякі дешеві контролери мають одноразовий тип пам'яті, застосовують такі контролери в системах, які не будуть у майбутньому оновлюватися. Здебільшого використовують пам'ять із можливістю багаторазового перезапису програми.

Оскільки мікроконтролер являє собою окремий чип, то розміри, вартість і енергоспоживання контролерів з обв'язкою досить малі.

З урахуванням усіх описаних вище можливостей, мікроконтролер є оптимальною базою для побудови системи «Розумні жалюзі». Одночасно з цим має бути можливість для розширення функціоналу в майбутньому, з використанням решти портів вводу/виводу, що залишилися, для задоволення індивідуальних потреб користувача. Таким чином, використання готових плат зведе цю перспективу нанівець, бо друкована плата виступає як готовий продукт, заточений для виконання конкретного завдання в рамках якогось пристрою.

Саме тому було вирішено перейти до вибору повноцінних апаратно-обчислювальних платформ, які не обмежені у функціональності та дають змогу повноцінно використовувати мікроконтролер. Найбільш популярною платформою для розробки є Arduino Uno, зображено на рисунку 2.2. Відмінною рисою цього продукту є величезний функціонал, велика кількість

доступних програмних продуктів. Ця платформа має розмір, який можна порівняти за розмірами з банківською картою, а то й менше.



Рисунок 2.2 – Arduino UNO

Arduino Uno – флагманська платформа для розробки на базі мікроконтролера ATmega328P.

Плата містить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можуть використовуватись як ШІМ-виходи), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньосхемного програмування (ICSP) та кнопка скидання. Для початку роботи з пристроєм досить просто подати живлення або підключити його до ПК за допомогою кабелю USB.

Плата Arduino UNO R3 доступна у двох варіантах комплектації. У першому випадку постачається лише сама плата без кабелю для підключення, що доцільно для користувачів, які вже мають відповідний USB-кабель. У другому варіанті передбачено наявність високоякісного USB-кабелю у комплекті, що забезпечує зручне та швидке підключення пристрою до персонального комп'ютера [32].

Для підключення комп'ютера і програмування мікроконтролера в плату Arduino Uno вбудований перетворювач інтерфейсу USB в логіку TTL (USB to

TTL converter). Цю функцію на платі виконує мікроконтролер ATmega16U2 [31].

Серцем платформи Arduino Uno є 8-бітний мікроконтролер сімейства AVR – ATmega328P.

Мікроконтролер ATmega16U2 виконує функцію інтерфейсу обміну даними між основним мікроконтролером ATmega328P та USB-портом персонального комп'ютера. У процесі підключення плати Arduino Uno до комп'ютера вона автоматично розпізнається як віртуальний COM-порт. Завдяки наявній прошивці мікросхеми ATmega16U2 використовуються стандартні драйвери USB-COM, що усуває необхідність встановлення стороннього програмного забезпечення.

Система живлення плати реалізована через кілька контактів, що дозволяють гнучке налаштування під конкретні умови експлуатації. Контакт VIN забезпечує подачу напруги від зовнішнього джерела живлення, не пов'язаного зі стабілізованими 5 В від USB або внутрішніх стабілізаторів. Через цей контакт також можливе споживання струму, якщо використовується зовнішній адаптер. Контакт 5V забезпечується напругою 5 В від вбудованого стабілізатора плати, яка використовується для живлення мікроконтролера ATmega328P. Пряме підключення живлення до цього контакту не рекомендоване, оскільки в такому випадку стабілізатор напруги оминається, що може призвести до пошкодження пристрою. Контакт 3.3V подає стабілізовану напругу 3,3 В, при цьому максимально допустимий струм становить 50 мА. Контакти GND забезпечують спільну точку з'єднання («землю») для всіх вузлів плати. Контакт IOREF використовується для інформування плат розширення про рівень робочої напруги мікроконтролера, що дозволяє автоматично адаптуватися до значення 3,3 В або 5 В за допомогою вбудованих перетворювачів рівнів [32].

Плата Arduino Uno оснащена цифровими входами/виходами, представленими пін-контактами від 0 до 13. Логічний рівень сигналів відповідає 5 В для одиниці та 0 В для нуля. Максимальний струм, який може

подаватися на вихід, становить 40 мА. Всі порти мають внутрішні підтягувальні резистори, які за замовчуванням вимкнені, але можуть бути активовані програмно. Частина пінів (3, 5, 6, 9, 10, 11) підтримує виведення широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) з 8-бітною розрядністю, що дозволяє генерувати аналогові сигнали за допомогою цифрових засобів.

Аналогові входи (АЦП) представлені пін-контактами А0–А5. Кожен із них здатен вимірювати аналогову напругу та перетворювати її у цифровий сигнал розрядністю 10 біт (1024 рівні квантування). Для реалізації зв'язку з периферійними пристроями через протоколи синхронної серійної передачі даних передбачено пари пінів SDA/SCL (TWI/I<sup>2</sup>C) та MOSI/MISO/SCK/SS (SPI). Для роботи з шиною I<sup>2</sup>C використовується бібліотека Wire, для SPI – бібліотека SPI. SPI піни 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), 13(SCK).

Окремо реалізовано підтримку UART-комунікації через піни 0(RX) та 1(TX), які апаратно пов'язані з мікроконтролером ATmega16U2, що виконує функції перетворювача USB–UART і забезпечує передачу даних між Arduino та зовнішніми пристроями або ПК через інтерфейс Serial.

Живлення та прошивка плати Arduino Uno здійснюється через роз'єм USB типу B або через роз'єм для зовнішнього джерела живлення з рекомендованим діапазоном напруги від 7 В до 12 В. Для програмування мікроконтролерів ATmega328P та ATmega16U2 використовується інтерфейс ICSP (In-Circuit Serial Programming), контакти якого також дублюють SPI-лінії на цифрових пін-контактах 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO) і 13(SCK), що дозволяє інтегрувати плату до складніших периферійних конфігурацій [31–34]. Pinout Arduino UNO зображено на рисунку 2.3.

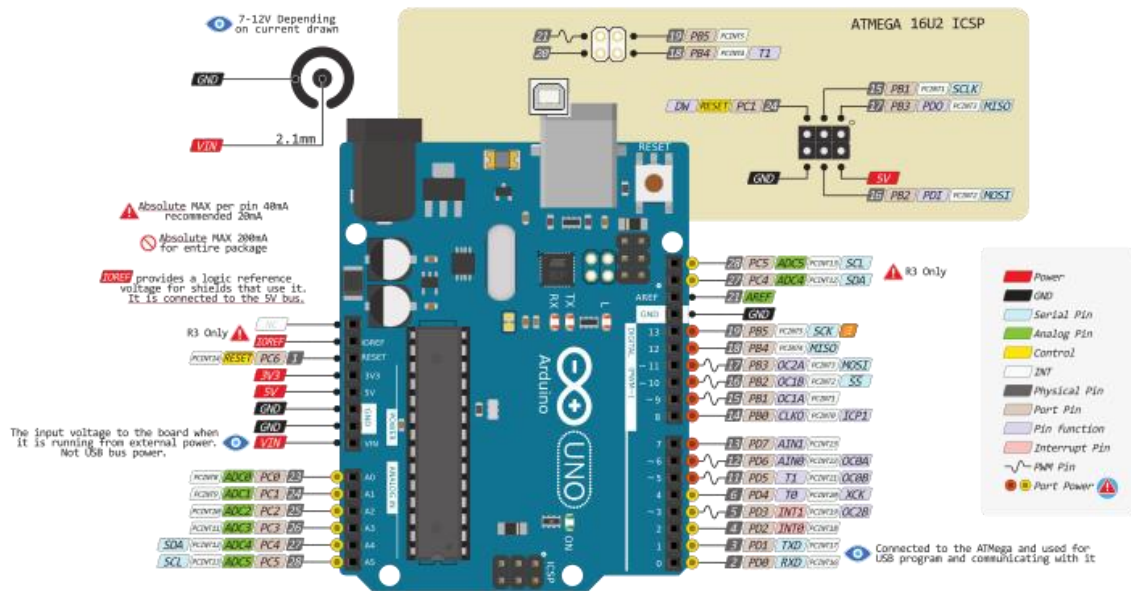


Рисунок 2.3 – Pinout плати Arduino UNO

Обраний мікроконтролер ATmega328 характеризується достатнім рівнем продуктивності для реалізації задач автоматизованого керування. Основні характеристики мікроконтролера ATmega328 зведені у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики мікроконтролера ATmega328

Параметр	Значення
Тип мікроконтролера	ATmega328
Тактова частота	16 МГц
Напруга логічних рівнів	5 В
Діапазон вхідної напруги живлення	7–12 В
Кількість портів введення-виведення	20
Об'єм енергонезалежної пам'яті (EEPROM)	1 КБ
Об'єм оперативної пам'яті (SRAM)	2 КБ
Габаритні розміри	69 мм × 53 мм

Arduino Uno була обрана саме тому, що це одна з найпопулярніших і найзручніших платформ для розробки вбудованих систем. Мікроконтролер ATmega328P забезпечує достатню обчислювальну потужність, великий набір

інтерфейсів введення/виведення (I/O), підтримку аналогових і цифрових сигналів, та має низьке енергоспоживання. Також платформа має величезну спільноту, велику кількість бібліотек і прикладів коду, що значно полегшує розробку.

Фоторезистор являє собою чутливий напівпровідниковий елемент, електричний опір якого змінюється залежно від інтенсивності світлового випромінювання, що потрапляє на його активну поверхню. Його робота ґрунтується на фотоефекті, при якому збільшення освітлення спричиняє зменшення опору елемента.

До ключових параметрів фоторезистора належить темновий опір – величина, що характеризує електричний опір за умов повної відсутності освітлення. Водночас світловий опір демонструє значення опору за визначеної інтенсивності світла. Час відгуку є ще однією важливою характеристикою, що визначає швидкість, з якою фоторезистор реагує на зміну умов освітлення. Цей параметр особливо критичний у динамічних системах керування, де необхідна миттєва реакція на зміну зовнішнього середовища.

Окрім того, значну роль відіграє спектральна чутливість, яка відповідає за залежність ефективності перетворення світлового сигналу від довжини хвилі. Саме вона визначає, в якому діапазоні спектра фоторезистор найефективніше реагує на зміну освітлення, що важливо при виборі елемента для конкретного застосування [17]. Зовнішній вигляд фоторезистору зображено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Фоторезистор FR28/500K (VT83N2)

Характеристики фоторезистора:

- тіньовий опір: 500 кОм;
- робоча температура:  $-40\dots+85$  °С;
- маса брутто: близько 0,38 г;
- опір за 10 люкс:  $24 \pm 12$  кОм.

Один з виводів фоторезистора під'єднується до джерела живлення з напругою +5 В, тоді як другий – до аналогового входу мікроконтролера, оснащеного аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП). До цієї ж точки підключення приєднується резистор опором 10 кОм, інший кінець якого заземлено – він з'єднаний із нульовим потенціалом системи. Така конфігурація елементів створює напругодільник, який дозволяє перетворювати зміну освітленості в відповідну електричну напругу.

Було обрано фоторезистор FR28/500K (VT83N2), тому що він простий у реалізації, недорогий і енергоефективний компонент, що ідеально підходить для визначення моменту автоматичного підйому/опускання жалюзі залежно від зовнішнього освітлення. Ця модель фоторезистора у конфігурації дільника напруги видає аналоговий сигнал у діапазоні 0–5 В, що повністю відповідає входу АЦП Arduino (розрядність 10 біт).

Принцип дії цієї схеми базується на здатності фоторезистора змінювати свій електричний опір у відповідь на інтенсивність світлового випромінювання. Із зростанням яскравості освітлення опір фоторезистора зменшується, що спричиняє відповідне підвищення напруги в точці поділу між ним та резистором. Ця напруга, яка подається на вхід мікроконтролера, прямо залежить від рівня освітленості. У подальшому мікроконтролер здійснює перетворення аналогового сигналу на цифрове значення, яке може бути використано в алгоритмах керування – наприклад, для автоматичного регулювання яскравості освітлення або положення жалюзі [26-28].

Фоторезистор буде використовуватися для визначення яскравості освітленості в автоматичному режимі, так мікроконтролер розумітиме, коли потрібно піднімати або опускати жалюзі.

Кінцевий вимикач є механічним елементом, функціонування якого засноване на спрацюванні натискної планки, що приводить у дію кнопку. Пристрій оснащено трьома контактами: загальним (С), нормально замкнутим (NC) та нормально розімкнутим (NO). До загального контакту – С – підключають потенціал "землі", тоді як контакти NC і NO забезпечують два стандартних режими комутації. У нормальному (неактивованому) стані замкненим залишається контакт NC, а NO – розімкнутим. При натисканні кнопки ситуація змінюється: NC розмикається, а NO – замикається. Така логіка роботи дозволяє використовувати кінцеві вимикачі як інформативні елементи у системах автоматичного контролю або захисту. Кінцевий вимикач зображений на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Кінцевий вимикач KW4-3Z-3-P

Характеристики кінцевого вимикача:

- довжина важеля: 15 мм;
- хід кнопки: 1 мм;
- хід важеля: 3,5 мм [18].

Механічний кінцевий вимикач використовується як фізичний обмежувач для фіксації граничного положення жалюзі. Він гарантує відновлення правильного положення системи після перезавантаження або знеструмлення. Жалюзі буде їхати в бік кінцевого вимикача, поки не натисне його, відповідно це буде саме крайнє верхнє положення жалюзі. Простота, надійність і висока точність спрацювання є основними перевагами та

механічний контакт, що перемикається між HIGH/LOW, ідеально читається цифровими входами Arduino. Тому щодо всіх вищезазначених характеристик кінцевий вимикач KW4-3Z-3-P є найбільш підходящим для цієї конструкції.

П'єзокерамічні звукові випромінювачі, або п'єзодинаміки, – це акустичні компоненти, принцип дії яких базується на п'єзоелектричному ефекті, тобто здатності деяких матеріалів змінювати форму під впливом електричного поля, створюючи при цьому звукові коливання. Завдяки цій властивості п'єзовипромінювачі широко застосовуються в різноманітній електроніці: будильниках, мобільних телефонах, дитячих іграшках, побутових приладах, а також у системах сигналізації.

Використання п'єзовипромінювачів звуку для різноманітних сповіщень під час роботи обладнання виправдане через їхню низьку вартість і мале споживання енергії. Порівняно з традиційними електромагнітними перетворювачами звуку, п'єзовипромінювачі мають просту конструкцію, а тому й низьку вартість.

Для забезпечення працездатності необхідно під'єднати до цифрового входу та заземлити, залежно від частоти цифрового сигналу, отриманого на вхід, видається звук. П'єзовипромінювач зображений на рисунку 2.6.

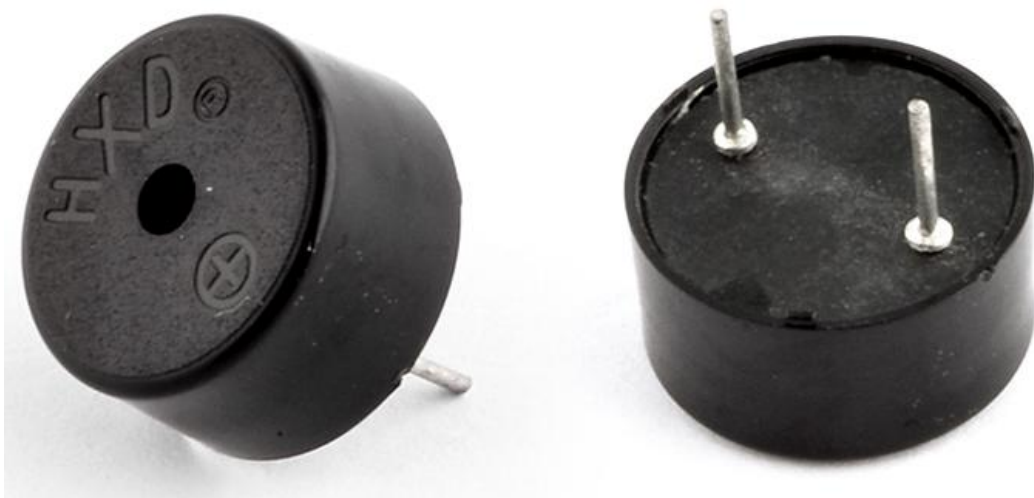


Рисунок 2.6 – П'єзовипромінювач звуку НРА17А

Технічні характеристики п'єзовипромінювача:

- робоча напруга: від 3,3 В до 5 В;
- номінальне споживання струму: 5 мА;
- інтенсивність:  $\geq 80$  дБ;
- номінальна частота:  $4000 \pm 500$  Гц;
- робочий діапазон температур: від  $-20$  °С до  $+85$  °С;
- ємність: 15 нФ [19].

В якості п'єзовипромінювача був обран саме НРА17А, тому що він працює в діапазоні 3.3–5 В, керується цифровим ШІМ-сигналом, який Arduino формує на відповідному піні без додаткових апаратних засобів.

Інфрачервоний приймач є простим та бюджетним варіантом для приймання інфрачервоного сигналу. Інфрачервоний приймач зображений на рисунку 2.7. Пристрій ідеально підходить для дистанційного керування в межах прямої видимості та на невеликій відстані. Він сумісний із пультами більшості виробників побутової техніки, що робить його універсальним рішенням для цієї системи автоматизації жалюзі.



Рисунок 2.7 – ІЧ-приймач VS1838

Характеристики інфрачервоного приймача:

- напруга живлення (приймач): 2,7–5,5 В;
- максимальна дальність дії: 20 м;
- струм: не більше 1,5 мА;

- робоча частота: 38 кГц;
- кут огляду: 90 градусів [24].

Модуль обладнаний трьохпіновим роз'ємом стандарту 2,54 мм. «-» під'єднується до виводу GND та «+» підключається до виводу +5V, S під'єднується до цифрового виводу.

Сигнал, що формується на виході OUT інфрачервоного приймача, має вигляд цифрової імпульсної послідовності, що істотно полегшує його обробку мікроконтролерами, зокрема Arduino Uno. Це забезпечує зручну інтеграцію приймача у мікроконтролерні системи, де інфрачервоні команди приймаються у цифровому вигляді та можуть бути ефективно інтерпретовані програмним забезпеченням для подальшого керування виконавчими елементами, а протокол NEC підтримується бібліотекою IRremote, що забезпечує коректну обробку команд із пульта.

Інфрачервоні модулі подібного типу зазвичай використовуються у системах дистанційного керування в рамках автоматизованих проєктів, які потребують бездротової передачі команд. Завдяки своїм компактним розмірам, високій енергоефективності, простоті підключення та високій надійності, модуль VS1838B набув широкого поширення серед розробників електронних пристроїв. Його універсальність, сумісність із різними мікроконтролерними платформами та підтримка стандартних протоколів інфрачервоного зв'язку, таких як NEC, забезпечують ефективну реалізацію керувальних функцій як у побутовому, так і в промисловому середовищі [25].

Модуль Proto Shield являє собою компактну макетну плату, призначену для розробки та тестування схемотехнічних рішень, орієнтованих на використання з апаратною платформою Arduino. Його конструкція відповідає стандартним габаритам модуля Arduino, що забезпечує повну сумісність при встановленні. Плата оснащена штировими контактами, які вставляються у відповідні роз'єми мікроконтролерної плати, а також має кнопку скидання. Завдяки розміщеним по краях з'єднувачам поверх Arduino Proto Shield можуть

бути встановлені інші модулі, що суттєво розширює можливості системи. Зображений на рисунку 2.8.

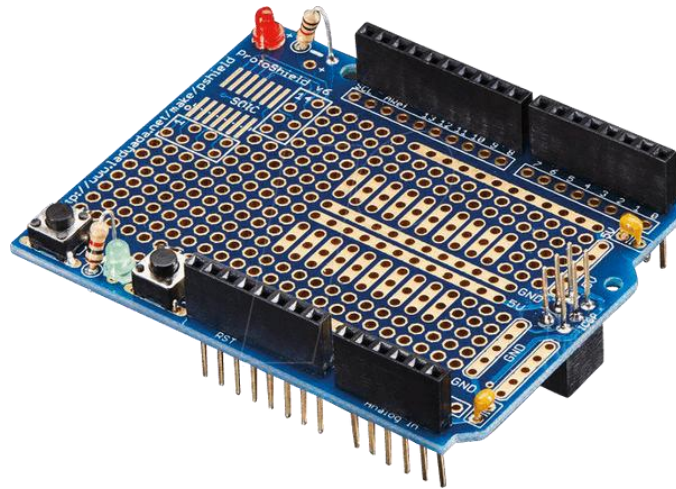


Рисунок 2.8 – Proto shield

Габаритні розміри плати становлять 68,6 мм × 53,3 мм, при цьому конструктивно передбачено три монтажні отвори для надійного закріплення. Практично вся поверхня пристрою вкрита отворами, призначеними для монтажу радіокомпонентів шляхом пайки. Плата містить спеціально відведені зони для встановлення мікросхем у корпусах типу DIP і SMD. Окрім кнопки скидання, Arduino Proto Shield додатково оснащено ще однією кнопкою, яку можна використовувати у власних схемах розробника. Також на платі розміщено два індикаторні світлодіоди – червоного та зеленого кольору, кожен з відповідним резистором..

Використання даної макетної плати необхідне виключно для компактності та зручності монтажу [29-30].

Драйвер крокового двигуна A4988 розроблений для роботи з біполярними кроковими двигунами, що потребують живлення в діапазоні від 8 В до 35 В та споживають струм до 2 А на кожному з обмоток. Основою пристрою є мікросхема A4988 виробництва компанії Allegro. Завдяки своїй конструктивній простоті, широкому функціональному потенціалу й зручності інтеграції, даний драйвер здобув велику популярність серед розробників у

таких галузях, як робототехніка, числове програмне керування (ЧПК) та адитивне виробництво, зокрема у 3D-друку. Зовнішній вигляд зображено на рисунку 2.8.

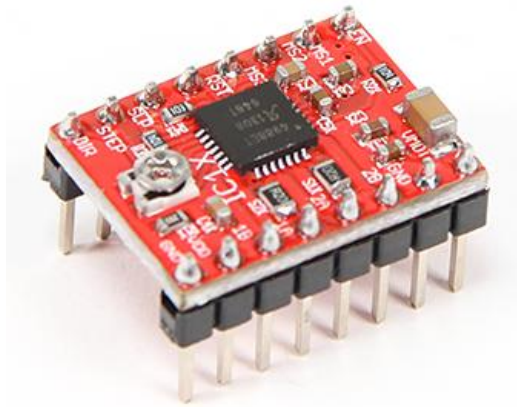


Рисунок 2.9 – Драйвер крокового двигуна A4988 Arduino

Драйвер крокового двигуна A4988 сумісний з усіма типами плат керування Arduino [21].

Як і в більшості драйверів крокових двигунів, силова частина чіпа A4988 являє собою здвоєний H міст на польових транзисторах, але більший інтерес представляє логічна частина чіпа. Драйвер дає змогу вибирати розмір кроку: 1/1(повний крок), 1/2, 1/4, 1/8 і 1/16 [23]. Незважаючи на [23], пристрій відповідає сучасним вимогам до компактних драйверів. Чип оснащений безліччю схем захистів, що відключають його в разі: перегріву [21], перевантаження за струмом, короткого замикання і зниженого живлення. У комплект входить радіатор охолодження [22], а також плата обладнана припаяною штифтовою колодкою для зручності підключення. Чип автоматично обирає режим загасання струму (повільний/швидкий) і дає змогу обмежувати максимальний вихідний струм двигуна.

Основою конструкції модуля є мікросхема A4988. Призначення контактів драйвера крокового двигуна A4988 наведено на рисунку 2.10. Пристрій забезпечує роботу в широкому діапазоні напруг живлення – від 8 В до 35 В. A4988 може приймати TTL-сумісні сигнали керування (3–5 В), що

відповідає вихідним сигналам Arduino Uno і є придатним для цієї системи розумних жалюзей.

Така специфікація дозволяє досягти високої потужності на виході та забезпечує можливість керування одним біполярним кроковим двигуном з максимально допустимим струмом до 2 А на фазу, що робить його придатним для двигунів типу NEMA 17 [23].

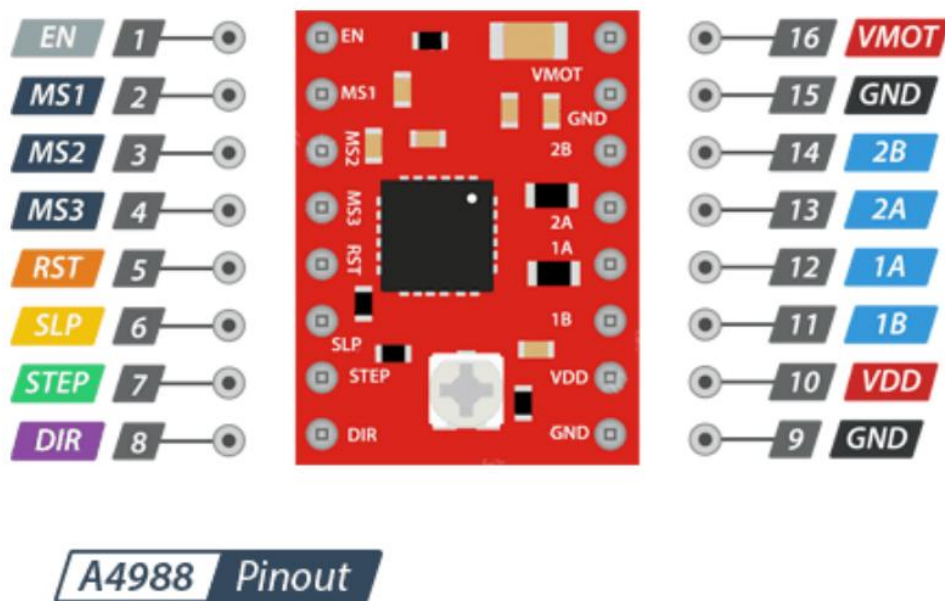


Рисунок 2.10 – Призначення виводів драйвер крокового двигуна A4988

Драйвер A4988 оснащено двома основними керуючими входами – STEP і DIR. Вхід STEP відповідає за реалізацію мікрокрокового режиму роботи двигуна: кожен імпульс, поданий на цей вивід, спричиняє переміщення ротора на одну позицію відповідно до встановленого режиму мікрокрокування, що задається за допомогою виводів MS1, MS2 і MS3. Зі збільшенням частоти імпульсів зростає і швидкість обертання двигуна. Вхід DIR забезпечує вибір напрямку обертання: при подачі високого логічного рівня ротор обертається за годинниковою стрілкою, тоді як при низькому – у протилежному напрямку [23].

### 2.3 Вибір виконавчих пристроїв і розробка елементів механіки

Як основний виконавчий механізм з підйому/опускання жалюзі слугує кроковий двигун типу Nema 17, а саме 17HS4401. Завдяки використанню крокового двигуна вдається досягти точності позиціонування, тому що функціонал пристрою надалі планується розширювати, додаючи підтримку інших алгоритмів роботи з різними видами жалюзі: жалюзі день/ніч, вертикальні жалюзі, горизонтальні жалюзі; І для їхньої роботи потрібне орієнтування в положенні.

Кроковий двигун (КД) з фланцем 42 мм (NEMA17) – привід серії 17HS4401 з високим крутним моментом, здатний повертатися на задану кількість кроків. повний оберт розбитий на 200 кроків  $1,8^\circ$ .

Кроковий двигун NEMA 17 (17HS4401) був обраний як виконавчий механізм завдяки оптимальному поєднанню крутного моменту, точності позиціонування та сумісності з доступними драйверами (A4988). Його фланець  $42 \times 42$  мм і стандартний вал діаметром 5 мм роблять його зручним для механічної інтеграції з елементами керування рулонними жалюзі.

Кут кроку  $1,8^\circ$  (200 кроків на оберт) забезпечує достатню точність для плавного та контрольованого підйому або опускання жалюзі, навіть без використання енкодерів. Номінальний струм 1,68 А дозволяє ефективно керувати двигуном за допомогою драйвера A4988 без потреби у складному охолодженні чи посиленому живленні.

Важливою перевагою NEMA 17 є високий крутний момент до  $0,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , чого цілком достатньо для приводу побутових жалюзі з урахуванням опору механіки та маси. Крім того, цей тип двигуна широко підтримується середовищем Arduino та бібліотекою AccelStepper, що значно спрощує програмну реалізацію.

Таким чином, двигун NEMA 17 обрано як оптимальний варіант за технічними характеристиками, механічною сумісністю, надійністю та

поширеністю, що робить його найкращим рішенням для системи керування автоматизованими жалюзі в умовах проєкту.

Технічні характеристики:

- кутовий крок:  $1,8^\circ \pm 5\%$  (1 оборот – 200 кроків);
- число фаз: 2;
- діапазон робочих температур:  $-20^\circ\text{C} / +85^\circ\text{C}$ ;
- номінальний струм: 1,68 А;
- опір фази: 1,65 Ом;
- індуктивність фази: 2,8 мГн;
- крутний момент: 0,54 Н·м;
- момент утримання: 0,27 Н·м;
- діаметр вала: 5 мм;
- довжина вала: 24 мм;
- роз'єм 4 PIN довжина 70 см;
- габарити корпусу: 42 мм × 42 мм × 48 мм (Nema 17);
- маса: 0,35 кг.

Для передавання крутного моменту з крокового двигуна на ланцюжок жалюзі було змодельовано і роздруковано на 3D-принтері елемент конструкції жалюзі в програмі САПР/CAD/CAE Autodesk Fusion 360. Деталь фіксується на вал мотора, а ланцюжок надягається на окружність. Намодельовану деталь зображено на рисунку 2.11.

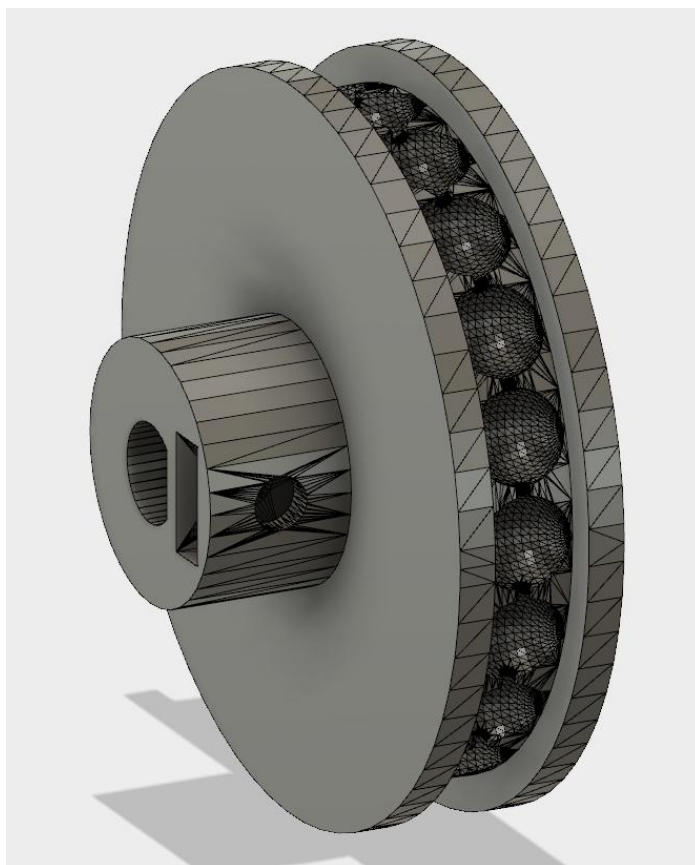


Рисунок. 2.11 – Шпуля для ланцюжка

Для кріплення мотора безпосередньо до стіни також використовується роздрукована деталь. Зображено на рисунку 2.12.

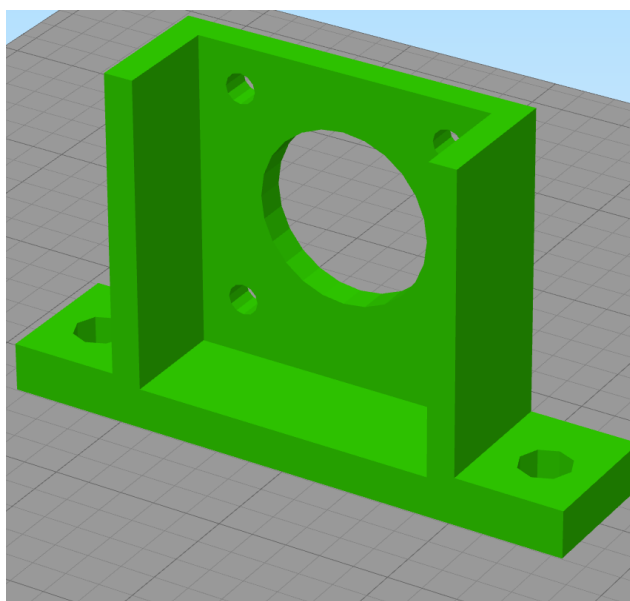


Рисунок 2.12 – Кріплення крокового двигуна

Кінцевий вимикач було прийнято розміщувати зверху, щоб він спрацьовував, коли жалюзі піднімуться.

Необхідно це для коректного функціонування після аварійного вимкнення електрики. Адже якщо його не ставити, то довелося б реалізувати щоразу ручне регулювання штор у потрібне положення після вимкнення живлення.

У прототипі кінцевий вимикач необхідно було змістити для коректного спрацьовування в бік центру від стійки, тому було розроблено проставку, показану на рисунку 2.13.

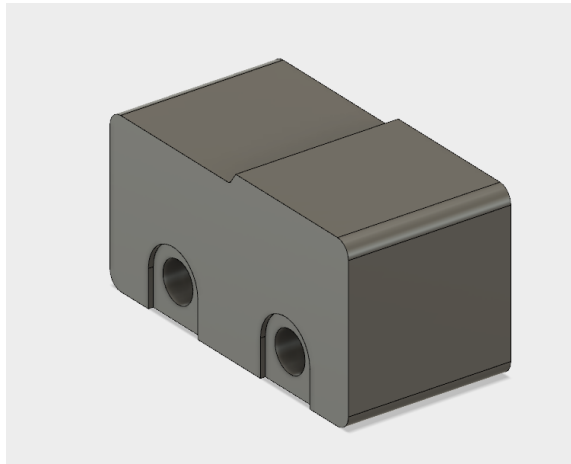


Рисунок 2.13 – Проставка для кінцевого вимикача

Для кріплення фоторезистора змодельовано корпус, який був закріплений на стійці в напрямку «вулиці». Корпус зображено на рисунку 2.14.

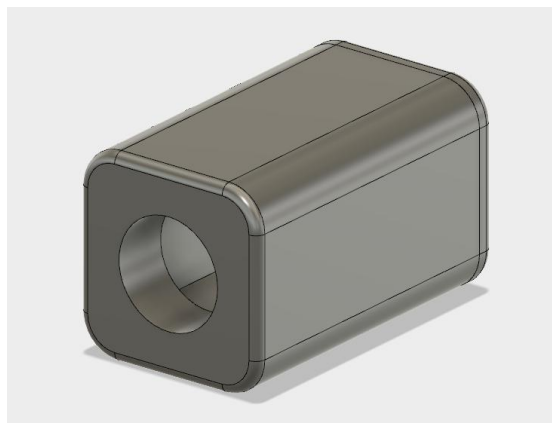


Рисунок 2.14 – Корпус для фоторезистора

Так само для прототипу використовувалося кріплення для Arduino UNO, показане на рисунку 2.15.

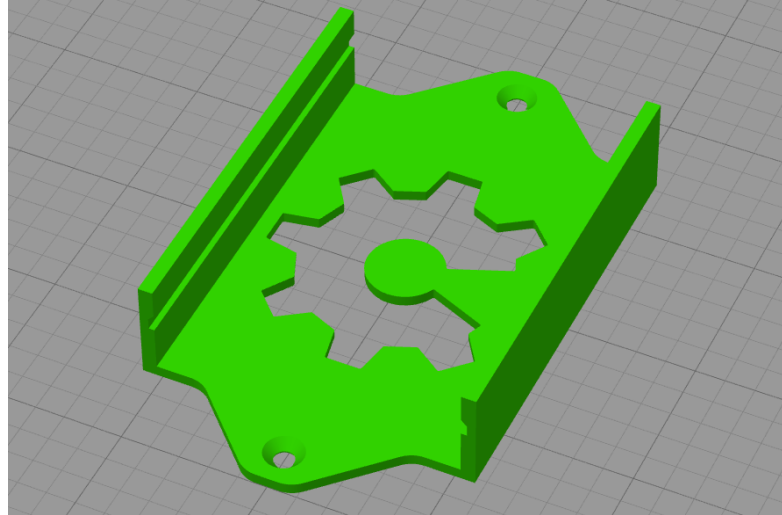
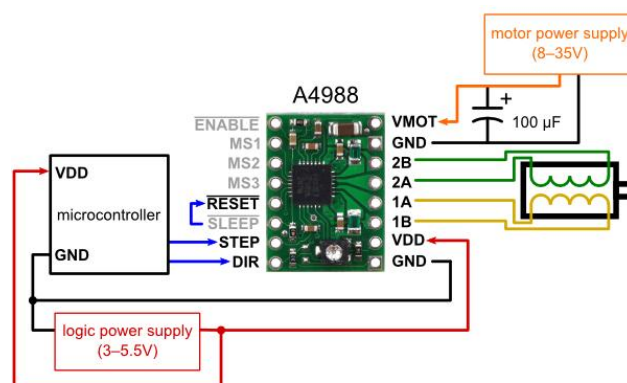


Рисунок 2.15 – Кріплення для Arduino UNO

#### 2.4 Побудова схеми підключення

Для демонстрації електричних з'єднань між основними компонентами системи було використано графічне середовище проєктування електроніки Fritzing. Цей інструмент дозволяє наочно візуалізувати поетапне підключення елементів до мікроконтролера Arduino UNO з урахуванням реального вигляду компонентів, що значно полегшує розуміння логіки побудови схеми.

Підключення модуля драйвера крокового двигуна A4988 наведено на рисунку 2.16.



- ENABLE – увімкнення/вимкнення драйвера;
- MS1, MS2, MS3 – контакти для встановлення мікрокроку, під'єднані до +5 В для роботи в режимі мікрокроку 1/16;
- RESET – скидання мікросхеми, під'єднано перемичкою до контакту SLEEP;
- STEP – генерація імпульсів для руху двигуна (кожен імпульс – один крок), дозволяє регулювати швидкість; підключено до 10-го піна Arduino;
- DIR – вибір напрямку обертання; підключено до 11-го піна Arduino;
- VMOT – живлення двигуна; під'єднано до +9 В;
- GND – загальний (маса); під'єднано до GND;
- 2B, 2A, 1A, 1B – виводи для підключення обмоток крокового двигуна;
- VDD – живлення мікросхеми; під'єднано до +5 В від стабілізатора Arduino

Рисунок 2.16 – Pinout драйвера A4988

Між VMOT і GND під'єднано конденсатор ємністю 100 мкФ, оскільки драйвер дуже чутливий до стрибків напруги живлення двигуна, тому виробник рекомендує встановлювати електролітичний конденсатор великої ємності живлення для згладжування стрибків. Підключення драйвера зображено на рисунку 2.17.

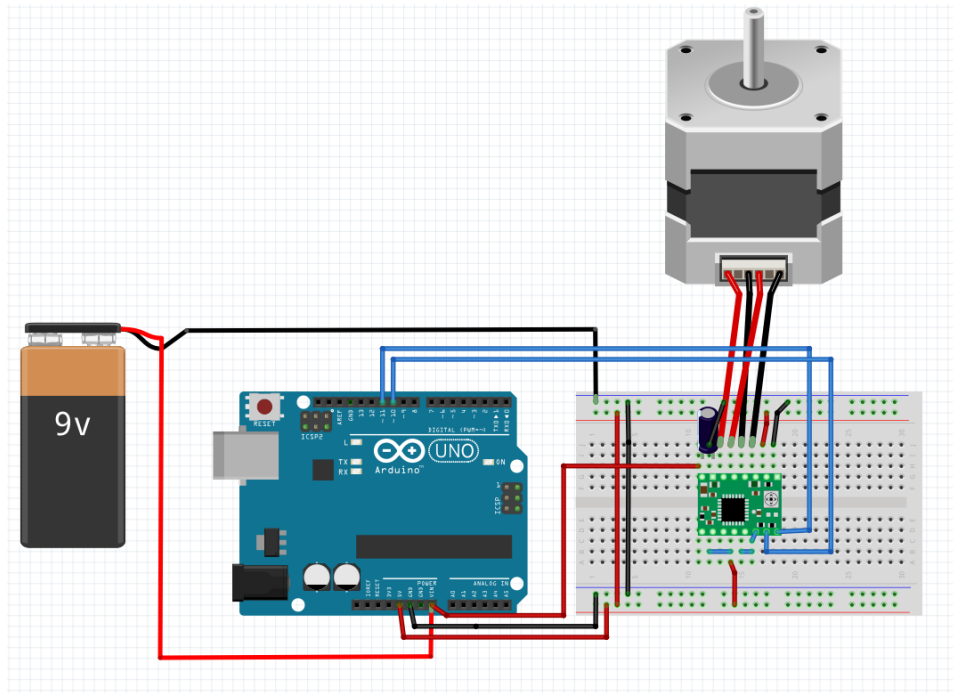


Рисунок 2.17 – Підключення драйвера A4988

Підключення кінцевого вимикача:

- C – GND;
- NO – 2 pin Arduino.

Схема підключення зображена на рисунку 2.18.

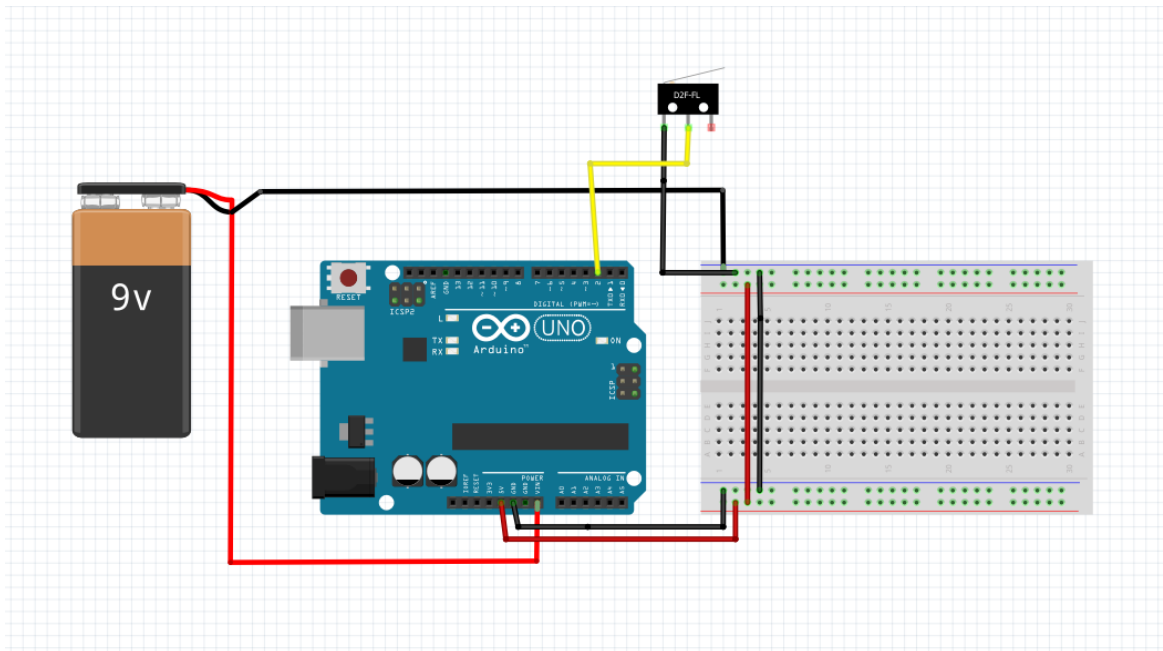


Рисунок 2.18 – Підключення кінцевого вимикача

Підключення фоторезистора:

- 1 контакт – підключається до +5V;
- 2 Контакт підключається до pin A0 Arduino і підтягується резистором 220 Ом до GND.

Схема підключення зображена на рисунку 2.19.

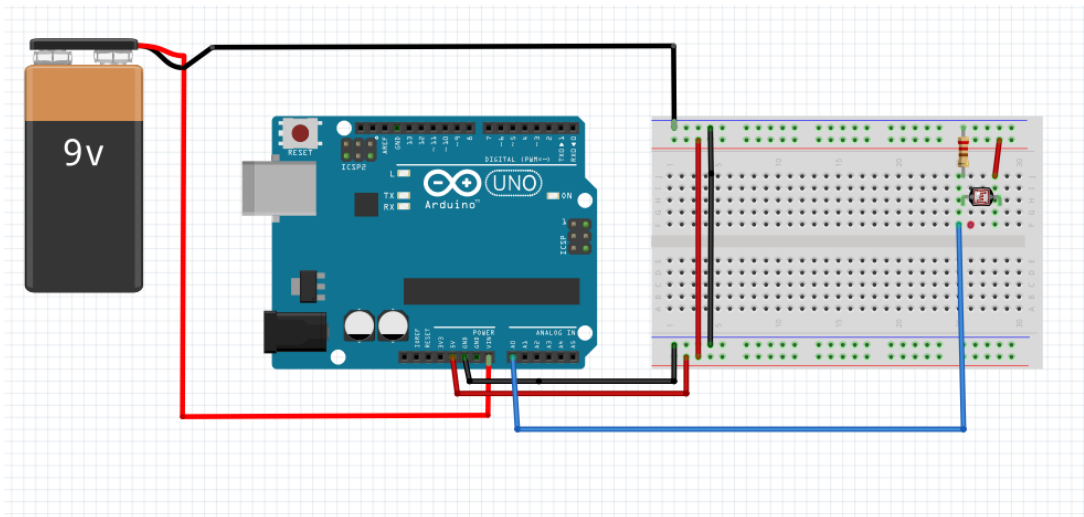


Рисунок 2.19 – Підключення фоторезистора

Підключення п'єзовипромінювача звуку НРА17А, зображена на рисунку 2.20.

- OUT контакт – підключається до pin 5 Arduino;
- GND контакт – підключається до GND.

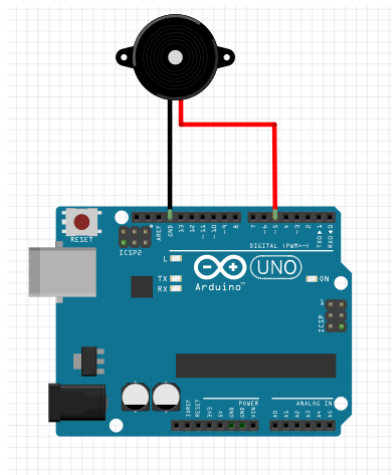


Рисунок 2.20 – Підключення п'єзовипромінювача

Pinout ІЧ приймача зображена на рисунку 2.21.

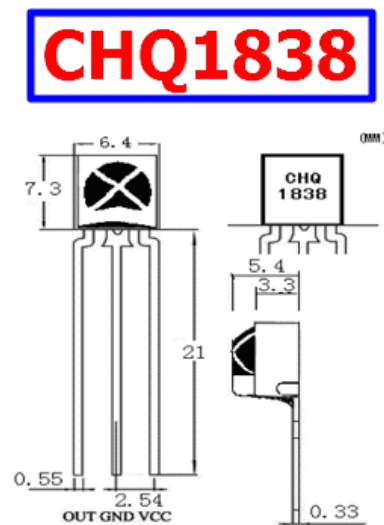


Рисунок 2.21 – Pinout ІЧ приймача

- OUT – підключається до pin 3 Arduino;
- GND – підключається до GND;
- VCC – підключається до +5V.

Наочна схема підключення зображена на рисунку 2.22.

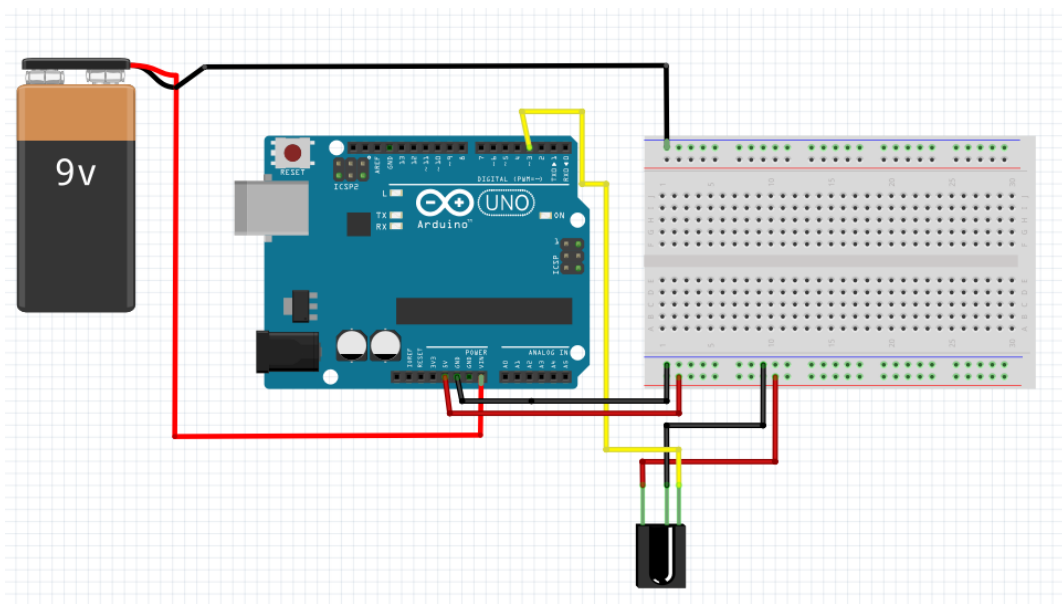


Рисунок 2.22 – Підключення ІЧ приймача

Загальна схема підключення зображена на рисунку 2.23.

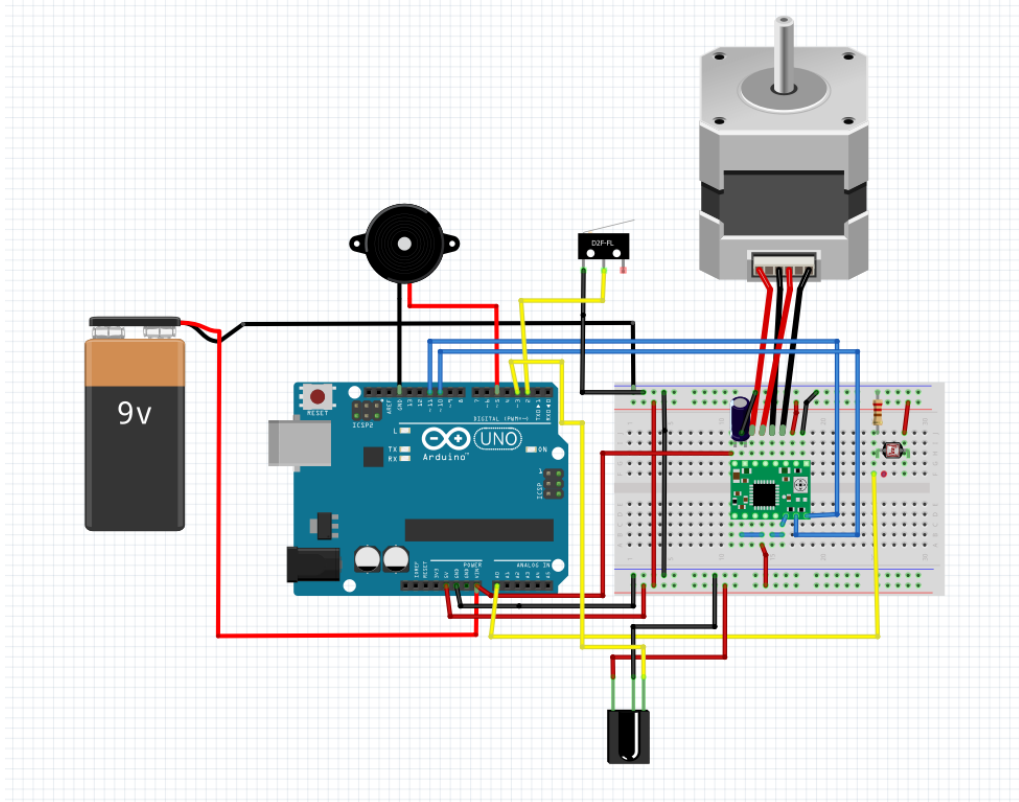


Рисунок 2.23 – Загальна схема підключення модулів пристрою

Arduino приймає живлення через VIN (7–12 В), а A4988 через окрему лінію VMOT (8–35 В). Всі інші компоненти живляться від 5 В, які надає стабілізатор Arduino або зовнішнє джерело.

### 3 РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ ПРИСТРОЮ

#### 3.1 Алгоритм програмного засобу для керування розумними жалюзіями

Для розробки програмного забезпечення необхідно розробити алгоритм програми, який включає в себе всі необхідні операції, що дозволять контролювати освітлення.

Для розробки програмного забезпечення необхідно побудувати алгоритм роботи пристрою, який охоплює всі операції, що забезпечують контроль за рівнем освітленості та станом жалюзі. Алгоритм передбачає як ручне, так і автоматичне керування залежно від зовнішніх умов та команд користувача.

Після ініціалізації бібліотек здійснюється перевірка кінцевого датчика. У разі його спрацювання мотор піднімає жалюзі. Далі система очікує сигнал з інфрачервоного приймача та виконує одну з дій:

- підйом жалюзі, якщо вони опущені й активовано ручний режим; подається звуковий сигнал, відбувається підйом жалюзі, фіксується прапорець «жалюзі підняті»; за відсутності умов подається лише попереджувальний сигнал;

- опускання жалюзі, якщо вони підняті й активовано ручний режим; подається звуковий сигнал, виконується опускання, фіксується прапорець «жалюзі опущені»; інакше подається попередження;

- у разі активного автоматичного режиму зчитується рівень освітленості; за темряви та піднятих жалюзі вони автоматично закриваються; при освітленні й опущених жалюзі – відкриваються;

- перемикання між режимами супроводжується коротким звуковим сигналом для ручного режиму та довгим – для автоматичного.

Алгоритм зображений на рисунку 3.1.

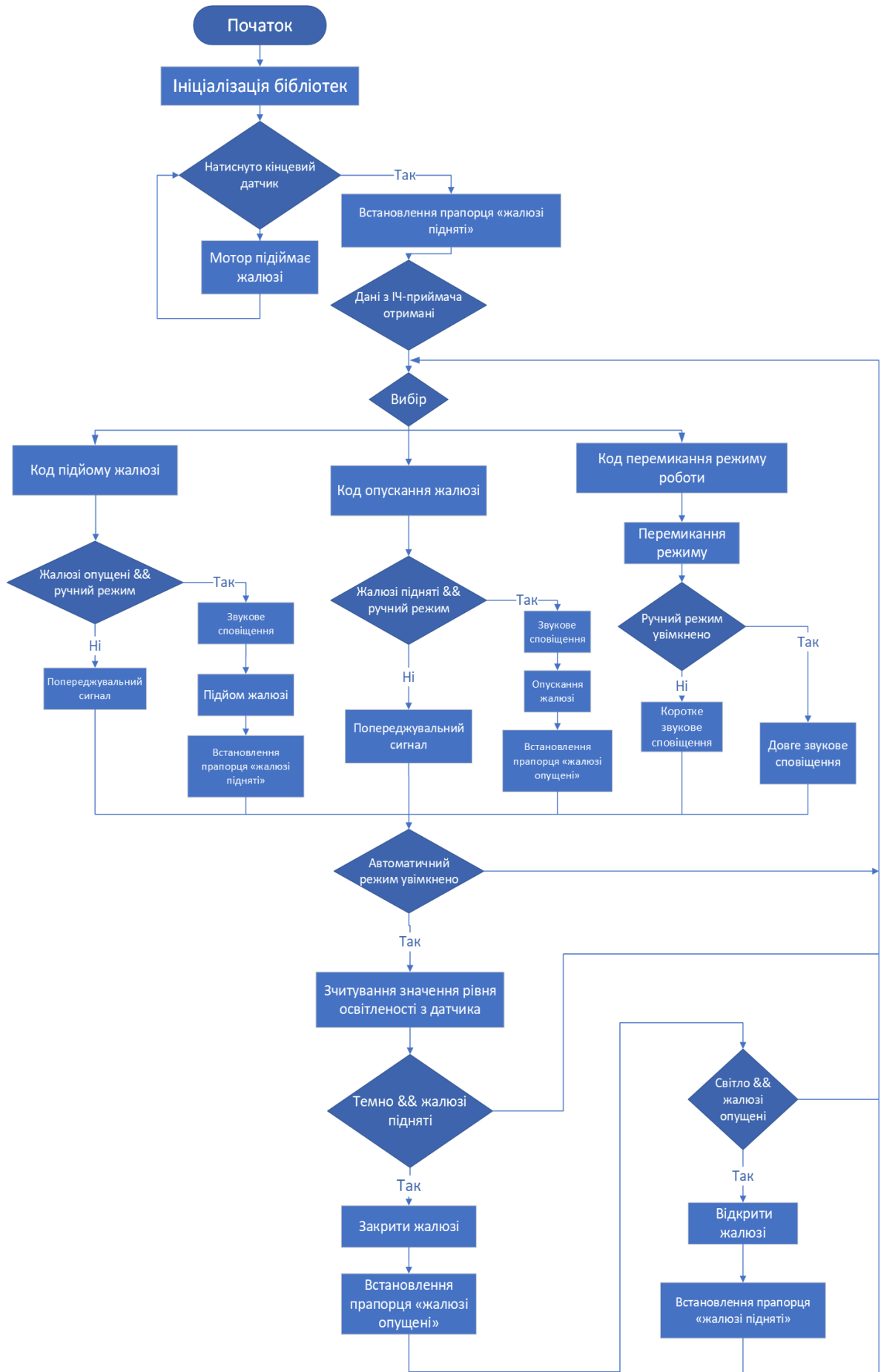


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи пристрою

### 3.2 Розробка програмного забезпечення розумних жалюзі

Після збору макета пристрою і розробки алгоритму роботи, почалося написання програми для контролера Arduino UNO.

Програма (скетч) для платформ Arduino пишуться мовою Wiring. Ця мова програмування схожа з мовою C. Процес програмування здійснюється в середовищі розробки Arduino IDE. Початковий інтерфейс програми під час першого запуску показано на рисунку 3.2.

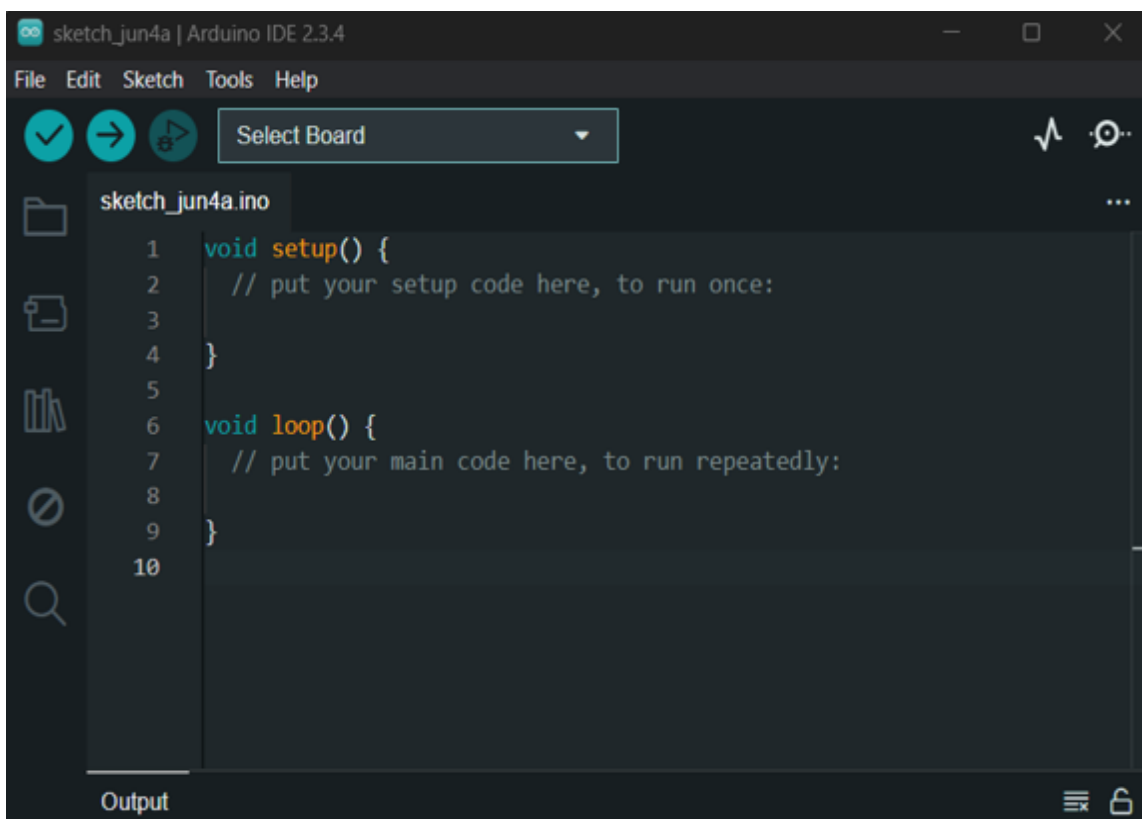


Рисунок 3.2 – Початковий інтерфейс Arduino IDE

Код можна розділити на 3 частини:

- підключення бібліотек і оголошення змінних;
- команди, що виконуються під час першого запуску контролера;
- код, що виконується циклічно;
- додаткові функції (не обов'язкові).

Перша частина – підключення бібліотек і додаткових модулів, оголошення глобальних змінних, наприклад, номери виводів на контролері, змінні для стану виводів. У своєму проєкті я використовую дві готові бібліотеки – AccelStepper для роботи з кроковим двигуном і IRremote для роботи з ІЧ-приймачем.

```
// Імпорт бібліотек і оголошення об'єктів
#include "IRremote.h" // Бібліотека для роботи з ІЧ-пультом
#include <AccelStepper.h> // Бібліотека для керування кроковим двигуном
IRrecv irrecv(3); // Вказуємо пін, до якого підключено приймач
decode_results results; // Змінна для збереження прийнятих ІЧ-даних
AccelStepper stepper1 (1, 10, 11); // Піни підключення STEP і DIR
// Оголошення констант та глобальних змінних
#define beeper 5 // П'єзоелемент підключено до порту 5
#define endstop 2 // Кінцевий вимикач підключено до порту 2
#define photores A0 // Фоторезистор підключено до порту A0
boolean flag_up; // Прапор стану жалюзі
boolean manual = 0; // Режим керування: ручний (1) або автоматичний (0)
int sensorValue = 0; // Значення, зчитане з фоторезистора
int move_finished = 1; // Прапор стану руху мотора
long initial_homing = -1; // Напрямок руху для паркування

#define light_low 100 // Рівень освітлення для закриття штор
#define light_high 200 // Рівень освітлення для відкриття штор
// Налаштування системи (функція setup())
```

Друга частина – функція setup(). Обов'язкова функція для роботи програми, викликається один раз під час запуску контролера або перезавантаження. Найчастіше використовується для ініціалізації змінних і налаштувань режимів роботи контактів мікроконтролера і увімкнення датчиків, модулів. У цій функції необхідно вказати режим контакту для п'єзовипромінювача як вихід, для фоторезистора як вхід, для кінцевого вимикача як вхід. Так само увімкнути роботу ІЧ приймача. Здійснити паркування (підйом) жалюзі.

```
void setup() {
    pinMode(endstop, INPUT_PULLUP); // Призначення контакту кінцевого вимикача
    як вхід
    pinMode(beeper, OUTPUT); // Призначення контакту п'єзоелемента як вихід
```

```

pinMode(photores, INPUT); // Призначення контакту фоторезистора як вхід
irrecv.enableIRIn(); // Запускаємо прийом ІЧ-сигналів
Serial.begin(9600); // Відкриття порту на швидкості 9600 для налагодження

    Stepper1.setMaxSpeed(2000); // Налаштування максимальної швидкості
крокового двигуна
    Stepper1.setAcceleration(13000); // Налаштування прискорення крокового
двигуна

// Початок паркування.....
Serial.println("Homing");
while(digitalRead(endstop)){
    Stepper1.moveTo(initial_homing); // Рухаємось до кінцевого вимикача
    initial_homing--;
    Stepper1.run();
    delay(1);
}

flag_up = 1; // Жалюзі підняті
    Stepper1.setCurrentPosition(0); // Встановлення початкової позиції в
координатах

    Serial.println("Homing Completed");
    Serial.println("");
// Кінець паркування.....
}

```

У програмі використовуються додаткові функції: функція, що реалізує «згладженого усереднення» значень, зчитаних з фоторезистора – `readSensor`, і функції підйому/опускання жалюзі – `raised`, `lowered`, а також функція попереджувального сигналу – `beeper_warning`.

```

// Функція звукового попередження
void beeper_warning(){ // Попереджувальний сигнал
    analogWrite(beeper, 500);
    delay(70);
    analogWrite(beeper, 0);
    delay(50);
    analogWrite(beeper, 500);
    delay(70);
    analogWrite(beeper, 0);
}

int readSensor(int samples){
    unsigned int avg_sum = 0;
    for (byte i = 0; i < samples; i++){

```

```

        avg_sum+=analogRead(photores); // Зчитуємо кілька разів і обчислюємо
середнє
        delay(5);
    }
    return avg_sum/samples;
}

// Підняття жалюзі
void raised(){ // Функція підйому жалюзі
    while(digitalRead(endstop)){
        Stepper1.moveTo(initial_homing);
        initial_homing--;
        Stepper1.run();
    }
}

// Опускання жалюзі
void lowered(){ // Функція закриття жалюзі
    Stepper1.moveTo(6700);
    while ((Stepper1.distanceToGo() != 0)) {
        Stepper1.run(); // Переміщення мотора в цільове положення
    }
}

```

Третя частина – функція loop(). Код у цій функції виконується циклічно нескінченно. У цій функції необхідно реалізувати весь алгоритм роботи системи. У цій функції мікроконтролер постійно приймає команди з ІЧ-приймача і звіряє їх з необхідним шістнадцятковим кодом, використовуючи конструкцію switch case.

Перемикання режимів реалізовано за допомогою використання прапорів. Також реалізовано налагодження процедури роботи програми через serial інтерфейс.

```

// Основний цикл роботи програми (loop())
void loop() {
// Обробка команд з ІЧ-пульта
    if (irrecv.decode(&results)) // Якщо дані отримано
    {
        int res = results.value;

switch(res){
    case 0xFFFFE01F: // HEX-код підйому жалюзі
        if (flag_up == 0 && manual == 1){ // Перевірка прапорів

```

```

        Serial.println("up"); // Налагодження у консоль
        analogWrite(beeper, 15); // Звук біпера
        delay(50);
        analogWrite(beeper, 0);
        raised(); // Виклик функції підйому жалюзі
        flag_up = 1; // Встановлення прапора
        Serial.println("Blinds raised"); // Налагодження у консоль
    }else{
        beeper_warning(); // Функція звукового попередження, якщо умови
не виконано
    }
    break;

    case 0xFFFFA857: // Функція закриття жалюзі
        if (flag_up == 1 && manual == 1){ // Перевірка прапорів
            Serial.println("down"); // Налагодження у консоль
            analogWrite(beeper, 15); // Звук біпера
            delay(50);
            analogWrite(beeper, 0);
            lowered(); // Виклик функції опускання жалюзі
            flag_up = 0; // Встановлення прапора
            Serial.println("Blinds lowered"); // Налагодження у консоль
        }else{
            beeper_warning(); // Функція звукового попередження
        }
        break;

    case 0xFFFF906F: // Функція перемикання режиму
        manual = !manual; // Зміна режиму
        if (manual == 1){ // Звуковий сигнал залежно від обраного режиму
            analogWrite(beeper, 20);
            delay(300);
            analogWrite(beeper, 0);
            Serial.println("Manual mode");
        }else
        {
            analogWrite(beeper, 20);
            delay(25);
            analogWrite(beeper, 0);
            Serial.println("Auto mode");
        }
        break;
    }
    irrecv.resume(); // Очікуємо наступну команду
}

```

```

if (manual == 0){ // Автоматичний режим
  sensorValue = readSensor(10);
  if (sensorValue < light_low && flag_up == 1){ // Перевірка освітленості
та стану жалюзі
    Serial.println("down"); // Налагодження у консоль
    lowered(); // Виклик функції закриття жалюзі
    flag_up = 0; // Встановлення прапора
    Serial.println("Blinds lowered"); // Налагодження у консоль
  }

  if (sensorValue > light_high && flag_up == 0){ // Перевірка освітленості
та стану жалюзі
    Serial.print("up"); // Налагодження у консоль
    raised(); // Виклик функції відкриття жалюзі

flag_up = 1; // Встановлення прапора
    Serial.println("Blinds raised"); // Налагодження у консоль
  }
}
}
}

```

В результаті компіляції було отримано вікно, що зображено на рисунку 3.3.

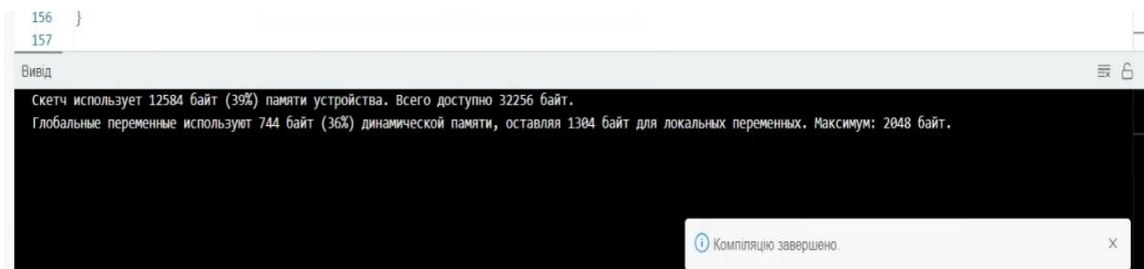


Рисунок 3.3 – Результат компіляції

### 3.3 Теорія автоматичного управління

Системи автоматичного керування (САК) є ключовим елементом сучасних інженерних рішень у сфері комфорту, енергоефективності та безпеки. Однією з таких систем є автоматизація жалюзей, які реагують на зміну освітлення, часу доби або температури, забезпечуючи оптимальні умови у приміщенні.

Для побудови ефективної САК необхідно створити математичну модель

об'єкта керування – електропривода, який змінює кут повороту ламелей жалюзі. Найпростішим варіантом такої моделі є аперіодична ланка першого порядку, описана передатною функцією:

$$\frac{W_{об}(s)=K}{\tau s+1}, \quad (3.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт підсилення;

$\tau$  – стала часу.

Сигналом управління є бажаний кут відкриття жалюзі, що формується на основі сигналів з датчиків освітлення. Похибка регулювання визначається як:

$$e(t) = \theta_{\{з\}}(t) - \theta(t). \quad (3.2)$$

Для обробки похибки застосовується ПІ-регулятор, що має передатну функцію

$$W_p(s) = K_p \left( \frac{1+1}{T_i s} \right), \quad (3.3)$$

де  $K_p$  – коефіцієнт підсилення;

$T_i$  – стала інтегрування.

Передатна функція замкненої системи має вигляд:

$$W_{зМК}(s) = \frac{W_p(s) \cdot W_{об}(s)}{1+W_p(s) \cdot W_{об}(s)}. \quad (3.4)$$

Підставляючи конкретні значення параметрів:  $\tau = 1,5$  с,  $K = 2$ ,  $K_p = 0,8$ ,  $T_i = 1,2$  с, отримаємо:

$$W_{об}(s) = \frac{2}{1,5s+1}, \quad (3.5)$$

$$W_p(s) = 0,8 \left( 1 + \frac{1}{1,2s} \right). \quad (3.6)$$

Розрахунок передатної функції замкненої системи дозволяє оцінити її динамічні характеристики, зокрема стійкість, коливальність і час перехідного процесу. Для оцінки стійкості використовуються критерії Гурвіца або Роута.

Реалізація такої системи можлива як на аналоговому рівні (на базі ОП), так і в цифровому вигляді на мікроконтролерах (Arduino Uno, STM32 тощо). Це дозволяє інтегрувати логіку керування, обробку сенсорних сигналів і адаптацію до користувацьких налаштувань.

Отже, система автоматичного керування жалюзями є прикладом застосування класичних підходів ТАУ до побутових задач, забезпечуючи адаптивність і комфорт [41].

### 3.4 Охорона праці

Близько 80 % всієї інформації людина отримує через зоровий аналізатор. Якість зорового сприйняття значною мірою залежить від умов освітлення. Незадовільне освітлення (як кількісно, так і якісно) призводить до швидкої втомлюваності очей і організму загалом, зниження працездатності та збільшення кількості помилок. Окрім того, нерегламентоване освітлення може стати причиною травматизму: недостатнє освітлення небезпечних зон, осліплювальні джерела світла, відблиски та різкі тіні погіршують видимість, спричиняють дезорієнтацію, знижують продуктивність праці та якість виконання завдань. Отже, забезпечення належного рівня штучного освітлення робочих місць є обов'язковою умовою охорони праці.

Для розрахунку показника освітленості робочого місця програміста приймаємо наступні умови:

- площа приміщення – 10 м<sup>2</sup> (довжина 4 м, ширина 2,5 м);

- висота приміщення – 2,7 м;
- кількість люмінесцентних ламп денного світла – 2 шт (нові);
- меблі великогабаритного типу – відсутні.

Розрахунок рівномірного загального штучного освітлення горизонтальної робочої поверхні виконується за методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Необхідний світловий потік  $\Phi$  (лм) однієї лампи розраховується за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot z \cdot K}{N_{\text{с}} \cdot \gamma \cdot \eta}, \quad (3.7)$$

де  $E_{\text{н}}$  – нормована мінімальна освітленість, відповідно до ДБН В.2.5-28:2006, для даного приміщення – 200 Лк;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup> (10 м<sup>2</sup>);

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення,  $z = 1,1$ ;

$K$  – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в процесі експлуатації (забруднення, старіння ламп тощо), для кабінетів  $K = 1,3$ ;

$N_{\text{с}}$  – кількість світильників у приміщенні (2 шт);

$\gamma$  – коефіцієнт затінення, зазвичай 1;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку

Коефіцієнт використання світлового потоку, що дав назву методу розрахунку, визначають за індексом приміщення і залежно від типу світильника і коефіцієнтів відбиття світла від стелі, стін і підлоги. Індекс приміщення  $i$  розраховується за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{с}}(A+B)}, \quad (3.8)$$

де  $A$  і  $B$  – довжина і ширина приміщення відповідно (4 м і 2,5 м);

$H_c$  – висота підвісу світильників над робочою поверхнею. Для люмінесцентних світильників із прямим світлорозподілом при висоті приміщення 2,7 м і стандартній висоті робочої поверхні 0,8 м:

$$i = \frac{4 \cdot 2,5}{2,70(4+2,5)} = \frac{10}{17,55} = 0,57, \quad (3.9)$$

$$\Phi_l = \frac{2000 \cdot 10 \cdot 1,1 \cdot 1,3}{2 \cdot 1 \cdot 0,57} = \frac{28600}{1,14} = \sim 25000 \text{ Лм}. \quad (3.10)$$

Кожен світильник повинен забезпечувати світловий потік приблизно 2509 лм, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2006, де нормована освітленість для офісних приміщень становить не менше 200 лк. Такий потік забезпечується сучасними світлодіодними лампами потужністю 20–24 Вт або люмінесцентними лампами потужністю 36 Вт.

Згідно з ДСТУ ISO 8995-1:2013, рівень освітленості в 200–300 лк забезпечує зоровий комфорт для роботи з комп'ютерною технікою, а отже – умови в приміщенні відповідають нормативним вимогам [36-40].

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи були розв’язані всі поставлені завдання, а також досягнуто основної мети дослідження – розроблено прототип автоматизованої системи керування рулонними жалюзі, яка може функціонувати як окремий елемент системи «Розумний Будинок».

У першому розділі було проведено всебічний аналіз сучасних технологій, архітектур та рішень у галузі автоматизації інженерних елементів житлових приміщень, зокрема систем керування жалюзі. Також розглянуто переваги та недоліки наявних систем, зокрема рішень на базі Fibaro, Somfy, та визначено доцільність створення доступної альтернативи з можливістю автономного функціонування.

У другому розділі розроблено загальну конструкцію системи автоматизованого керування жалюзі. Здійснено вибір електронних та виконавчих компонентів, таких як мікроконтролер Arduino UNO, фоторезистор, кроковий двигун NEMA 17, драйвер A4988, ІЧ-приймач та кінцевий вимикач. Крім того, реалізовано 3D-моделювання механічних елементів та їх виготовлення, що забезпечило інтеграцію системи в існуючі рулонні жалюзі без потреби їх конструктивної модифікації.

У третьому розділі було реалізовано алгоритм функціонування пристрою, розроблено програмне забезпечення на основі мови Arduino C та забезпечено перемикання між автоматичним та ручним режимами керування. Система реагує на рівень освітлення за допомогою фоторезистора та забезпечує управління положенням жалюзі з дистанційного ІЧ-пульта. Передбачено звукову індикацію подій, а також захист від перевантаження шляхом контролю крайнього положення через кінцевий вимикач. Та також було виконано розрахунок параметрів штучного освітлення у приміщенні лабораторії, де здійснювалась збірка та тестування пристрою. Також

враховано вимоги щодо безпеки при роботі з електронними компонентами та інструментами.

Таким чином, розроблена система відповідає основним вимогам щодо функціональності, надійності та автономності. Вона має потенціал подальшого розвитку шляхом інтеграції з хмарними сервісами, голосовими асистентами або мобільними застосунками. Запропоноване рішення може бути використане як окремий побутовий пристрій або як частина ширшої екосистеми «Розумного Будинку», що підвищує його практичну значущість та комерційний потенціал.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 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. Харківський національний університет радіоелектроніки [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www.nure.ua) /URL: <https://nure.ua/department/kafedra-kompyuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>.
4. Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ) [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www.tapr.nure.ua) / URL: <https://tapr.nure.ua>.
5. Невлюдов І. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Ш. Невлюдов та інш. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017 р. – 444 с.
6. Рівні Розумного Будинку [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://erc.ua/ercreviews/19643/rivni-rozumnogo-budinku/>
7. Федько А.О Зеленцова І.Я Тягунова М.Ю. Проблеми моделювання та автоматизації проектування. URL: [https://pmap.donntu.edu.ua/sites/upload/articles/fedko\\_zeleneva\\_tyagunovazaporo zhe.pdf](https://pmap.donntu.edu.ua/sites/upload/articles/fedko_zeleneva_tyagunovazaporo zhe.pdf). – С. 18-19.
8. Fibaro – польська виробник обладнання і компонентів для управління автоматизованою системою «Розумний Будинок». Worldvision – інтернет

магазин систем безпеки. URL: <https://worldvision.com.ua/brend-fibaro/> (дата звернення: 26.04.2025).

9. Проблеми моделювання та автоматизації проектування. URL: [https://pmap.donntu.edu.ua/sites/upload/articles/fedko\\_zeleneva\\_tyagunovazaporozhe.pdf](https://pmap.donntu.edu.ua/sites/upload/articles/fedko_zeleneva_tyagunovazaporozhe.pdf) (дата звернення: 13.06.2025).

10. S. Kerrison, «IoT Droplocks: Wireless Fingerprint Theft Using Hacked Smart Locks,» // 2022 IEEE International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing & Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical & Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics (Cybermatics), Espoo, Finland, 2022 pp. 107-112.

11. Fakhar, Muhammad & Yalcin, Emre & Bilge, Alper. (2022). A survey of smart home energy conservation techniques. // Expert Systems with Applications. 213. 118974.

12. Yevsieiev, V. V., & Bronnikov, A. I. (2020). Development of databases interconnection “essences” information model for cyber-physical production systems additive cyber design creation automation. Збірник Наукових Праць НУК, №3. С.56-62. DOI [https://doi.org/10.15589/znp2020.3\(481\).7](https://doi.org/10.15589/znp2020.3(481).7)

13. Nevliudov I., Omarov M., Yevsieiev V., Bronnikov A., Lyashenko V. Method of Algorithms for Cyber-Physical Production Systems Functioning Synthesis // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – Vol. 8(10). – P. 7465-7473.

14. Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія/ І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова ; – Oktan Print – Prague. 2023. – 321 с.

15. Somfy: двигуни, автоматизація систем управління та рішення для Розумного Будинку. social.og.sitename. URL: <https://www.somfy.ua/> (дата звернення: 14.06.2025).

16. Електро ролети Somfy управління «розумний дім» або клавіша. URL: <https://shtory-shop.com.ua/uk/zhalyuzi-roleti-na-avtomatici/elektro-roleti->

somfy- upravlinnya-«rozumnij-dim»-abo-klavisha?srsltid=AfmBOoo4XW3xQN5o4FOGly9IiCTUyd0- 1pigpipaGBDPtdYhHA4MjjPy (дата звернення: 18.06.2025).

17. Фоторезистор. Про електроніку, техніку, IT, інженерію. URL: <https://www.e-lab.com.ua/electronics-basics/fotorezistor.html> (дата звернення: 03.05.2025)

18. Кінцевий вимикач KW4-3Z-3-P 1шт купити в Києві та Україні. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod6788-kincevii-vimikach-kw4-3z-3-p-1sht?srsltid=AfmBOorHrz3-AAHZqSwz8W5DDaUjHL9K7Vq9aWwFyHNZ3oGEjQfOC7ju> (дата звернення: 04.05.2025).

19. Звуковипромінювач LOUDITY LD-BZPN-1705 купити в Києві IMRAD – український інтернет-магазин радіодеталей. Imrad – інтернет-магазин радіодеталей та електронних комплектуючих. URL: <https://imrad.com.ua/ua/ld-bzpn-1705-1> (дата звернення: 05.05.2025).

20. Драйвер крокового двигуна A4988 [Електронний ресурс] // [i2c.com.ua](https://i2c.com.ua). – Режим доступу: <https://i2c.com.ua/arduino-etc/ardu-other/drajver-krokovogo-dviguna-a4988>. – Назва з екрана (дата звернення: 07.05.2025).

21. Драйвер крокового двигуна A4988 Arduino: продаж, цена в Украине. Набори та компоненти для самостійного збирання електроніки от «ArduinoKit навчальні набори робототехніки» – 1281840357. Arduino KIT набори з гарантією купити в Україні +38 (063) 3092122. URL: [https://arduinokit.com.ua/ua/p1281840357-drajver-shagovogo-dvigatelya.html?srsltid=AfmBOorQaUmWRNe1iSw1UjIv\\_N9NHeG5Jp\\_ZWDQPbNOO7aUo8gbW5x0J](https://arduinokit.com.ua/ua/p1281840357-drajver-shagovogo-dvigatelya.html?srsltid=AfmBOorQaUmWRNe1iSw1UjIv_N9NHeG5Jp_ZWDQPbNOO7aUo8gbW5x0J) (дата звернення: 06.05.2025).

22. Драйвер крокового двигуна StepStick A4988 з радіатором охолодження купити в Києві та Україні. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod965-draiver-shagovogo-dvigatelya-stepstick-a4988?srsltid=AfmBOooG7l4EzkkzUfYCSGDvvyuHYNJYd8BrKhRBnN4w1TLGAEXNDOPHb> (дата звернення: 06.05.2025).

23. Ужгородський національний університет. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/63619> (дата звернення: 06.05.2025).

24. Універсальний інфрачервоний приймач VS1838В купити в Києві та Україні. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod1228-universalnii-infrakrasnii-priemnik?srsId=AfmBOopTmedwO5bxb1CGpNQWHC3t2tDfjzoDAxr5iPTSRmоNKk6уalph> (дата звернення: 07.05.2025).

25. Купити Інфрачервоний Приймач VS1838В Доставка По Україні. Мій Проект. URL: <https://myproject.com.ua/universalnyj-infrachervonyj-pryjmach-vs1838b.html> (дата звернення: 07.05.2025).

26. Фоторезистор PERKIN ELMER FR28/500К (VT83N2) (12-36ком) купити в Києві • IMRAD – український інтернет-магазин радіодеталей. Imrad – інтернет-магазин радіодеталей та електронних комплектуючих. URL: <https://imrad.com.ua/ua/fr28-500k-vt83n2-12-36kom>– (дата звернення: 07.05.2025).

27. Фоторезистор FR28/500К (VT83N2) (12-36ком).VsePlus 2023. URL: <https://vseplus.com/product/fotorezistor-fr28500k-vt83n2-12-36kom-301145> (дата звернення: 07.05.2025).

28. FR28/500К (VT83N2) (12-36ком) фоторезистор 42681 – купити в microteh. Радіодеталі, електронні компоненти та інструменти – Купити в Microteh. URL: [https://microteh.ck.ua/index.php?route=product/product&path=35\\_11590&mp;product\\_id=42681](https://microteh.ck.ua/index.php?route=product/product&path=35_11590&mp;product_id=42681) (дата звернення: 07.05.2025).

29. Reichelt Elektronik. Arduino Shield – Protoshield for Arduino Kit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.reichelt.com/fi/en/shop/product/arduino\\_shield\\_-\\_protoshield\\_for\\_arduino-kit-235460?country=fi&CCTYPE=private&LANGUAGE=en](https://www.reichelt.com/fi/en/shop/product/arduino_shield_-_protoshield_for_arduino-kit-235460?country=fi&CCTYPE=private&LANGUAGE=en) – Назва з екрана (дата звернення: 17.05.2025).

30. Proto shield rev3 (uno size). Arduino Official Store. URL: <https://store.arduino.cc/products/proto-shield-rev3-uno->

size?srsltid=AfmBOopOuZTApBRwqWteD2nfmU0tzoEOJL98k2rWsvPmq5zFK  
GXSbhuM&utm (дата звернення: 08.05.2025).

31. Arduino UNO – популярна плата розробки – IT Master – електроніка та програмування. Головна – IT Master – електроніка та програмування. URL: <https://itmaster.biz.ua/directory/kits-nabory/arduino-uno.html> (дата звернення: 10.05.2025).

32. Плата Arduino UNO: продаж, ціна в Україні. Набори та компоненти для самостійної збірки електроніки від «ArduinoKit навчальний набори». Arduino KIT URL: [https://arduinokit.com.ua/ua/p2443129646-plata-arduino-uno.html?srsltid=AfmBOorU9W6Y3qGIRKd6SmopC0alwXVCfQw\\_9tCkndX0F9iZXvmDz48r](https://arduinokit.com.ua/ua/p2443129646-plata-arduino-uno.html?srsltid=AfmBOorU9W6Y3qGIRKd6SmopC0alwXVCfQw_9tCkndX0F9iZXvmDz48r) (дата звернення: 10.05.2025).

33. Uno Плати Ардуіно. Ардуіно в Україні. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno> (дата звернення: 11.05.2025).

34. 3v3.com.ua. Arduino Proto Shield [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://3v3.com.ua/product\\_7556.html](https://3v3.com.ua/product_7556.html) – Назва з екрана (дата звернення: 10.06.2025)

35. Розумна розетка Orvibo B25EU Wi-Fi. NADZOR.UA. URL: <https://nadzor.ua/product/umnaa-rozetka-orvibo-b25eu-wi-fi?srsltid=AfmBOoqAUwVInaF3ryFWHokdKNMfXkKWqx1CLkLV1F4rjRMvN06Fu3BE> (дата звернення: 10.06.2025).

36. Основи охорони праці: Підручник./ К.Н.Ткачук, М.О.Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В.Зеркалов, Р.В.Сабарно, О.І.Полукаров, В.С.Коз'яков, Л.О.Митюк; За ред. К.Н.Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2003 – 180- 285 с.

37. ДБН В.2.5-28:2006. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] / Мінрегіонбуд України. – Київ, 2006. – Чинний з 01.10.2006. – Режим доступу: сайт «БДС-онлайн», завантажити PDF: ДБН В.2.5-28-2006

38. Державні санітарні норми і правила влаштування і експлуатації персональних електронно-обчислювальних машин (ДСанПіН 3.3.2.007–98). – Київ, 1998.

39. ДСТУ ISO 8995-1:2013. Світло і освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1: Внутрішні робочі місця. – Київ, 2013. – [Електронний ресурс]. – Ідентичний ISO 8995-1:2002 (дата звернення: 11.06.2025)

40. МВ 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.

41. Токарєва О.В Теорія автоматичного управління : Харків : ФОП Панов А.М., 2020. – 346 с.