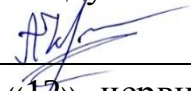


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

 **Черно О.О.**
«12» червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Автоматизована система керування віконними жалюзі

Виконав: студент 4341 групи

 **Тодуров Д.О.**
(підпис)

Керівник роботи:

зав. каф. КСУ, д.т.н., професор
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

 **Черно О.О.**
(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра	<u>комп'ютеризованих систем управління</u>
Рівень вищої освіти	<u>перший (бакалаврський)</u>
Спеціальність	<u>151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»</u>
ОПП	<u>«Комп'ютерно-інтегровані технології та системи автоматизації»</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
 Черно О.О.
«29» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Тодурову Дмитру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизована система керування віконними жалюзі

Керівник роботи Черно Олександр Олександрович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом вищого навчального закладу № 286-уч від «22» квітня 2026 року

2. Термін подання роботи: 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані по роботі: Тип жалюзі: рулонні (тканинні), горизонтальні алюмінієві; маса жалюзі 200 г; режими роботи: ручний, автоматичний; час підйому-опускання 12 с; висота жалюзі 1 м.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)
Аналіз автоматизованих систем в комплексі «Розумний дім». Постановка задачі проектування.
Розробка апаратної системи автоматизації жалюзі.
Програмна реалізація та алгоритм роботи системи керування жалюзі для вікна.
Охорона праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Функціональна схема системи керування жалюзі
Схема підключення елементів системи керування жалюзі.
Характеристики плати Arduino UNO Rev3
Характеристики драйвера, кінцевого вимикача та фоторезистора
Розрахунок параметрів та вибір двигуна
Характеристики інфрачервоного приймача та п'єзовипромінювача
Алгоритм функціонування системи керування жалюзі (1)
Алгоритм функціонування системи керування жалюзі (2)
Програмне забезпечення

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Черно О.О., зав. каф. КСУ	09.02.2026 	09.06.2026 

7. Дата видачі завдання: «09» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів проектування	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз автоматизованих систем в комплексі «Розумний дім». Постановка задачі проектування.	26.02.2026	Виконано
2.	Розробка апаратної системи автоматизації жалюзі.	14.04.2026	Виконано
3.	Програмна реалізація та алгоритм роботи системи керування жалюзі для вікна.	19.05.2026	Виконано
4.	Охорона праці.	05.06.2026	Виконано

Студент



(підпис)

Тодуров Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Черно О.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі досліджено та спроектовано систему автоматизованого керування віконними жалюзі на базі мікроконтролера Arduino Uno Rev3. Розроблена система забезпечує два режими роботи: автоматичний та ручний.

В роботі проаналізовано сучасні системи «Розумний дім» та існуючі рішення для керування жалюзі, обґрунтовано вибір елементної бази, розроблено структурно-функціональну та схеми підключення елементів системи. Показано характеристика й компоненти системи, таких як мікроконтролер Arduino Uno Rev3, кроковий двигун 28BYJ-48 і драйвер ULN2003, фоторезистор GL5516, інфрачервоний приймач VS1838 та кінцевий вимикач KW4-3Z-3 (L15). Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує алгоритми керування, калібрування положення жалюзі, звукову індикацію та захист механізму. Окремо розглянуто питання охорони праці при проектуванні, монтажу та експлуатації системи.

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи складається з 74 сторінок, 18 рисунків, 7 таблиць та 44 інформаційних джерел.

Ключові слова: автоматизація «Розумного дому», система керування жалюзі, мікроконтролер Arduino Uno, кроковий двигун, фоторезистор, інфрачервоне керування, програмна реалізація.

ABSTRACT

This qualification project explores and designs an automated window blind control system based on the Arduino Uno Rev3 microcontroller. The developed system supports two operating modes: automatic and manual.

The thesis analyzes modern “Smart Home” systems and existing solutions for blind control, justifies the selection of components, and develops structural-functional and connection diagrams for the system components. The characteristics and components of the system are presented, including the Arduino Uno Rev3 microcontroller, the 28BYJ-48 stepper motor and ULN2003 driver, the GL5516 photoresistor, the VS1838 infrared receiver, and the KW4-3Z-3 (L15) limit switch. Software has been developed that implements control algorithms, blind position calibration, audible indication, and mechanism protection. Occupational safety issues during the design, installation, and operation of the system are addressed separately.

The accompanying explanatory note spans 73 pages, 18 figures, 7 tables, and 44 information sources.

Keywords: “Smart Home” automation, blind control system, microcontroller Arduino Uno, stepper motor, photoresistor, infrared control, software implementation.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ В КОМПЛЕКСІ «РОЗУМНИЙ ДІМ». ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ	11
1.1. Загальна архітектура та принципи функціонування системи «Розумний дім»	11
1.2. Системи автоматизації побутових пристроїв у комплексі «Розумний дім»	14
1.3. Системи керування ручних та автоматизованих жалюзі	17
1.4. Переваги та недоліки автоматизованих систем керування жалюзі.....	22
Висновки за розділом 1 і постановка задачі проектування	25
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖАЛЮЗІ	27
2.1. Структурно-функціональна схема системи керування та її опис	27
2.2. Схема підключення елементів системи керування жалюзі.....	27
2.3. Вибір електричних компонентів для розумних жалюзі вікна	30
2.3.1. Плата Arduino Uno Rev3.....	30
2.3.2. Кінцевий вимикач KW4-3Z-3 (L15)	35
2.3.3. Фоторезистор GL5516.....	36
2.3.4. Драйвер ULN2003	38
2.3.5. Розрахунок параметрів приводного двигуна.....	39
2.3.6. Кроковий двигун 28BYJ-48.....	41
2.3.7. Інфрачервоний приймач VS1838.....	42
2.3.8. Макетна плата MB-102.....	44
2.3.9. П'єзовипромінювач LD-BZPN-1705	45
Висновки за розділом 2	46
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЖАЛЮЗІ ДЛЯ ВІКНА.....	48
3.1. Алгоритм функціонування системи керування жалюзі	48
3.2. Розробка програмного забезпечення розумних жалюзі.....	50

Висновки за розділом 3	58
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	60
4.1. Організація робочого місця та умов трудової діяльності монтажника радіоапаратури	60
4.2. Інструкція з охорони праці під час виконання паяльних робіт.....	63
Висновки за розділом 4	67
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ІЧ – інфрачервоний;

ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій;

ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій;

ПЗ – програмне забезпечення;

ICSP – In-Circuit Serial Programming;

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція;

USB – Universal Serial Bus;

ПК – персональний комп'ютер;

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter;

TTL – Transistor-Transistor Logic;

IOREF – Input/Output Reference;

SRAM – Static Random-Access Memory;

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory;

TWI – Two-Wire Interface;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ЧПК – числове програмне керування.

ВСТУП

Сучасні технології глибоко інтегруються у повсякденне життя, і автоматизація побуту не є винятком. Ефективне регулювання природного освітлення залишається однією з ключових складових комфортного та енергоефективного житла. Жалюзі виконують не лише декоративну та захисну роль, а й дозволяють якісно контролювати рівень світла, приватність приміщення та тепловий баланс. Однак традиційні ручні механізми вже не відповідають сучасним вимогам до зручності, автоматизації та інтеграції в систему «Розумного дому».

Автоматизовані жалюзі значно підвищують комфорт користувача, оптимізують використання денного світла, зменшують витрати на штучне освітлення та кондиціонування, а також захищають меблі та підлогу від вигорання. Автоматичне регулювання положення ламелей залежно від рівня освітленості сприяє підтриманню сприятливого мікроклімату, зниженню втоми очей і підвищенню загальної продуктивності.

Метою дипломної роботи є розробка системи автоматизованого керування жалюзі на базі мікроконтролера Arduino Uno Rev3, яка поєднує ручний режим дистанційного керування через інфрачервоний пульт та автоматичний режим роботи за рівнем освітленості.

Для досягнення поставленої мети були вирішені такі завдання:

- проаналізовано архітектуру пристроїв у системах «Розумний дім»;
- досліджено існуючі системи керування жалюзі, визначено їх плюси та мінуси;
- розроблено структурну схему та схему підключення компонентів;
- обґрунтовано вибір деталей, їх характеристики та функції;
- реалізовано програмне забезпечення та алгоритм роботи;
- протестовано систему та оцінено її ефективність.

Об'єктом дослідження є системи автоматизованого керування жалюзі. Предметом дослідження – апаратно-програмний комплекс керування віконними жалюзі на базі мікроконтролера Arduino.

Робота має як теоретичне, так і практичне значення. У теоретичній частині проаналізовано сучасні підходи до автоматизації побутових пристроїв, а в практичній – продемонстровано створення повноцінної функціональної системи з доступних і недорогих компонентів. Отримані результати можуть бути використані для подальших досліджень у сфері будівельної автоматизації та розробки енергоефективних рішень для житлових і офісних приміщень.

Структура дипломної роботи відповідає поставленим завданням. У першому розділі розглянуто теоретичні основи та аналіз аналогічних рішень. Другий розділ присвячено апаратній частині системи, вибору компонентів та схемотехніці. Третій розділ містить опис програмної реалізації, алгоритмів роботи, тестування та аналіз отриманих результатів.

Загалом, дана робота демонструє можливість створення ефективної, надійної та бюджетної системи автоматизованого керування жалюзі, яка може стати практичним внеском у розвиток доступних рішень «Розумного дому».

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ В КОМПЛЕКСІ «РОЗУМНИЙ ДІМ». ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Загальна архітектура та принципи функціонування системи «Розумний дім»

На сьогоднішній день, рівень розвитку електронних та цифрових технологій відкриває людству можливості для автоматизації свого побуту. Завдяки приросту функціональних можливостей девайсів стало доступним створення інтегрованих рішень, що здатні здійснювати автоматизоване керування усіма системами у домі.

Під концепцією «Розумний дім» розуміють інтегровану інформаційну систему керування, що може комбінувати основні побутові та інженерні системи житла в єдину контрольовану мережу. Такий дім забезпечує високий рівень автоматизованого керування комфортом, безпеки, енергоефективності та зручності для користувачів, за рахунок використання сучасних технологічних рішень. На відміну від традиційного житла, де кожен пристрій працює незалежно, у «Розумному домі» всі компоненти взаємодіють між собою за заданими сценаріями та алгоритмами. Зображення типового розумного дому наведено на рисунку 1.1.

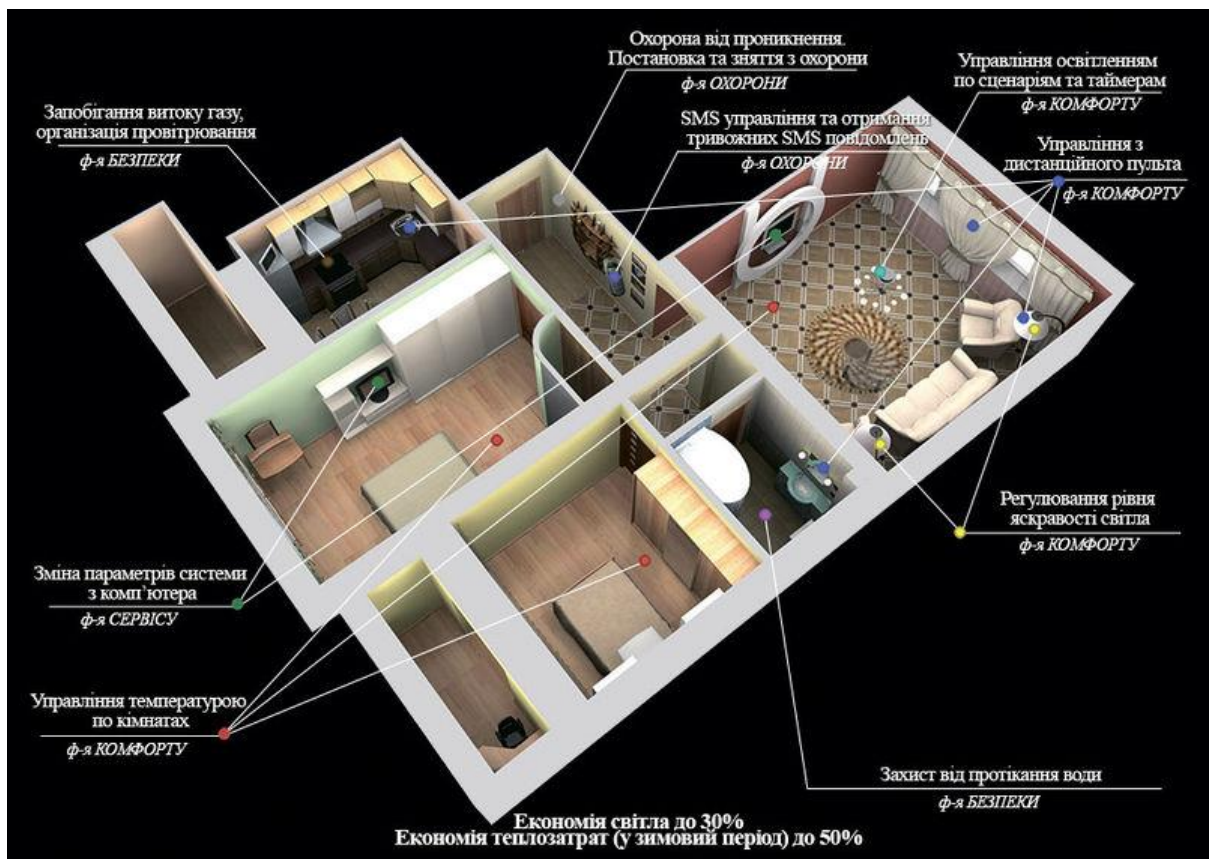


Рисунок 1.1 – Приклад побудови розумного дому [16]

Особливістю проєкту «Розумний дім» є об'єднання сприймаючих та виконавчих пристроїв в одну велику інформаційну мережу. Розташовані у різних приміщеннях датчики передають інформацію до центрального контролера. Контролер, відповідно, обробляє вхідні сигнали до заданих користувачем алгоритмів та залежно від підсумку, відправляє команду виконавчому пристрою для реалізації заданої дії [1, 4].

Основні принципи функціонування системи ґрунтуються на чотирьох ключових аспектах:

- автоматизації,
- інтеграції,
- енергоефективності,
- безпеки й надійності.

Автоматизація дозволяє системі самостійно аналізувати дані з датчиків і виконувати необхідні дії без безпосередньої участі людини, наприклад, регулювати освітлення залежно від рівня природного світла або закривати

жалюзі при перегріві приміщення. Інтеграція забезпечує об'єднання всіх підсистем – освітлення, опалення, вентиляції, безпеки та мультимедіа – в єдину мережу. Енергоефективність досягається завдяки мінімізації споживання ресурсів за рахунок оптимального використання природного світла, тепла та електроенергії. Водночас система гарантує високий рівень безпеки та надійності, включаючи захист від несанкціонованого доступу, аварійне реагування та можливість автономної роботи в локальному режимі навіть без постійного підключення до інтернету [2].

Загальну архітектуру такої системи можна представити як чотирирівневу ієрархічну структуру [6]:

- Фізичний рівень (датчики та виконавчі пристрої) включає сенсори (температури, вологості, освітленості, руху, відкривання дверей/вікон) та актуатори (реле, сервоприводи, димери, мотори жалюзі, клапани опалення). Цей рівень збирає інформацію про умови навколишнього середовища та виконує фізичні дії.
- Мережевий рівень (протоколи зв'язку) забезпечує обмін інформацією між пристроями. Найпоширеніші протоколи на сьогоднішній день такі:
 - Zigbee та Z-Wave низькоспоживні mesh-мережі з високою степенню надійності;
 - Wi-Fi для високошвидкісних пристроїв (камери, голосові асистенти);
 - Bluetooth Low Energy для локального підключення;
 - Matter та Thread універсальні протоколи, які забезпечують сумісність між виробниками та локальну роботу без хмарних технологій.
- Рівень керування (контролер) центральний «мозок» системи. Може бути реалізований як окремий хаб (Fibaro, Home Assistant, ESP32/NodeMCU), локальний сервер або хмарний сервіс (Google Home, Amazon Alexa, Apple HomeKit). Тут відбувається обробка даних, виконання доступних сценаріїв і логіка прийняття рішень.
- Користувацький рівень (інтерфейс) мобільні додатки чи веб-інтерфейси, голосове керування (Alexa, Google Assistant, Siri) та фізичні панелі.

Користувач отримує інформацію в реальному часі та може задавати потрібні йому сценарії самостійно.

Окремо варто відзначити, що сучасні системи поділяються на централізовані, з єдиним контролером, та децентралізовані, локальні mesh-мережі без єдиної точки відмови. Останні наразі набувають популярності завдяки тому, що стандарт Matter дозволяє пристроям різних виробників працювати разом без доступу до інтернету.

Інтеграція системи типу «Розумний дім» дозволяє значно підвищити рівень комфорту, автоматизувати рутинні дії, скоротити використання ресурсів та забезпечити постійний моніторинг житла. Такі системи непомітно стають базовими у сучасному стандарті будівництва.

Однак, в багатьох новобудовах автоматизовані системи зараз функціонують ізольовано одна від одної. Окремо можуть працювати модулі керування вентиляцією, безпековими системами, опаленням, підрахунком енергії тощо. Відсутність єдиного центру не дозволяє класифікувати таку будівлю як «Розумний дім».

1.2. Системи автоматизації побутових пристроїв у комплексі «Розумний дім»

Справжній «Розумний дім» передбачає цілісну інтеграцію всіх компонентів в єдину керовану мережу, який діє злагоджено та адаптується до мінливих потреб мешканців. Це дає змогу створювати сценарії, за яких система самостійно реагує на зміни зовнішніх умов або команди користувача [8]. Зображення інтеграції компонентів в єдину мережу наведено на рисунку 1.2.

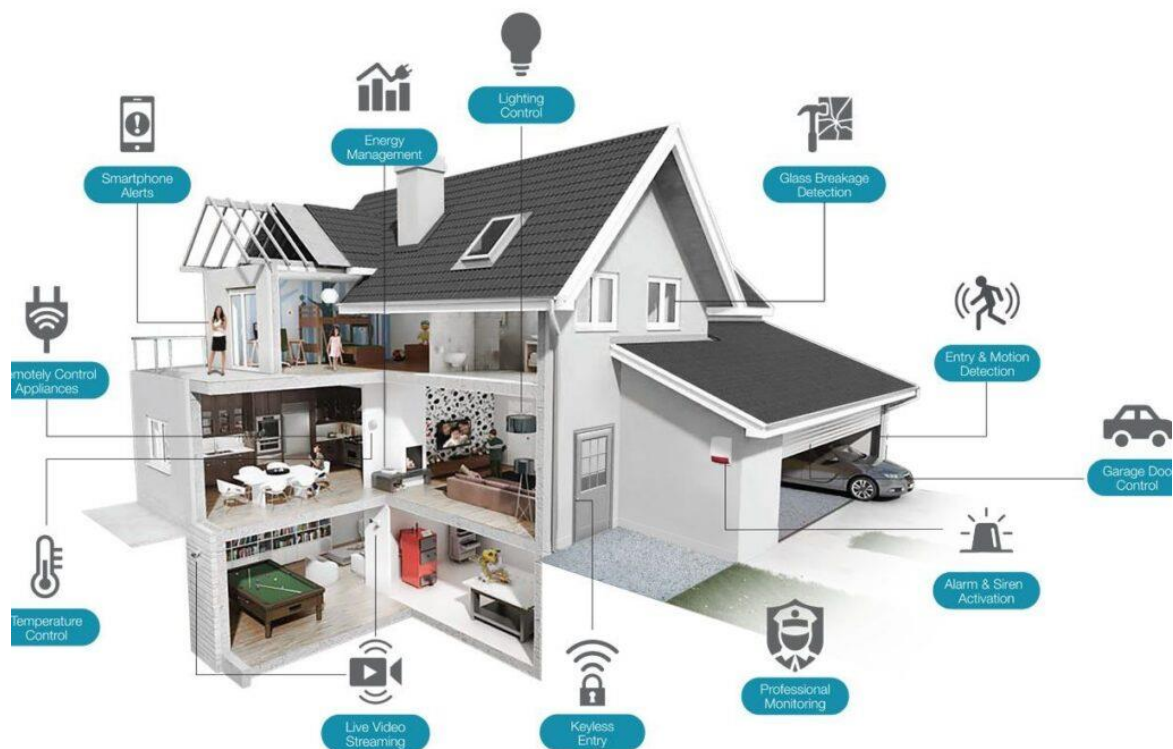


Рисунок 1.2 – Приклад компонентів в єдиній керованій мережі [8]

Основні функції та можливості включають в себе:

1. Системи комфорту та мікроклімату. Можливість керування автоматизацію освітлення, керування опаленням, кондиціонуванням повітря та керування воротами, ролетами, шторами і дверима. Автоматичне регулювання яскравості та степені освітлення залежно від часу доби чи рівня природного світла. За допомогою розумних термостатів можна підтримувати комфортну температуру в приміщенні, програмувати розклад опалення дому та дистанційно керувати кліматом приміщень [9].

2. Система безпеки та моніторингу. Включає в себе системи датчиків відкриття дверей і вікон, датчики руху та присутності, системи виявлення витоку газу, диму та води, а також відеоспостереження. У разі небезпеки система відразу сповіщає хазяїна через мобільний додаток, відправляє повідомлення, що задовільняє високий рівень захисту майна та здоров'я мешканців. Крім того, система дає можливість дистанційно керувати відкриттям гаражних воріт чи вхідних дверей.

3. Автоматизація побутових приладів. Можливість системи вмикати та вимикати пральну чи посудомийну машину, робот-пилосос та кавоварку й іншу електричну побутову техніку. Також, включає створення сценаріїв і таймерів, завдяки чому прилади можуть працювати у зручний час без безпосередньої участі людини.

4. Енергоефективність та керування ресурсами. Система аналізує використання ресурсів та автоматично оптимізує роботу освітлення, опалення чи інших приладів, вмикає енергозберігаючі режими та допомагає суттєво зменшити витрати на комунальні послуги завдяки раціональному використанню електроенергії, тепла та природного світла.

5. Мультимедійні та розважальні системи. Інтегрування з розумними телевізорами, аудіосистемами, колонками та стрімінговими сервісами. Споживач може запускати музику в кількох кімнатах одночасно, керувати та налаштовувати атмосферу в будинку.

6. Дистанційне керування та мобільний інтерфейс. Інтеграція з мобільними пристроями є найважливішою деталлю всієї системи розумного дому. Вона дозволяє власнику керувати абсолютно всіма підсистемами з мобільного пристрою з будь-якої точки світу. Через мобільний додаток користувач може переглядати статус усіх пристроїв, налаштовувати сценарії, отримує сповіщення та дистанційно керувати домівкою у режимі реального часу.

На ринку представлено вже готові системи для організації розумного дому, які відрізняються функціональністю, вартістю та складністю монтажу. Найбільш поширені системи, на які варто звернути увагу:

Google Nest – екосистема, що забезпечує керування освітленням, системами безпеки, дверними дзвінками та кліматичним обладнанням. Система добре інтегрується з голосовим асистентом Google Assistant. Перевагою є простота встановлення та дружній інтерфейс мобільного застосунку.

Amazon Alexa – універсальна платформа голосового керування, що підтримує широкий спектр пристроїв від різних виробників. Amazon пропонує

широкий асортимент сумісних пристроїв від різних виробників. Alexa вирізняється великою кількістю “навичок” – міні-програм, які розширюють її можливості.

Apple HomeKit – закрита екосистема, орієнтована на користувачів техніки Apple. Забезпечує високий рівень захисту даних і глибоку інтеграцію з пристроями компанії. Система дозволяє керувати пристроями через iPhone, iPad або Apple Watch.

Xiaomi Smart Home – доступна та масштабована система, що пропонує широкий асортимент недорогих пристроїв. Все керується через мобільний додаток Mi Home. Xiaomi підходить тим, хто хоче поступово розширювати систему, починаючи з найнеобхіднішого [10].

Саме системи автоматизації побутових пристроїв перетворюють «Розумний дім» із набору окремих, непов’язаних між собою систем в єдину, зручну в керуванні, екосистему. Одним із цікавих та перспективних напрямків такої автоматизації є керування вікнами та жалюзі.

1.3. Системи керування ручних та автоматизованих жалюзі

Жалюзі є важливим компонентом сучасного інтер’єру, що забезпечує не лише естетичну привабливість кімнат, а й ще ефективний контроль над рівнем природного світла та приватністю. Одним із ключових критеріїв при виборі жалюзі виступає тип системи керування, який впливає на зручність експлуатації, функціонал та вартість рішення.

Системи керування жалюзі умовно поділяються на два основні типи: автоматизовані та ручні. У кожного із них є певні переваги та недоліки, а також сфери застосування, що зумовлює необхідність їх проаналізувати для обґрунтованого вибору найкращого варіанту.

Ручні системи керування є традиційними та поширеними засобами керування жалюзі. Всі такі системи працюють на механічних принципах й вимагають безпосередньої участі користувача для зміни положення полотна або кута нахилу ламелей. Залежно від конструкції їх можна поділити на шнуркові,

стрічкові, жердинні та рукояткові механізми [12]. На рисунку 1.3 зображені традиційні ручні жалюзі.



Рисунок 1.3 – Приклад традиційних ручних жалюзі [17]

Шнурковий механізм є більш поширеним для горизонтальних жалюзі і дозволяє піднімати, опускати чи повертати ламелі за допомогою шнура або ланцюжка. Окрема стрічка або шнур керує поворотами ламелей, завдяки чому регулювання кута падіння світла здійснюється з високою точністю.

Стрічковий привод в основному застосовується у вертикальні жалюзі, де широка стрічка забезпечує рівномірне та гладке переміщення чи поворот ламелей уздовж карниза.

Жердинний механізм найчастіше використовують для широких конструкцій; він представлений у вигляді пластикової жердини, що

встановлюється збоку від жалюзі. У такій конструкції поворот однієї жердини призводить до синхронного повороту всіх ламелей.

Рукоятковий привод більш сучасний; його застосовують переважно для важких або великогабаритних жалюзі, дозволяючи керувати ними з найменшими зусиллями.

Головними перевагами ручних систем можна назвати їх порівняно низьку вартість, енергонезалежність та простоту в обслуговуванні. Вартість придбання та становлення ручних жалюзі значно нижча, якщо порівнювати з автоматизованими. Також вони є більш доступні для широкого кола споживачів. Крім того, такі системи простіше обслуговувати, а більшість виникаючих несправностей користувач може усунути самостійно без звернення до фахівців.

Водночас головним недоліком ручних систем є необхідність фізичної присутності людини для кожного регулювання. Це створює проблеми для людей з обмеженими фізичними можливостями, а також у разі встановлення жалюзі у важкодоступних місцях, робить керування неможливим [19].

На сьогоднішній день автоматизовані системи керування жалюзі є одним із найефективніших і перспективних технічних рішень. Вони забезпечують високий рівень функціональності та комфорту без необхідності підходити до жалюзі та самостійно його регулювати. Поділяються такі системи керування на дротові, бездротові, смарт-системи та сенсорні. Як виглядають автоматизовані жалюзі – є на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Приклад автоматизованих жалюзі [18]

Актуальними є смарт-системи, інтеграція яких за допомогою мобільного застосунку передбачає керування системою жалюзі через пристрої з будь-якої точки світу лише за наявності інтернет-з'єднання.

Модерним засобом керування є сенсорне, яке автоматизує роботу жалюзі на основі показників датчиків освітлення, температури, вітру або дощу. Вона самостійно реагує на зміни зовнішніх умов без участі користувача.

Дротове керування є найпростішим, зрозумілим і надійним видом автоматизації. Здійснюється воно за допомогою стаціонарних кнопок, перемикачів або настінних панелей, що підключені до електропривода кабелем. Основними перевагами є висока надійність зв'язку, відсутність залежності від батарейок та порівняно з іншими керуванням низкою вартістю. Таке керування найчастіше застосовується в офісних приміщеннях, де потрібна стабільна та дешева робоча система. Але головним недоліком є необхідність прокладання кабелів, що ускладнює монтаж.

Бездротове керування базується на радіочастотних технологіях, найчастіше використовують 433 МГц або 868 МГц. Керування здійснюється за допомогою пультів дистанційного керування. Стабільна дальність зв'язку становить від 30 до 50 метрів у відкритому просторі. Перевагами можна назвати відсутність потреби в прокладанні кабелів, зручність використання та простота встановлення. Наразі, саме ці системи широко застосовуються в житлових приміщеннях. Малим недоліком бездротового керування є залежність від батарей в пультах та можливе виникнення радіоперешкод [15].

Смарт-системи представляють собою сучасну та популярну систему, яка дозволяє керувати жалюзі через мобільний додаток зі смартфона або планшета з будь-якої точки світу за умови наявності інтернету. Може інтегруватися з популярними екосистемами розумного дому типу Google Home, Amazon Alexa, Apple HomeKit, Home Assistant. Користувач має можливість створювати складні сценарії, групувати жалюзі по кімнатах, налаштовувати розклади та отримувати сповіщення. Висока гнучкість, віддалений доступ і можливість подальшої інтеграції з іншими пристроями розумного дому є саме цими особливостями, за якими смарт-системи вибирають найчастіше [12].

Сенсорне керування є найбільш автоматизованим видом і працює без безпосередньої участі людини. Система сама приймає рішення на основі даних від датчиків освітленості, температури, вітру чи опадів. Після налаштування система керування забезпечує комфорт і енергоефективність, оскільки вона постійно реагує на зміни зовнішніх умов. Сенсорне керування часто поєднують зі смарт-системами для отримання найвищого ефекту.

Сучасний ринок також пропонує гібридні системи, які поєднують автоматизоване керування з ручним, щоб залежно від ситуації можна було обирати різні способи керування. Такі рішення забезпечують можливість ручного керування у разі виходу з ладу автоматики або відсутності електроживлення. Хоча бездротові технології на базі протоколів Wi-Fi, Z-Wave та Zigbee, забезпечують постійний стабільний зв'язок.

1.4. Переваги та недоліки автоматизованих систем керування жалюзі

Будь-яка сучасна система керування має переваги та недоліки, які необхідно враховувати при проєктуванні та реалізації. Аналіз характеристик дозволить забезпечити краще співвідношення функціональності, зручності експлуатації та вартості рішення відповідно до конкретних умов.

Автоматична робота жалюзі в спеку зменшує вплив сонячного світла та температури на кімнату, а взимку вона дозволяє максимально ефективно використовувати сонячні промені для освітлення та обігріву дому. Таким чином знижується навантаження на електромережу та опалення, що особливо помітно в умовах зростання цін на електрику.

Серед переваг також слід виділити зростання комфорту за допомогою створення сценаріїв роботи. Система автоматично може адаптуватися до розкладу споживача, створюючи бажані умови освітлення протягом дня.

Крім того, така система має вагомість для забезпечення безпрецедентного рівня захисту старих та вибагливих творів мистецтва, меблів та килимів від ультрафіолету.

Повна інтеграція з екосистемою розумного дому дозволяє створювати комплексні сценарії, в яких жалюзі працюють в одній зв'язці з освітленням, клімат-контролем та системами безпеки. Продуктивність в офісах зростає завдяки освітленню робочого приміщення та відпаданню необхідності вставати й підходити, щоб регулювати освітлення. Особливо таке нововведення підтримують працівники з обмеженими фізичними можливостями

Автоматичне закриття жалюзі увечері або під час відсутності власника запобігає підгляданню з вулиці та створює безпеку майна.

Однак, автоматизовані системи мають ряд серйозних недоліків, одна з яких є висока вартість, що перешкоджає їх масові впровадження. Комерційні рішення компанії Somfy коштують від 150–500 € за одне вікно, а повна інтеграція в систему може перевищити 1000 €. Якщо взяти середню квартиру, то повна автоматизація може сягати ціни, що в 5 разів буде перевищувати вартість ручних жалюзі. Також сюди треба записати залучення кваліфікованих

фахівців на всіх етапах проектування, встановлення та налаштування комплексу. Адже помилки на будь-якому кроці можуть призвести до некоректної роботи або виходу системи з ладу [15].

Залежність від електроживлення ставить систему чутливою до перебоїв у електропостачанні, а ємності резервних акумуляторів вистачає лише на кілька циклів роботи.

У рамках регулярного обслуговування також слід взяти до уваги заміну батарейок в бездротових пристроях, оновлення програмного забезпечення, калібрування датчиків та профілактичне обслуговування деталей.

Серед недоліків слід вказати ризик кібербезпеки: отриманий контроль над системою або інформацію про життя власника призведе до ризиків втрати контролю над системою та витоку особистих даних користувача.

Надмірна складність рішень у випадку, коли потужна система використовується для виконання простого завдання може призводити до ускладнення експлуатації жалюзі.

А ще проблема сумісності та єдиного стандарту, як і раніше залишається актуальною, тому зміна системи або заміна деяких деталей стає складним завданням.

Якщо розглядати недоліки з економічної точки зору, то строк окупності таких жалюзі зазвичай становить від 3 до 7 років залежно від типу дому, кліматичних умов та вартості енергоносіїв. У об'єктах комерційних окупність системи може бути швидшою через великі масштаби економії та ефектом масовості під час встановлення.

Додатковим моментом є підвищення ринкової вартості об'єкта на 3–8 % при наявності такої сучасної системи автоматизації. Та як правило, операційні витрати включають незначні витрати на електроенергію для роботи системи, регулярне обслуговування та можливі ремонти. Однак, якщо система спроектована правильно, то витрати протягом всього терміну служби будуть низькими.

Перспективним варіантом для розв'язання проблеми енергоефективності є інтегрування в конструкцію жалюзі сонячних панелей, що дозволить гарантувати автономне живлення приводів, особливо для зовнішніх систем.

Підіб'ємо проміжні підсумки. При виборі системи керування жалюзі треба врахувати такі фактори [13]:

- бюджет проекту – один із визначальних критеріїв, різниця у вартості між ручними та автоматизованими системами може бути суттєвою;
- розмір та кількість жалюзі – у великих приміщеннях з великою кількістю вікон автоматизація, як правило, є більш практичною та ефективною, тому питання доцільності автоматизації залишається актуальним;
- частота використання – при інтенсивному щоденному використанні система забезпечує кращу економічну ефективність, а при нечастому – достатньо ручного керування;
- необхідність інтеграції – фактор, що часто схиляє вибір на користь смарт-рішень;
- фізичні можливості – люди похилого віку чи особи з обмеженими можливостями особливо зацікавлені в цьому питанні.

Ринок систем керування жалюзі розвивається під впливом технологічного прогресу та зростаючої потреби на комфорт й енергозбереження. Найбільш перспективним напрямком стає інтеграція штучного інтелекту, завдяки чому система навчається аналізувати звички споживача і автоматично оптимізувати роботу.

Водночас керування голосом через асистентів Amazon Alexa, Google Assistant та Apple HomeKit, стали стандартними опціями для преміальних систем. Перспективними також є біометричні датчики, які здатні визначати присутність людей у кімнаті та автоматично регулювати рівень освітлення та приватності [14].

Узагальнюючи все вищесказане, вибір між ручними та автоматизованими системами керування жалюзі залежить від індивідуальних потреб, можливостей та пріоритетів користувача.

Ручні системи зберігають свою актуальність завдяки простоті, надійності та доступності, особливо для замовника з обмеженим бюджетом. Автоматизовані системи відкривають нові можливості для створення комфортного та енергоефективного дому, що особливо важливі в комерційних будівлях та сучасних розумних домівках.

Водночас автоматизовані системи забезпечують принципово новий рівень комфорту, енергоефективності та інтеграції, що особливо важливо для сучасних розумних домів і комерційних об'єктів.

Раціональним рішенням є гібридні системи, які поєднують переваги обох типів і забезпечують необхідну гнучкість у роботі. При правильному виборі система керування жалюзі стане надійним помічником у створенні комфортного мікроклімату дому на довгі роки [14].

Висновки за розділом 1 і постановка задачі проектування

У першому розділі проведено детальний аналіз автоматизованих систем у комплексі «Розумний дім», з акцентом на їх архітектуру, функціональні можливості та особливості керування такими елементами, як жалюзі.

Сучасний «Розумний дім» являє собою інтегровану інформаційну систему, що об'єднує побутові та інженерні підсистеми в єдину керовану мережу. Його чотирирівнева архітектура забезпечує високий ступінь автоматизації, інтеграції, енергоефективності та безпеки. Завдяки використанню сучасних протоколів зв'язку досягається сумісність пристроїв різних виробників та можливість роботи системи навіть без постійного доступу до інтернету. Серед головних функцій «Розумного дому» виділяються керування мікрокліматом, системами безпеки, побутовими приладами, енергоресурсами та мультимедіа, що підвищує комфорт мешканців і знижує витрати.

Особливу увагу приділено системам керування жалюзі як важливому компоненту забезпечення комфорту, приватності та енергоефективності.

Проаналізовано ручні та автоматизовані механізми керування. Встановлено, що автоматизовані системи значно перевершують ручні за рівнем зручності, можливістю інтеграції з іншими підсистемами розумного дому, створенням складних сценаріїв та автоматичною реакцією на зовнішні умови.

Переваги автоматизованих систем керування жалюзі включають: підвищення енергоефективності приміщення, захист від надмірного сонячного випромінювання, інтеграцію з голосовими асистентами та мобільними додатками, покращення безпеки та комфорту для людей з обмеженими можливостями. Водночас є суттєві недоліки: висока вартість обладнання та монтажу, залежність від електроживлення, необхідність регулярного обслуговування, ризики кібербезпеки та певні проблеми сумісності.

Таким чином, попри наявність готових комерційних рішень у Somfy, Google Nest, Xiaomi тощо, питання створення доступних, гнучких та адаптивних систем жалюзі для інтеграції в «Розумний дім» залишається актуальним. Це обґрунтовує необхідність розробки мікроконтролерної системи на базі Arduino, яка поєднуватиме доступність, надійність, можливість локального та дистанційного керування, а також інтеграцію з датчиками освітленості й обмежувальним елементом.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖАЛЮЗІ

2.1. Структурно-функціональна схема системи керування та її опис

Принцип роботи автоматизованої системи керування жалюзі можна пояснити за допомоги структурно-функціональної схеми, що наведена на рис. 2.1. Вона показує взаємодію між елементами, що використовуються в системі для здійснення керування електродвигуном, відповідальним за позиціонування ламелей жалюзі, стосовно налаштувань, заданих в програмі керування.

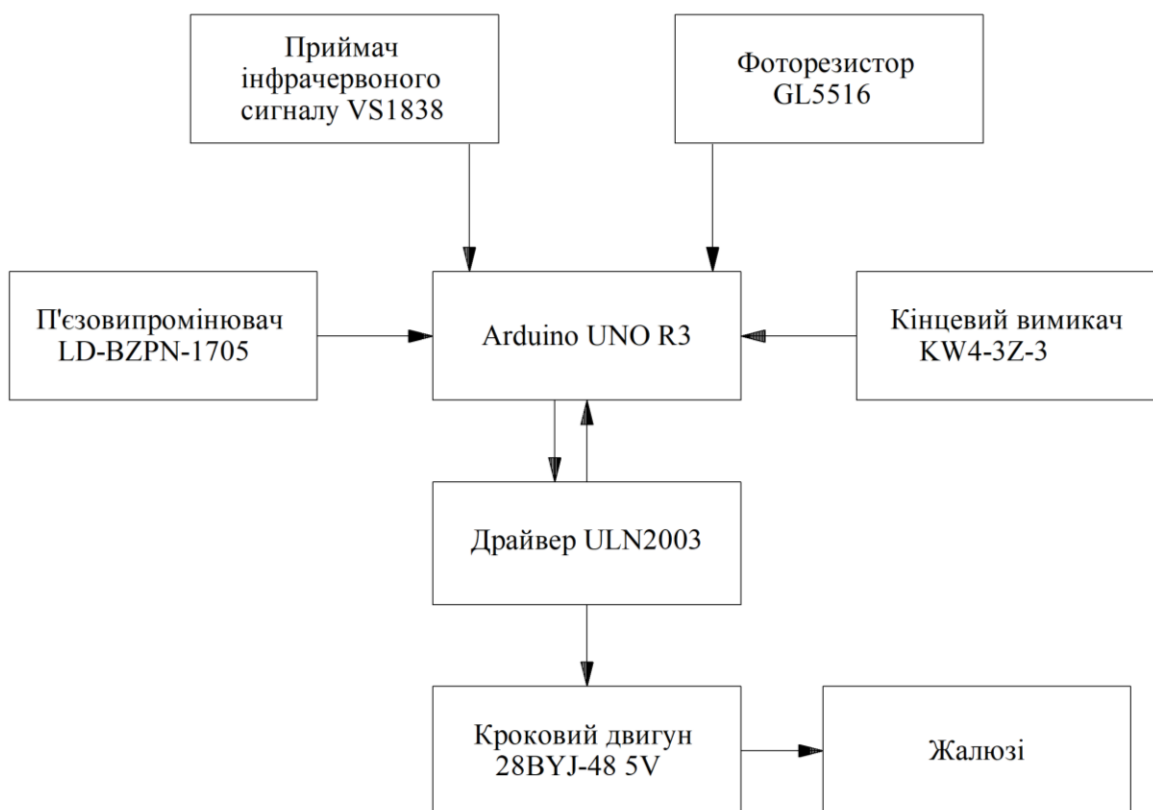


Рисунок 2.1 – Структурно-функціональна схема системи керування жалюзі

2.2. Схема підключення елементів системи керування жалюзі

У центрі конструкції розташований мікроконтролер Arduino Uno, який виступає головним керуючим вузлом та синхронізує дію всіх підсистем. Платформа обробляє сигнали з сенсорів, сприймає введення оператора та

функціонує в двох режимах: автоматичному (на основі рівня освітлення) та ручному (через ПЧ-пульт). Далі наведено опис підключень для забезпечення стабільності системи.

Рух жалюзі забезпечує кроковий двигун 28BYJ-48, що живиться від 5 В і гарантує високу точність позиціонування ламелей. Керування двигуном відбувається через драйвер ULN2003, який перетворює логічні сигнали контролера на потужні імпульси для привода.

Схема підключення драйвера:

- IN1 – до pin 11 Arduino;
- IN2 – до pin 10 Arduino;
- IN3 – до pin 9 Arduino;
- IN4 – до pin 8 Arduino;
- Vmotor – до +5V;
- GND – до GND.

Рівень освітлення визначається фоторезистором GL5516, дозволяючи системі в реальному часі коригувати положення жалюзі.

Підключення фоторезистора:

- 1 контакт – до +5V;
- 2 контакт – до pin A0 Arduino, також підтягнутий резистором 220 Ом до GND.

Для захисту від поломки та фіксації крайніх точок застосовано кінцевий вимикач KW4-3Z-3 (L15), що забезпечує надійне паркування механізму.

Підключення кінцевого вимикача:

- C – до GND;
- NO – до pin 2 Arduino.

П'єзовипромінювач видає звукові сигнали підтвердження команд.

Підключення п'єзоелемента:

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

ІЧ-приймач VS1838 відповідає за отримання команд з пульта в ручному режимі.

Підключення інфрачервоного приймача:

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

Подібна архітектура робить пристрій компактним та зручним у експлуатації, дозволяючи йому функціонувати як автономно, реагуючи на освітлення, так і за прямими вказівками користувача через ІЧ-пульт. Графічний редактор Fritzing (рис. 2.2) використано для візуалізації електричних зв'язків, що полегшує розуміння логіки підключення компонентів до Arduino UNO завдяки наочному зображенню деталей.

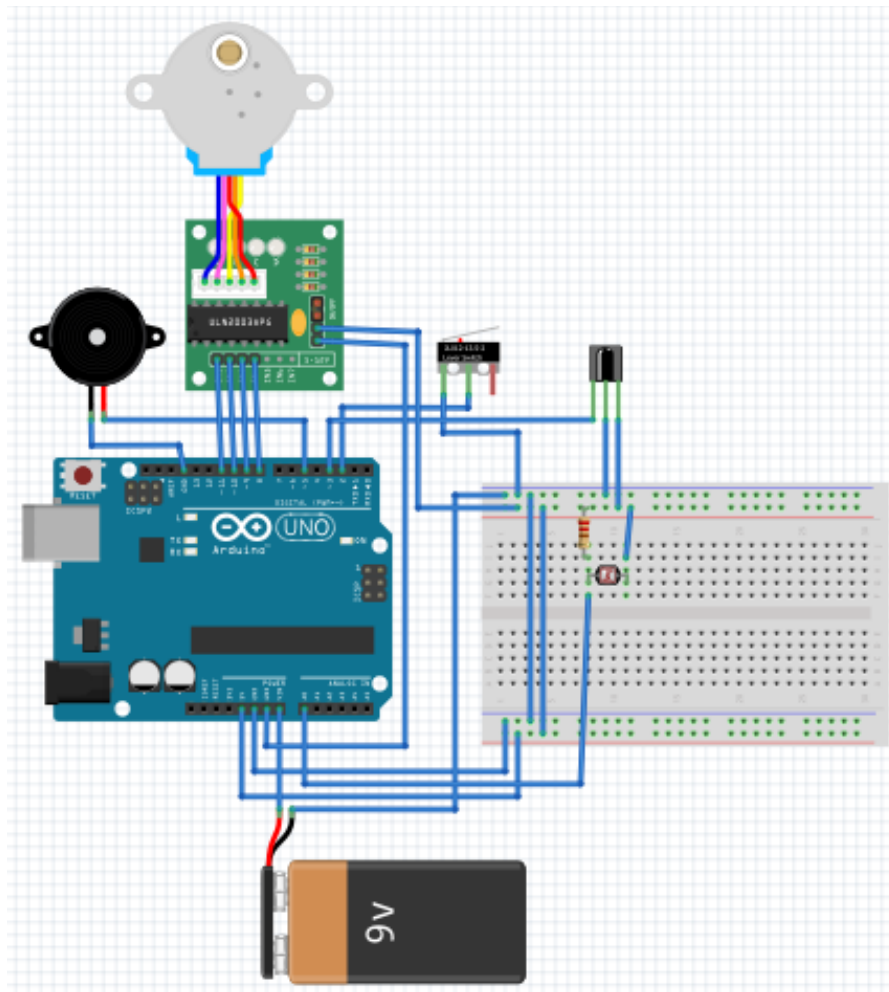


Рисунок 2.2 – Схема підключення елементів системи керування жалюзі

2.3. Вибір електричних компонентів для розумних жалюзі вікна

2.3.1 Плата Arduino Uno Rev3

Основною контролерною одиницею виступає плата Arduino Uno Rev3. До неї можна підключати електродвигуни, світлодіоди, сенсори, сервомотори, дисплеї, реле та інші компоненти, що залежать від інженерних рішень.

Мікроконтролер поєднує в собі функції процесора та периферії, а також містить блоки оперативної (ОЗП) та постійної (ПЗ) пам'яті. По суті, це найпростіша обчислювальна система, здатна автономно виконувати необхідні команди. Деякі бюджетні моделі використовують одноразову пам'ять, що не дозволяє оновлювати програму [21].

Зазвичай обирають варіанти з можливістю багаторазового перезапису. Сам мікроконтролер є окремим чіпом, його габарити, вартість та енергоспоживання в комплексі з іншим обладнанням досить незначні.

Важливо зберегти можливість розширення функціоналу в майбутньому за рахунок вільних портів. Тому використання готових плат може обмежити ці перспективи, оскільки друкована плата є вже завершеним продуктом для певних завдань.

Отже, плата Arduino Uno Rev3 з її широкими можливостями є найбільш поширеною платформою для наших цілей. Її розміри можна порівняти з розмірами кнопки телефону. Плата Arduino Uno Rev3 зображена на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Arduino UNO Rev3 [20]

Плата містить усі необхідні елементи для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів/виходів (з них 6 підтримують ШІМ), 6 аналогових входів, 16-мегагерцовий кварцовий резонатор, USB-роз'єм, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньосхемного програмування (ICSP) та кнопку скидання. Для початку роботи достатньо просто підключити живлення або з'єднати пристрій із ПК через USB-кабель.

Для підключення комп'ютера та програмування мікроконтролера в Arduino Uno вбудований перетворювач інтерфейсу USB у логіку TTL. Цю функцію виконує мікроконтролер ATmega16U2 [23].

Arduino UNO складається з головного процесора ATmega328P, мікроконтролера ATmega16U2 для зв'язку з ПК через USB, USB-роз'єму для завантаження програм, роз'ємів ICSP для прошивки ATmega16U2 і ATmega328P, шин живлення, цифрових та аналогових входів, кнопки RESET, світлодіодів живлення та передачі даних UART (RX, TX), а також світлодіода, підключеного до контакту 13 [23]. Розташування необхідних елементів на платі показано на рисунку 2.4.

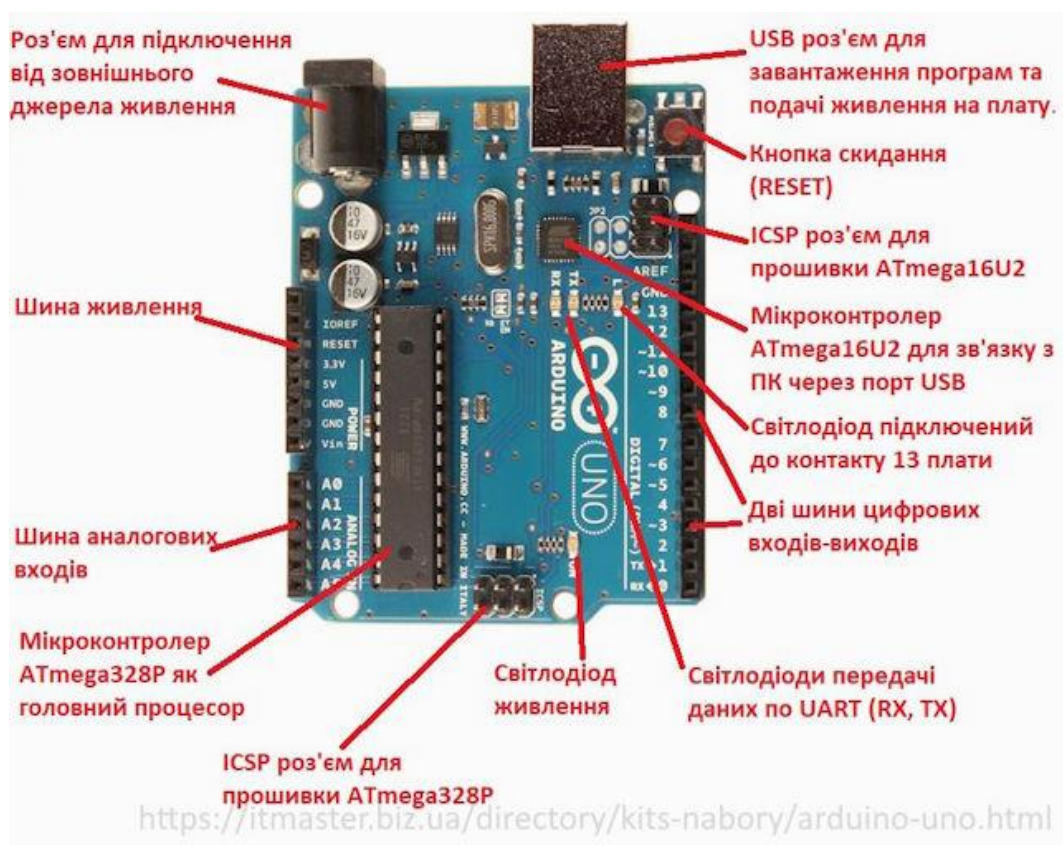


Рисунок 2.4 – Елементи на платі Arduino UNO Rev3 [23]

Arduino Uno може житися від USB або від зовнішнього джерела живлення, тип джерела обирається автоматично.

Діапазон робочої напруги зовнішнього джерела живлення становить від 6 до 20 В. Проте, якщо напруга живлення опускається нижче 7 В, це викликає зниження вихідної напруги на лінії 5 В, що може спричинити нестабільність у функціонуванні пристрою. З іншого боку, використання напруги, що перевищує 12 В загрожує перегрівом стабілізатора та можливим виходом плати з ладу. Враховуючи ці фактори, раціональним є застосування джерела живлення з напругою в межах 7–12 В. Нижче наведено опис контактів живлення, розміщених на платі [22]:

VIN – контакт для підключення зовнішнього джерела живлення (не пов'язаний із стабілізованими 5 В від USB або іншими джерелами). Через цей пін можна як подавати струм із зовнішнього адаптера, так і споживати його, якщо пристрій живиться саме від нього.

5V – вивід, через який подається стабілізована напруга 5 В від внутрішнього стабілізатора плати.

3V3 – контакт для отримання стабілізованої напруги 3,3 В. Максимально допустимий струм на цьому виводі не перевищує 50 мА.

GND – загальні масові контакти ("земля").

IOREF – контакт, який надає платам розширення інформацію про робочу напругу мікроконтролера Arduino, яка може становити 5 В або 3,3 В.

ATmega328P – основний 8-розрядний мікроконтролер плати, що виконує код програми. Усі інші компоненти на платі виконують допоміжні функції.

Плата Uno постачається з підтримкою трьох типів пам'яті за замовчуванням:

- Flash-пам'ять об'ємом 32 кБ слугує основним сховищем для програмного коду. Під час прошивки контролера скетч записується саме в цей сегмент. З цього об'єму 2 кБ виділено під bootloader – програму, яка ініціалізує систему, забезпечує завантаження через USB та запускає скетч.

- Оперативна пам'ять SRAM об'ємом 2 кБ використовується для зберігання змінних та об'єктів, створених під час виконання програми. Оскільки ця пам'ять є енергозалежною, при вимкненні живлення всі дані в ній знищуються.
- Енергонезалежна пам'ять EEPROM об'ємом 1 кБ дозволяє зберігати інформацію навіть після відключення живлення. Для доступу до EEPROM необхідно використовувати спеціальну бібліотеку, вбудовану в Arduino IDE. Важливо враховувати обмеження на кількість циклів перезапису, характерні для технології EEPROM.

Мікроконтролер на платі оснащений 14 цифровими контактами (входи/виходи), керування якими здійснюється через функції `pinMode()`, `digitalWrite()` та `digitalRead()`. Напруга на виходах не повинна перевищувати 5 В, а максимальний струм на кожному цифровому виводі становить 40 мА. Деякі виходи можуть бути перепрограмовані для виконання інших функцій [23].

Контакти 0 (RX) та 1 (TX) призначені для прийому (RX) та передачі (TX) даних через послідовний інтерфейс. Вони з'єднані з відповідними пінами мікросхеми ATmega8U2, яка працює як перетворювач USB-UART.

Контакти 2 і 3 можуть функціонувати як зовнішні джерела переривань, що спрацьовують при зміні рівня сигналу (фронт, спад або низький рівень).

Виводи 3, 5, 6, 9, 10 та 11 підтримують генерацію 8-бітових ШІМ-сигналів за допомогою функції `analogWrite()`, що імітує аналогові значення.

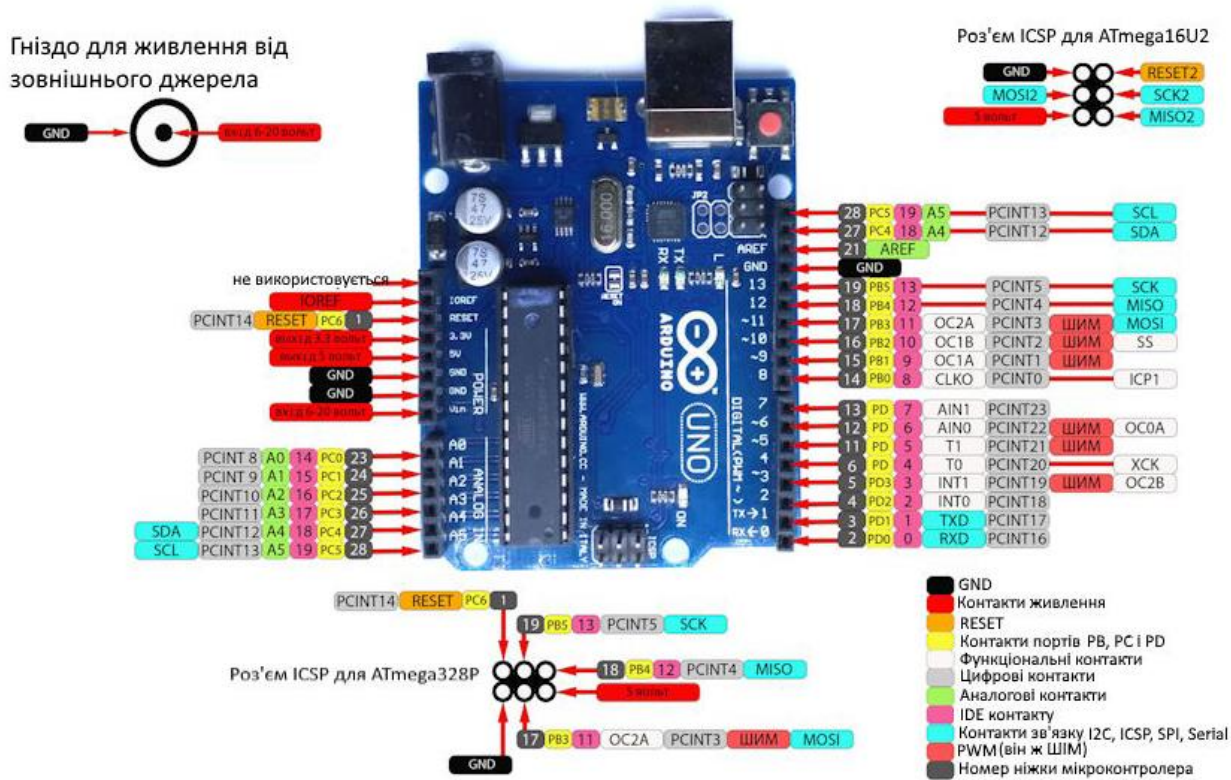
Крім того, контакти 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) та 13 (SCK) можуть бути використані для роботи з інтерфейсом SPI.

Світлодіод, інтегрований у схему та підключений до 13-го піна, слугує індикатором стану програми: високим рівнем сигналу (HIGH) він засвічується, а низьким (LOW) – гасне [23].

Плата Arduino Uno оснащена шістьма аналоговими входами (A0–A5), які перетворюють аналогову напругу на 10-бітне числове значення. Стандартно

вимірювання проводиться в межах 0–5 В, проте верхню межу можна коригувати за допомогою піна AREF та функції `analogReference()`.

Деякі аналогові контакти виконують також функції інтерфейсу TWI: A4 (SDA) та A5 (SCL). За допомогою бібліотеки `Wire` ці виводи забезпечують зв'язок через протокол TWI [23]. Схема розміщення портів на платі зображена на рисунку 2.5.



Параметр	Значення
Постійний струм для виведення	3,3В при 50 мА
Флеш-пам'ять	32 кБ з яких 0,5 кБ використовуються для завантажувача
ОЗП	2 кБ
Незалежна пам'ять	1 кБ
Тактова частота	16 МГц

Для системи керування жалюзі обрано Arduino Uno, оскільки це одна з найпопулярніших та найзручніших платформ для проектування. Мікроконтролер ATmega328P надає необхідну обчислювальну потужність, широкий перелік цифрових та аналогових контактів і забезпечує низьке енергоспоживання. Додатковим плюсом є активна спільнота розробників, що полегшує процес створення проєктів та пошук готових бібліотек.

2.3.2 Кінцевий вимикач KW4-3Z-3 (L15)

Кінцевий вимикач – це механічний сенсор положення, дія якого базується на спрацюванні натискної планки, що замикатиме або розриватиме електричні кола. Пристрій має три контакти: спільний (C), нормально замкнений (NC) та нормально розімкнений (NO). Спільний контакт під'єднують до «землі», тоді як NC і NO реалізують два типові режими комутації. У стані спокою NC є замкнутим, а NO – розімкнутим. Натискання на планку призводить до розмикання NC та замикання NO [25]. Зовнішній вигляд вимикача показано на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Кінцевий вимикач KW4-3Z-3 (L15) [24]

Характеристики кінцевого вимикача KW4-3Z-3 (L15)

Параметр	Значення
Довжина важеля	15 мм
Хід кнопки	1 мм
Хід важеля	2 мм
Максимальний струм	5 А
Максимальна напруга	250 В
Кількість виводів	3

Даний пристрій застосовується як фізичний лімітер для фіксації найвищої точки положення жалюзі. Щоразу після увімкнення живлення або перезавантаження системи жалюзі переміщуються до вимикача, доки він не спрацює, що визначає верхню межу ходу. Завдяки простоті будови, високому рівню надійності та чіткому перемиканню станів HIGH/LOW, кінцевий вимикач KW4-3Z-3 (L15) є раціональним рішенням для точного позиціонування та безпечної експлуатації на платформі Arduino [24].

2.3.3 Фоторезистор GL5516

GL5516 – це напівпровідниковий компонент, електричний опір якого змінюється залежно від інтенсивності світлового потоку. Його робота ґрунтується на явищі внутрішнього фотоефекту: із збільшенням рівня освітлення опорний показник пристрою знижується.

До основних характеристик GL5516 належать темновий опір (значення в повній темряві) та світловий опір (опір при заданій яскравості). Також суттєвим є час реакції, який визначає швидкість відгуку елемента на зміни освітленості. Спектральна чутливість вказує на діапазон довжин хвиль, у межах якого пристрій найефективніше змінює свій опір, що є вирішальним фактором при підборі компонента для специфічних завдань [26]. Зовнішній вигляд фоторезистора GL5516 показано на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Фоторезистор GL5516 [27]

Таблиця 2.3

Характеристики фоторезистора GL5516

Параметр	Значення
Робоча напруга	3,3–5 В
Час відгуку	30 мс
Максимальна потужність	90 мВт
Світловий опір (10 люкс)	5–10 кОм
Темновий опір (0 люкс)	0,5 МОм
Робоча температура	-30...+70 °С

Модель GL5516 була обрана завдяки її простоті, доступній вартості та низькому енергоспоживанню, що робить її раціональним рішенням для автоматизації процесу підйому чи опускання жалюзі відповідно до зовнішнього освітлення. У схемі дільника напруги цей датчик формує аналоговий сигнал амплітудою до 5 В, який сумісний із аналоговим входом АЦП мікроконтролера Arduino [28].

Принцип функціонування схеми базується на регулюванні електричного опору фоторезистора під дією світла. Зі зростанням яскравості опір падає, що спричиняє зміну потенціалу в точці з'єднання зі стабільним резистором, зокрема, його підвищення. Цей сигнал подається на мікроконтролер, передаючи поточний рівень освітленості. Мікроконтролер виконує аналого-цифрове перетворення, і отримані дані використовуються в алгоритмах керування, наприклад, для налаштування яскравості або положення жалюзі.

Застосування фоторезистора є доцільним, оскільки воно забезпечує автоматичне визначення рівня освітленості, дозволяючи мікроконтролеру приймати рішення про підняття або опускання жалюзі.

2.3.4 Драйвер ULN2003

Інтегральна схема ULN2003 реалізована на базі семи транзисторних ключів Дарлінгтона. Кожен із цих каналів дозволяє керувати навантаженням зі струмом до 500 мА та напругою до 50 В, що забезпечує підсилення слабких керуючих імпульсів. Пристрій активно застосовується для комутації індуктивних споживачів, зокрема реле та крокових двигунів. Завдяки простоті архітектури, широкому функціоналу та зручності інтеграції, цей драйвер отримав високу оцінку серед інженерів-робототехніків [31]. Драйвер UNL2003 для керування двигуном наведений на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Драйвер керування двигуном UNL2003 [31]

Таблиця 2.4

Характеристики драйвера ULN2003

Параметр	Значення
Робоча температура	-40...+70 °C
Струм колектора	500 мА на канал
Максимальна струм	600 мА

Параметр	Значення
Напруга живлення	5-12 В
Кількість каналів	7

Він слугує силовим комутатором для виконавчих механізмів, забезпечуючи підсилення сигналу та надійний захист керуючого пристрою. ULN2003 захищає мікроконтролер від впливу зворотних струмів та перевантажень, одночасно спрощуючи схему підключення. Крім того, даний драйвер повністю сумісний з усіма варіантами плат Arduino [29, 30].

2.3.5 Розрахунок параметрів приводного двигуна

Крутного моменту двигуна повинно бути достатньо для підйому жалюзі з урахуванням маси та тертя в механізмі.

Для початку проведемо розрахунок статичного моменту. Момент для утримання жалюзі в піднятому положенні:

$$M_{\text{ст}} = m \cdot r \cdot g \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (2.1)$$

де $m = 0,2 \text{ кг}$ – маса жалюзі;

- $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

- $r = 0,01 \text{ м}$ (10 мм) – радіус барабана, на який намотується шнур;

- $\eta = 0,7$ – коефіцієнт корисної дії механізму.

Підставляючи наші значення, отримаємо:

$$M_{\text{ст}} = 0,2 \cdot 9,8 \cdot 0,01 \cdot \frac{1}{0,7} = 0,028 \text{ (Н·м)}, \quad (2.2)$$

Тепер, знаючи статичний момент, ми можемо розрахувати динамічний:

$$M_{\text{д}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{ін}}, \text{ Вт}, \quad (2.3)$$

де $M_{\text{ін}}$ – інерційний момент.

Час руху жалюзі:

$$t_{\text{руху}} = t_1 + t_2 + t_3, \quad (2.4)$$

де $t_1 = \frac{v_p}{a}$ – час розгону;

- $t_2 = \frac{h}{v_p}$ – час рівномірного руху;

- $t_3 = \frac{v_p}{a}$ – час гальмування;

- v_p – робоча швидкість; $h = 1$ м – висота підйому жалюзі; a – прискорення.

Приймаємо час руху $t_{\text{руху}} = 12$ с; час розгону і гальмування $t_1 = t_3 = 0,5$ с.

Тоді

$$t_2 = t_{\text{руху}} - t_1 - t_3 = 11 \text{ с.} \quad (2.5)$$

Визначаємо робочу швидкість та прискорення:

$$v_p = \frac{h}{t_2} = \frac{1}{11} = 0,091 \text{ (м/с);} \quad (2.6)$$

$$a = \frac{v_p}{t_1} = \frac{0,091}{0,5} = 0,182 \text{ (м/с}^2\text{)}. \quad (2.7)$$

Робоча кутова швидкість і кутове прискорення:

$$\omega_p = \frac{v_p}{r} = \frac{0,091}{0,01} = 9,1 \text{ (рад/с);} \quad (2.8)$$

$$\varepsilon = \frac{a}{r} = \frac{0,182}{0,01} = 18,2 \text{ (рад/с}^2\text{)}. \quad (2.9)$$

Момент інерції приведеної маси:

$$J = mr^2 = 0,2 \cdot 0,01^2 = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}. \quad (2.10)$$

Моментом інерції ротора двигуна нехтуємо.

Інерційний момент розраховується за формулою:

$$M_{\text{ін}} = J \cdot \varepsilon = 0,2 \cdot 10^{-4} \cdot 18,2 = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ (Н} \cdot \text{м)}, \quad (2.11)$$

$$M_{\text{д}} = 0,028 + 3,6 \cdot 10^{-4} = 0,028 \text{ (Н} \cdot \text{м)}. \quad (2.12)$$

Таким чином, для привода підйому жалюзі потрібний двигун, що забезпечуватиме крутний момент 0,028 Н·м при кутовій швидкості 9,1 рад/с.

2.3.6 Кроковий двигун 28BYJ-48 5V

Модель двигуна 28BYJ-48 представляє собою компактний і бюджетний кроковий привод, що широко застосовується в саморобних електронних конструкціях. Його робоча напруга становить 5 В, що спрощує інтеграцію з мікроконтролерами, зокрема Arduino. Завдяки наявності редуктора з високим передаточним числом, пристрій генерує значний крутний момент і здатний здійснювати мінімальні кроки, що гарантує високу точність та плавність переміщення [34].

Хоча цей двигун не призначений для роботи на високих швидкостях або під великими механічними навантаженнями, він відрізняється надійністю та достатньою точністю для легких задач, таких як керування камерними візками, робототехнічними моделями та системами домашньої автоматизації. Саме ці властивості роблять крокові двигуни раціональним вибором для застосувань, що вимагають прецизійного контролю, наприклад у 3D-принтерах, фрезерних верстатах з ЧПК та іншому автоматизованому обладнанні [32]. Зовнішній вигляд моделі 28BYJ-48 5V представлено на рисунку 2.9.

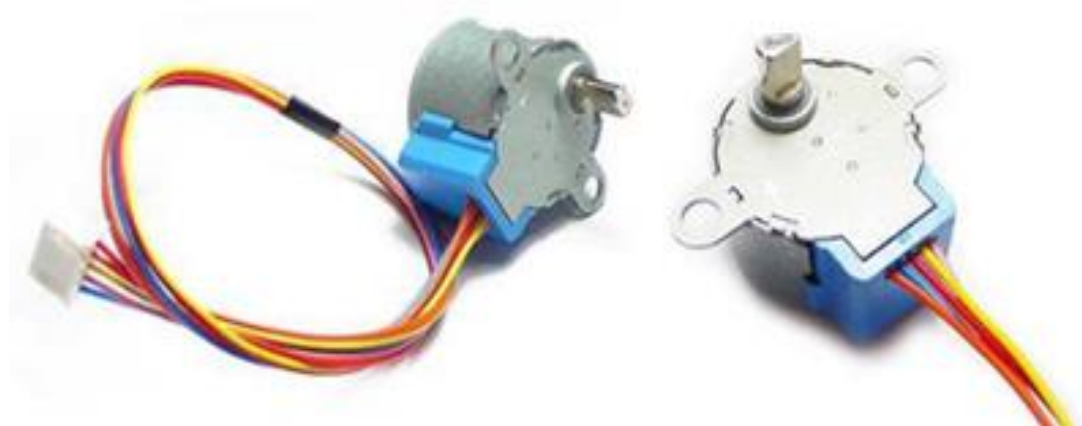


Рисунок 2.9 – Кроковий двигун 28BYJ-48 5V [32]

Таблиця 2.5

Характеристики крокового двигуна 28BYJ-48 5V

Параметр	Значення
Напруга живлення	5 В
Кількість фаз	4
Редуктор	1/64

Параметр	Значення
Кількість кроків на оберт	4096
Частота	100 Гц
Опір обмотки	50 Ом
Шум	40 дБ
Робочий струм	240 мА
Крутний момент	34 мН·м

Номінальна кутова швидкість двигуна з урахуванням вбудованого редуктора:

$$\omega_n = \frac{2\pi f}{i_p} = \frac{2\pi \cdot 100}{64} = 9,8 \text{ (рад/с)}. \quad (2.13)$$

Таким чином, робоча частота двигуна $\omega_p = 9,1$ рад/с складає 92% його номінальної частоти. Тобто обраний двигун задовольняє вимогам за номінальною швидкістю.

Номінальний момент двигуна 34 мН·м також задовольняє вимогам, оскільки перевищує потрібний момент 28 мН·м на 18%.

У розробленій системі двигун модель 28BYJ-48 виконуватиме функцію привода для регулювання положення жалюзі. Він забезпечує безударне і точне переміщення полотна, що критично важливо для коректного позиціонування ламелей та уникнення різких ривків. Низький рівень енергоспоживання робить цей двигун ідеальним рішенням для інтеграції в екосистему «Розумного дому» [33].

2.3.7 Інфрачервоний приймач VS1838

Інфрачервоний приймач являє собою компактний інтегральний модуль, створений для захоплення та демодуляції ІЧ-сигналів від побутових пультів дистанційного керування. Робота пристрою здійснюється на стандартній частоті 38 кГц, що забезпечує його сумісність із більшістю пультів для телевізорів, аудіосистем, кондиціонерів та іншої електроніки.

Такий приймач є простим і доступним рішенням для обробки інфрачервоних сигналів. Зовнішній вигляд компонента представлено на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 – Інфрачервоний приймач VS1838 [37]

Таблиця 2.6

Характеристики інфрачервоного приймача VS1838

Параметр	Значення
Максимальна дальність дії	13 м
Напруга живлення	2,7–5,5 В
Робоча частота	38 кГц
Струм	0,4–1,5 мА
Кут огляду	90°

Підключення модуля до мікроконтролера відрізняється високою простотою: він оснащений трьома контактами – VCC (живлення), GND ("земля") та OUT (вихід), що спрощує процес швидкого прототипування. Пристрій характеризується підвищеною чутливістю та наявністю ефективного фільтра, який пригнічує завади від зовнішнього освітлення [35].

Головною перевагою є інтегрована схема, яка не лише приймає, а й демодулює сигнал, видаючи на вихід готовий цифровий потік даних.

Завдяки малим габаритам, енергоефективності, надійності та простоті використання, модуль VS1838 отримав широке поширення серед розробників електроніки.

Цей компонент ідеально підходить для проєктів на основі популярних мікроконтролерів, таких як Arduino Uno, Nano, ESP8266 та ESP32. Використовуючи спеціалізовані бібліотеки (наприклад, IRremote), можна легко декодувати натискання кнопок будь-якого пульта та застосовувати отримані команди для керування світлодіодами, сервоприводами, реле або взаємодії з іншими пристроями [36].

2.3.8 Макетна плата MB-102

Макетна плата — це універсальна безпаяна монтажна плата, що використовується для легкого монтажу електронних пристроїв. Вона має класичну структуру: дві бокові шини живлення та центральна частина, розділена на дві секції по 400 контактів. Загалом плата містить 830 отворів, що дозволяє швидко розміщувати велику кількість компонентів без необхідності паяння.



Рисунок 2.11 – Макетна плата MB-102 [39]

Плата виконана з ABS-пластику, крок отворів стандартний 2,54 мм, розрахована на напругу до 36 В і струм до 1 А на контакт, а її розміри 165 × 55

× 10 мм. Макетна плата MB-102 буде використовуватися для монтажу деяких елементів, а також вона дозволить швидко вносити зміни в схему [38].

2.3.9 П'єзовипромінювач LD-BZPN-1705

П'єзоперетворювач – це пристрій електроакустичного типу, який функціонує завдяки п'єзоелектричному явищу, тобто можливості матеріалів деформуватися під дією електричного поля, утворюючи таким чином звукові коливання. З огляду на ці властивості, п'єзовипромінювачі елементи широко використовуються в електроніці: у дитячих іграшках, годинниках, побуті та системах сигналізації. Порівняно зі звичайними електромагнітними перетворювачами, конструкція таких пристроїв є простішою, що забезпечує їм низьку собівартість [41]. На рисунку 2.12 показано п'єзовипромінювач моделі LD-BZPN-1705.



Рисунок 2.12 – П'єзовипромінювач LD-BZPN-1705[40]

Таблиця 2.7

Характеристики п'єзовипромінювача LD-BZPN-1705

Параметр	Значення
Робоча напруга	1–30 В
Споживання струму	1 мА
Рівень звуку	78 дБ
Частотний діапазон	4000 Гц
Ємність	15 нФ

Параметр	Значення
Діаметр	17 мм
Висота	9 мм
Робоча температура	-20...+70 °C

У розроблюваній системі модель LD-BZPN-1705 застосовується для звукового оповіщення про роботу обладнання. Він безпосередньо підключений до цифрового виходу мікроконтролера та видає короткі звукові сигнали під час виконання команд, досягнення крайніх положень жалюзі, а також у разі виявлення несправностей.

Висновки за розділом 2

У другому розділі було розглянуто апаратну частину розроблюваної системи автоматизованого керування жалюзі.

На основі аналізу функціональних вимог до системи була розроблена структурно-функціональна схема, яка відображає взаємодію основних елементів: мікроконтролера, виконавчого механізму, датчиків і пристроїв введення інформації. Центральним елементом системи обрано мікроконтролерну плату Arduino Uno Rev3, яка забезпечує достатню обчислювальну потужність, необхідну кількість цифрових та аналогових входів/виходів, а також зручність програмування і подальшого розширення системи.

Для реалізації механічного переміщення жалюзі обрано кроковий двигун 28BYJ-48 з редуктором у поєднанні з драйвером ULN2003. Таке рішення забезпечує точне позиціонування, простоту керування та низьке енергоспоживання. Для визначення крайнього верхнього положення жалюзі застосовано кінцевий вимикач KW4-3Z-3 (L15), що дозволяє виконувати надійне початкове паркування механізму після кожного ввімкнення.

Контроль рівня природного освітлення здійснюється за допомогою фоторезистора GL5516, підключеного за схемою дільника напруги. Дистанційне керування системою в ручному режимі забезпечує інфрачервоний приймач VS1838, а звукова індикація команд і стану системи реалізована на базі п'єзовипромінювача LD-BZPN-1705. Монтаж елементів виконано на макетній платі MB-102, що дозволило швидко зібрати та налагодити прототип.

Всі обрані компоненти є доступними за ціною, добре документованими та повністю сумісними між собою. Їх технічні характеристики відповідають поставленим вимогам щодо надійності, точності позиціонування та стабільності роботи в умовах побутового використання.

Таким чином, у результаті проведеного проектування апаратної частини створено компакту, функціональну та масштабовану систему керування жалюзі, яка може працювати як в автоматичному режимі (за рівнем освітленості), так і в ручному (з пульта дистанційного керування). Розроблена апаратна платформа створює надійну основу для реалізації програмного забезпечення, яке буде розглянуто в наступному розділі.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЖАЛЮЗІ ДЛЯ ВІКНА

3.1 Алгоритм функціонування системи керування жалюзі

Для створення ПЗ потрібно сформулювати алгоритм, що містить усі необхідні дії для регулювання освітлення. Розробка включає побудову схеми функціонування пристрою, яка забезпечує моніторинг рівня світла та положення жалюзі. Система підтримує як ручне, так і автоматичне керування, адаптуючись до зовнішніх факторів та вказівок користувача.

Після завантаження бібліотек перевіряється стан кінцевого датчика. Якщо він спрацював, двигун піднімає жалюзі. Наступним кроком система чекає на сигнал від інфрачервоного приймача та виконує відповідну дію:

- Підйом, якщо вони опущені й обрано ручний режим. Лунає звуковий сигнал, жалюзі піднімаються, встановлюється прапорець «підняті». Якщо умови не збігаються, подається лише попередження.

- Опускання, якщо вони підняті й обрано ручний режим. Лунає сигнал, жалюзі опускаються, фіксується прапорець «опущені». Якщо умови не збігаються, подається лише попередження.

- Перемикання режимів супроводжується коротким звуком для ручного та довгим – для автоматичного.

- У автоматичному режимі вимірюється рівень освітлення; за темряви та піднятих жалюзі вони закриваються самостійно.

- При наявності світла та опущених жалюзі вони відкриваються.

На рисунку 3.1 наведено алгоритм системи керування жалюзі.



Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи жалюзі

3.2 Розробка програмного забезпечення розумних жалюзі

Отримавши готовий макет пристрою та алгоритм його функціонування, можна переходити до створення програмного коду для мікроконтролера Arduino Uno. Розробка ПЗ для цієї платформи здійснюється за допомогою мови Wiring, яка базується на спрощеному варіанті C++. Весь процес написання та завантаження коду відбувається в інтегрованому середовищі Arduino IDE.

Структуру програми доцільно розбити на п'ять основних блоків: підключення бібліотек та ініціалізація об'єктів; визначення змінних; функція `setup()`; допоміжні підпрограми; функція `loop()`.

Перший етап передбачає підключення необхідних бібліотек та оголошення об'єктів. У даному проєкті задіяно дві бібліотеки: `IRremote` для декодування сигналів з ІЧ-пульта та `AccelStepper` для керування кроковим двигуном 28BYJ-48 через драйвер `ULN2003`. Також фіксуються номери контактів (піни) для підключення компонентів відповідно до електричної схеми:

```
#include <IRremote.h>           // Підключаємо бібліотеку для роботи з  
інфрачервоним пультом
```

```
#include <AccelStepper.h>       // Підключаємо бібліотеку для керування  
кроковим двигуном
```

```
#define IN1    11              // Пін IN1 драйвера ULN2003
```

```
#define IN2    10              // Пін IN2 драйвера ULN2003
```

```
#define IN3     9              // Пін IN3 драйвера ULN2003
```

```
#define IN4     8              // Пін IN4 драйвера ULN2003
```

```
#define Buzzer  5              // Пін п'єзовипромінювача (звуковий сигнал)
```

```

#define Endstop 2          // Пін кінцевого вимикача

#define Photores A0        // Пін фоторезистора (аналоговий вхід)

#define Ir_Pin 3           // Пін інфрачервоного приймача VS1838

IRrecv irrecv(Ir_Pin);    // Створюємо об'єкт для прийому сигналів з
пульта

decode_results results;    // Змінна, в яку буде зберігатися прийнятий код
з пульта

AccelStepper stepper(AccelStepper::FULL4WIRE, IN1, IN2, IN3, IN4);    //
Ініціалізація крокового двигуна для ULN2003

У другому блоці оголошуються глобальні змінні та константи, такі як
прапорець стану жалюзі blinds_up, змінна режиму роботи manual_mode, а також
пороги чутливості фоторезистора LIGHT_LOW та LIGHT_HIGH:

boolean blinds_up = true;  // Прапор стану жалюзі: true = відкриті, false =
закриті

boolean manual_mode = false; // Режим роботи: false = автоматичний, true
= ручний

int sensorValue = 0;       // Змінна для зберігання значення з
фоторезистора

// Пороги освітленості

#define LIGHT_LOW 200      // Якщо освітленість нижче цього значення
то закривати жалюзі

#define LIGHT_HIGH 400     // Якщо освітленість вище цього значення
то відкривати жалюзі

```

Третя частина – це функція `setup()`, де відбувається початкова конфігурація всіх задіяних пінів, запуск ІЧ-приймача, налаштування параметрів руху крокового двигуна (максимальної швидкості та прискорення), а також калібрування початкового положення жалюзі за допомогою кінцевого вимикача:

```
void setup() {  
  
    pinMode(Endstop, INPUT_PULLUP); // Налаштовуємо пін кінцевика як  
    вхід з підтягуючим резистором  
  
    pinMode(Beeper, OUTPUT);        // Налаштовуємо пін п'єзо як вихід  
  
    pinMode(Photor, INPUT);         // Налаштовуємо пін фоторезистора як  
    вхід  
  
    irrecv.enableIRIn();             // Запускаємо прийом сигналів з ІЧ-пульта  
  
    Serial.begin(9600);              // Запускаємо Serial-порт для виведення  
    налагоджувальної інформації  
  
    // Налаштування руху двигуна  
  
    stepper.setMaxSpeed(800);        // Встановлюємо максимальну швидкість  
  
    stepper.setAcceleration(500);    // Встановлюємо прискорення  
  
    Serial.println("Початок калібрування...");  
  
    // Калібрування - підйом жалюзі до кінцевого вимикача  
  
    long homing = -1;  
  
    while (digitalRead(Endstop) == HIGH) { // Поки кінцевик не натиснутий  
    (HIGH)
```

```
stepper.moveTo(homing--);    // Задаємо цільову позицію (рухаємось в  
негативному напрямку)
```

```
stepper.run();              // Виконуємо один крок двигуна
```

```
delay(2);                  // Невелика затримка для стабільності
```

```
}
```

```
stepper.setCurrentPosition(0); // Скидаємо поточну позицію в 0
```

```
blinds_up = true;          // Після калібрування вважаємо, що жалюзі  
підняті
```

```
Serial.println("Калібрування завершено. Жалюзі відкриті.");
```

```
}
```

Четвертий блок містить допоміжні функції: `beep()` і `warning_beep()` для звукових сигналів, `readLight()` для зчитування та усереднення даних з фоторезистора, `raiseBlinds()` для підняття жалюзі до упору та `lowerBlinds()` для їх опускання на задану кількість кроків:

```
void beep() {              // Короткий одиночний сигнал (успішна дія)
```

```
    analogWrite(Beeper, 150);
```

```
    delay(60);
```

```
    analogWrite(Beeper, 0);
```

```
}
```

```
void warning_beep() {      // Подвійний сигнал попередження (дія  
неможлива)
```

```
    analogWrite(Beeper, 500);
```

```

delay(70);

analogWrite(Beeper, 0);

delay(50);

analogWrite(Beeper, 500);

delay(70);

analogWrite(Beeper, 0);

}

// Читання освітленості з усередненням

int readLight(int samples = 10) {

    unsigned long sum = 0;

    for (int i = 0; i < samples; i++) {

        sum += analogRead(Photores); // Зчитуємо значення з фоторезистора

        delay(5);

    }

    return sum / samples;          // Повертаємо середнє значення

}

// Відкриття жалюзі

void raiseBlinds() {

    long pos = -1;

    while (digitalRead(Endstop) == HIGH) { // Рухаємося, поки не
натиснеться кінцевик

```

```

    stepper.moveTo(pos--);

    stepper.run();

    delay(2);

}

stepper.setCurrentPosition(0);

blinds_up = true;

}

// Закриття жалюзі

void lowerBlinds() {

    stepper.moveTo(6800);           // Рухаємося на 6800 кроків вниз

    while (stepper.distanceToGo() != 0) { // Поки не дійшло до цільової
позиції

        stepper.run();           // Виконуємо крок

    }

    blinds_up = false;

}

```

Остання, п'ята частина – це функція `loop()`, яка забезпечує безперервну обробку команд з пульта дистанційного керування, перемикання між ручним та автоматичним режимами, а також автоматичне регулювання положення жалюзі залежно від рівня освітленості, отриманого з фоторезистора:

```

void loop() {

    if (irrecv.decode(&results)) { // Якщо отримали сигнал з пульта

```

```

unsigned long res = results.value;    // Зберігаємо код натиснутої кнопки

switch (res) {                        // Перевіряємо, яка кнопка натиснута

    case 0xFFFFE01F:                 // Код кнопки "Підняти"

        if (!blinds_up && manual_mode) { // Якщо жалюзі опущені і режим ручний

            Serial.println("Відкрити жалюзі");

            beep();

            raiseBlinds();

            Serial.println("Жалюзі підняті");

        } else {

            warning_beep();           // Інакше - сигнал помилки

        }

        break;

    case 0xFFFFA857:                 // Код кнопки "Опустити"

        if (blinds_up && manual_mode) {

            Serial.println("Закрити жалюзі");

            beep();

            lowerBlinds();

            Serial.println("Жалюзі опущені");

        } else {

            warning_beep();

```



```

    }

    break;

case 0xFFFF906F:                // Кнопка перемикання режиму керування

    manual_mode = !manual_mode;

    if (manual_mode) {

        Serial.println("Ручне керування");

        beep(); delay(100); beep();

    } else {

        Serial.println("Автоматичне керування");

        beep();

    }

    break;

}

irrecv.resume();                // Готуємося приймати наступну команду

}

if (!manual_mode) {              // Якщо увімкнено автоматичний режим

    sensorValue = readLight(10);    // Зчитуємо рівень освітленості

    if (sensorValue < LIGHT_LOW && blinds_up) {    // Мало світла і жалюзі
підняті

        Serial.println("Авто: мало світла → закриваємо");

        lowerBlinds();

```

```

    }

    if (sensorValue > LIGHT_HIGH && !blinds_up) {    // Багато світла і жалюзі
опущені

        Serial.println("Авто: багато світла → відкриваємо");

        raiseBlinds();

    }

}

delay(100);    // Невелика пауза для стабільності роботи програми

}

```

Після завершення процесу компіляції з'явилося вікно, яке показано на рисунку 3.2.

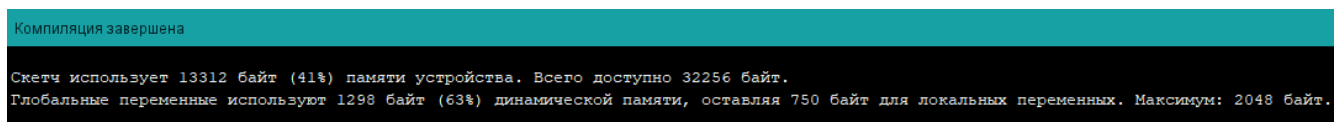


Рисунок 3.2 – Результат компіляції

Отже, розроблене програмне забезпечення повністю реалізує заданий алгоритм і дозволяє системі ефективно працювати в автоматичному та ручному режимах керування жалюзі.

Висновки за розділом 3

У даному розділі запропоновано алгоритм дії системи керування жалюзі та розроблено код для мікроконтролера Arduino Uno Rev3. Сформовано чітку схему роботи пристрою, яка гарантує стабільну роботу в двох режимах:

автоматичному (на основі рівня освітленості) та ручному (за допомогою ПЧ-пульта).

Алгоритм передбачає початкове калібрування положення ламелей, обробку сигналів з фоторезистора, логіку прийняття рішень, захист від механічних пошкоджень та звукове підтвердження виконання команд. На основі цього алгоритму створено програмне забезпечення мовою Wiring у середовищі Arduino IDE.

Програма має модульну структуру, що спрощує її аналіз, налагодження та подальшу модифікацію. У коді реалізовано ініціалізацію периферійних пристроїв, обробку сигналів з ПЧ-пульта завдяки бібліотеці IRremote, зчитування та усереднення даних з фоторезистора, керування кроковим двигуном через драйвер ULN2003 за допомогою бібліотеки AccelStepper, автоматичне паркування жалюзі при ввімкненні та гнучке перемикання між режимами роботи.

Розроблений алгоритм та код забезпечують надійну та зручну експлуатацію системи автоматизованих жалюзі, дозволяючи ефективно регулювати рівень природного освітлення в приміщенні як у автоматичному, так і в ручному режимі.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Організація робочого місця та умов трудової діяльності монтажника радіоапаратури

Конституція України гарантує кожному громадянину право на безпечні та здорові умови виконання роботи. Робоче місце є ключовим елементом будь-якого підприємства, оскільки саме в його межах здійснюється цілеспрямована діяльність конкретного співробітника.

Під робочим місцем розуміють ділянку виробничого простору, призначену для одного або групи працівників, яка обладнана необхідним технологічним інвентарем, інструментами, меблями та основним обладнанням для виконання конкретних виробничих завдань.

З розвитком виробничих процесів та інформаційних технологій робочі місця все частіше оснащуються персональними комп'ютерами. Однак їх використання посилює проблеми охорони як особистого, так і суспільного здоров'я, що вимагає вдосконалення існуючих підходів до організації робочих зон, розробки нових методів та проведення профілактичних заходів для запобігання негативному впливу на здоров'я працівників [42].

Типове робоче місце монтажника радіоапаратури та приладів у умовах одиничного дрібносерійного виробництва передбачає наявність: однотумбового столу; гвинтового стільця; підвіски для креслень; регульованого за висотою та горизонталлю світильника; ящика для відходів на шарнірній кріпленні; місця для електропаяльника та паяльного фена; олово-відсмоктувача місцевого типу; панелі для контрольно-вимірювальних приладів із заземлювальною клемою. Верхня поверхня столу покрита жаростійким пластиком.

Для регулювання температури нагрівання жала електропаяльника та фену робоче місце комплектується автотрансформатором або автоматичним пристроєм керування температурою.

Рациональне розміщення інструментів сприяє оптимальному плануванню робочого місця, мінімізації зайвих рухів, зниженню втоми, скороченню втрат часу та підвищенню загальної продуктивності праці.

Регульована висота сидіння стільців та правильне розташування робочих поверхонь дозволяють створити максимально комфортні умови для працівника.

Основними шкідливими та небезпечними виробничими факторами, пов'язаними з використанням цифрових систем «розумний будинок» на підприємствах з виробництва електроніки, є [42]:

- електромагнітне випромінювання радіочастотного діапазону;
- підвищена пульсація світлового потоку;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена яскравість світла;
- дефіцит або повна відсутність природного освітлення.

Вплив електромагнітних полів на організм людини залежить від частотного діапазону, інтенсивності та тривалості впливу, характеру випромінювання (неперервне або модульоване), режиму опромінення, площі опромінюваної ділянки тіла, а також індивідуальних особливостей організму.

Електромагнітні поля здатні викликати в людському організмі біологічні та функціональні негативні наслідки. Серед функціональних порушень відзначаються швидка втомлюваність, регулярні головний біль, розлади сну, а також дисфункції центральної нервової та серцево-судинної систем. При постійному опроміненні ЕМП фіксуються коливання артеріального тиску, уповільнення серцевого ритму, психоневрологічні розлади й трофічні зміни, такі як випадіння волосся та ламкість нігтів. Сучасні наукові дані підтверджують, що радіочастотне випромінювання, впливаючи на ЦНС, діє як значний стресовий фактор.

Для створення, збірки, перевірки та налаштування апаратного забезпечення необхідно організувати робочу зону з урахуванням вимог ергономіки та правил охорони праці. Обов'язковими є використання антистатичного столу, стійкого до займання, та регульованого крісла з

підлокітниками та спинкою. Освітлення має становити 300–500 люкс і поєднувати природні та штучні джерела світла. Електрична мережа потребує заземлення розеток, а також встановлення пристрою аварійного відключення. Розташування компонентів має запобігати випадковому контакту з небезпечними ділянками [42].

Через взаємодію з електричними пристроями слід дотримуватися таких заходів безпеки: застосовувати джерела живлення з функцією обмеження струму, монтувати запобіжники на вхідних ланцюгах, уникати перехрещення проводів та надійно ізолювати відкриті контакти. При підключенні до мережі 220 В обов'язково використовують стабілізатори напруги, а корпус системи має бути заземлений. Під час тестування необхідно працювати в діелектричних рукавичках.

З огляду на тривалий перебування за комп'ютером, варто дотримуватися рекомендацій щодо збереження здоров'я: робити перерви по 5–10 хвилин кожні 45–60 хвилин, виконувати вправи для очей і рук. Екран слід налаштувати на комфортну яскравість і контрастність, витримуючи дистанцію 50–70 см. Клавіатура та миша мають розміщуватися на рівні ліктів.

Для монтажу електронних систем застосовують антистатичні браслети для захисту чутливих мікросхем, захисні окуляри під час паяння та діелектричні рукавички при роботі з напругою. Для гігієни використовують вологі серветки, а при паянні або наявності пилу — респіратори для захисту від пар флюсу [42].

У приміщенні розробника або там, де встановлено систему, мають бути: відповідний вогнегасник (порошковий або вуглекислотний), датчик задимлення або сигналізація, інструкції з пожежної безпеки на видному місці, а також забезпечений вільний доступ до евакуаційних виходів. Забороняється використання легких нагрівальних приладів та наявність горючих матеріалів.

Видимі пульсації світлового потоку з частотою до 80 Гц шкідливо впливають на мозок, подразнюючи нервову систему через органи зору. Людина несвідомо намагається уникнути дискомфорту, прагнучи якомога швидше

залишити зону дії мерехтливого світла. Пульсуюче освітлення може стати причиною реальних виробничих травм. Наприклад, якщо частота обертання циркулярної пилки збігається з частотою світлового потоку від LED-лампи, оператору може здатися, що диск не рухається. Такі ситуації є серйозними факторами травматизму на виробництві.

Рациональне освітлення робочої зони є ключовим фактором створення безпечних умов праці. Правильно підібране і розраховане освітлення виробничих приміщень дозволяє очам працівників протягом тривалого часу зберігати гостроту зору для чіткого розрізнення інструментів та предметів. Подібні умови сприяють зменшенню виробничого травматизму та професійних захворювань очей [42].

4.2 Інструкція з охорони праці під час виконання паяльних робіт

Особи, зайняті паяльними роботами, зобов'язані проходити первинний інструктаж із питань безпеки перед початком трудової діяльності на підприємстві, а згодом — щомісяця. Результати кожного інструктажу реєструються у відповідному «Журналі реєстрації інструктажів», де обов'язково мають бути підписи інструктора та працівника, який отримав інструктаж [43].

Недотримання вимог цієї інструкції тягне за собою дисциплінарну, матеріальну, адміністративну або кримінальну відповідальність для порушника.

До виконання паяльних робіт допускаються тільки особи, які мають відповідну спеціальну підготовку, пройшли медичний огляд, а також вступний інструктаж, інструктаж на робочому місці та навчання з пожежної безпеки.

Паяльник зобов'язаний [43]:

- дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку;
- використовувати спецодяг та інші засоби індивідуального захисту;
- усвідомлювати особисту відповідальність за дотримання норм охорони праці та безпеку колег;

- володіти навичками надання першої медичної допомоги постраждалим у разі нещасних випадків;
- вміти користуватися первинними засобами пожежогашіння;
- ігнорувати накази, що суперечать правилам безпеки;
- виконувати лише ті завдання, які доручені керівництвом і щодо яких проведено належний інструктаж.

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час паяння:

- термічні впливи (опіки від припою, розігрітих паяльників та проводів);
- наявність у повітрі робочої зони токсичних речовин, що містяться у димі.

Перед початком роботи необхідно привести у порядок одяг: застібнути або стягнути манжети рукавів, заправити одяг так, щоб уникнути захльостування.

Ретельно огляньте робоче місце, усунувши всі перешкоди для роботи.

Переконайтеся, що освітлення достатнє і не засліплює очі.

Забороняється застосовувати кислоти або рідини на їхній основі [43].

Кінчик паяльника загострюють під кутом 30 градусів. Щоб уникнути утворення порожнин і продовжити термін служби мідного стрижня, його рекомендується відкувати молотком [44].

Забруднене жало ускладнює роботу: припій не розплавляється належним чином і не прилипає до поверхні. Тому його необхідно зачистити напилком або наждачним папером і залудити. Для цього паяльник трохи нагрівають і наносять шар каніфолі.

Коли температура досягне точки плавлення припою, жало торкається шматочка припою. Він розплавиться і рівномірно розтічеться по ньому. Якщо припій не пристав, процес зачистки та луження повторюють. З часом на жалі з'являється темний окисний наліт, який перешкоджає паянню, тому його знову потрібно залудити.

Якість монтажу безпосередньо залежить від правильного температурного режиму паяльника. Недостатньо нагрітий інструмент погано плавить припій, розмазує його по місцю з'єднання, що не дозволяє отримати якісну пайку. Перегрітий паяльник призводить до того, що розплавлений припій швидко покривається сірою окисною плівкою і погано тримається на жалі.

Якщо опустити перегрітий паяльник у каніфоль, виділиться багато диму, каніфоль розбризкується з шипінням, а жало покриється чорною плівкою нагару. Нормально нагрітий паяльник швидко плавить припій, набирає його на жало, а каніфоль залишається у вигляді шиплячих крапель, що перетворюються на пар, а не дим. У такому разі спай матиме гладку блискучу поверхню [44].

Місце пайки слід зачистити дрібною шкуркою від ізоляції, окислів та бруду. До зачищеної ділянки не можна торкатися руками, щоб не залишити слідів поту та жиру, які заважатимуть луженню. Паяти слід відповідним припоєм, використовуючи безкислотний флюс. Паяльник має бути правильно нагрітим. Спаювані проводи або виводи деталей потрібно покрити флюсом. Візьміть трохи припою на жало, прикладіть його до місця пайки та залудіть контакти. Утримуйте залуджені кінці нерухомо. Прикладіть жало з невеликою кількістю розплавленого припою до місця з'єднання і тримайте, доки припій рівномірно не розтічеться по поверхнях.

Час пайки не повинен перевищувати 5 секунд, після чого паяльник швидко віддаляють — припій швидко затвердіє і скріпить деталі. Під час затвердіння проводи та виводи мають залишатися нерухомими [44].

Паяльні роботи дозволяється проводити лише на спеціально обладнаних місцях радіомонтажника промислового виробництва.

У приміщенні під час проведення паяльних робіт не повинно бути сторонніх осіб.

Робоче місце має бути вільним від зайвих деталей та матеріалів.

Підставка для паяльника має бути промислового виготовлення та виготовлена з негорючих матеріалів.

Тривалість пайки не повинна перевищувати 5 хвилин; після цього обов'язково відкрийте вікно та залиште приміщення до його повного провітрювання.

По завершенні робочих операцій від'єднайте паяльник від мережі, діставши вилку з розетки, та зачекайте повного охолодження пристрою.

Герметично закрийте флюси для паяння та помістіть їх у шухляду робочого місця радіомонтажника.

Ретельно провітріть кімнату. Про будь-які виявлені неполадки та порушення необхідно повідомити керівника бригади або служби.

Після роботи ретельно вимийте руки та обличчя теплою мильною водою.

У разі несправності паяльника негайно відключіть його від електромережі та інформуйте про це безпосереднього або вищого керівника.

За отримання травм, отруєнь чи раптового погіршення здоров'я надайте потерпілому першу допомогу до прибуття лікарів та, за потреби, організуйте його доставку до медичного пункту.

При ураженні електричним струмом вживайте заходів для швидкого звільнення потерпілого від дії струму. У випадку пожежі:

- припиніть виконання робіт;
- відключіть електрообладнання;
- повідомте безпосередньому або вищому керівнику про виникнення вогню;
- зателефонуйте до служби ДСНС;
- за можливості проведіть евакуацію співробітників, локалізуйте вогнище пожежі та збережіть майнові цінності.

Власник зобов'язаний страхувати паяльщика від травматизму та професійних хвороб. Якщо здоров'я майстра постраждає через провину власника, він має право на компенсацію завданої шкоди. За ігнорування цієї інструкції паяльник підлягає дисциплінарній, матеріальній, адміністративній чи кримінальній відповідальності.

До паяльних робіт допускаються особи старше 18 років, які пройшли медогляд, спеціальну підготовку та отримали посвідчення на роботу з паяльними лампами. Вони також повинні бути ознайомлені з правилами охорони праці на вступному та місцевому інструктажах, пройти 90-годинний курс пожежно-технічного мінімуму, отримати відповідне посвідчення та пройти інструктаж з пожежної безпеки.

Якщо працівника направляють на завдання, що не входять до його основних обов'язків, він зобов'язаний пройти цільовий інструктаж. При влаштуванні на роботу та щороку (не рідше одного разу на 12 місяців) паяльник повинен перевіряти знання з охорони праці та пожежної безпеки. Фахівці, що працюють з паяльними лампами, мають проходити періодичний медичний огляд щонайменше раз на рік.

Під час роботи на паяльних лампах працівники можуть піддаватися впливу шкідливих і небезпечних факторів: підвищеного фізичного навантаження, пилозабруднення та загазованості повітря, ризику вибуху лампи, ураження струмом, високого рівня шуму, підвищеної температури оброблюваних матеріалів та загальних несприятливих умов середовища [43].

Висновки за розділом 4

У четвертому розділі досліджено нормативно-правові акти щодо охорони праці, які регулюють етапи проектування, встановлення та використання автоматизованої системи керування віконними жалюзі як радіоелектронного обладнання. Огляд охоплює ключові норми з охорони праці під час виконання паяльних робіт, а також організацію робочого місця та умов трудової діяльності монтажника радіоапаратури. Виявлено основні небезпечні та шкідливі чинники виробничого середовища, зокрема ризик ураження електричним струмом, накопичення статичної електрики, перегрів компонентів, механічні загрози від рухомих вузлів приводу та ергономічні труднощі під час налаштування системи.

Крім того, розглянуто комплексний набір технічних, організаційних та профілактичних заходів для гарантування безпечних умов праці, що включає належне заземлення, застосування засобів індивідуального захисту, створення ергономічно оптимізованих робочих зон, дотримання графіку праці та відпочинку, а також обов'язкове навчання та інструктажі з питань охорони праці.

ВИСНОВКИ

У межах виконання кваліфікаційної роботи було створено систему автоматизованого керування віконними жалюзі, що поєднує сучасні технології мікроконтролерного керування, енергоефективність та високий рівень зручності для користувача.

Робота охопила всі етапи проектування: аналіз принципів побудови систем «Розумний дім» та існуючих рішень керування жалюзі, розробку апаратної частини системи на базі мікроконтролера Arduino Uno Rev3, розрахунок і вибір елементної бази, програмну реалізацію алгоритмів роботи та вивчення питань з охорони праці.

Система побудована за модульним принципом, що забезпечує її надійність та можливість подальшого розширення й вдосконалення. Як основний керуючий елемент обрано мікроконтролер Arduino Uno Rev3, який є доступним, достатньо продуктивним та широким в можливостях підключення периферії. Використання фоторезистора GL5516 дозволило реалізувати автоматичне регулювання положення жалюзі залежно від рівня природного освітлення, а кроковий двигун 28BYJ-48 забезпечив плавне та безшумне переміщення жалюзі. Додаткові компоненти ІЧ-приймач VS1838, кінцевий вимикач KW4-3Z-3, п'єзовипромінювач – забезпечили зручне дистанційне керування та захист механізму від помилок.

Програмне забезпечення розроблено з урахуванням сучасних підходів до автоматизації. Воно підтримує два основні режими роботи - автоматичний та ручний, включає функції калібрування, захисту від перевантажень та звукової індикації стану системи.

У цілому, дипломна робота підтвердила доцільність і ефективність використання мікроконтролерних рішень для автоматизації побутових пристроїв. Розроблена система є доступною й надійною альтернативою дорогим комерційним рішенням і може бути успішно інтегрована в екосистему «Розумний дім». Вона має перспективи для подальшого вдосконалення

системи, зокрема шляхом використання Wi-Fi-модуля для віддаленого керування, застосування штучного інтелекту для керування або автономного живлення від сонячних панелей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тимченко О. В. Архітектура та застосування технології розумного дому // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Економіка. – 2024. – Вип. 1(23). – С. 99–108. URL: <https://kk.uad.lviv.ua/wp-content/uploads/2024/04/1-23-99-108.pdf>
2. Казарян А. Г. Методи та засоби управління системою «розумного» будинку з використанням хмарних обчислень – Національний університет «Львівська політехніка», 2021. URL: https://lpnu.ua/sites/default/files/2021/radaphd/18033/disertaciyakazaryan_0.pdf
3. Дужак І. О. «Розумний будинок» – ефективна технологія автоматизації житлових приміщень // Автоматика, технології та обладнання харчових виробництв. – 2023. URL: <https://journals.uran.ua/atbp/article/download/32920/29533>
4. Лекційний матеріал «Тема 15. Розумний та безпечний будинок. Розумне місто» / Луцький НТУ. URL: <https://e-tk.lntu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=10670>
5. Савицький М. Основні принципи побудови та особливості структури системи розумного будинку: магістерська дисертація. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/56758/1/Savytskyi_mahistr.pdf
6. Матеріали з протоколів Matter, Zigbee, Thread (2024–2025). Джерела: Aqara Blog, MatterAlpha.
7. Рейтинг систем «Розумний будинок» по виробниках 2025–2026 року // Vencon.ua. URL: <https://vencon.ua/ua/articles/rejting-sistem-umnyy-dom-po-proizvoditelyam>
8. Що таке «розумний дім» та як він працює завдяки ШІ // AI360. 17.10.2024. URL: <https://ai360.com.ua/shcho-take-rozumnyy-dim-ta-iak-vin-pratsiuie-zavdiaky-shi/>

9. Що таке Розумний будинок і для чого він потрібен // Alterair.ua. 15.03.2023. URL: <https://alterair.ua/stati/chto-takoe-umnyy-dom/>
10. Система розумного будинку для квартири – огляд популярних систем // Aline.dp.ua. URL: <https://aline.dp.ua/yak-obraty-systemu-rozumnogo-domu-dlya-kvartyry-oglyad-populyarnyh-system-ta-rekomendacziyi/>
11. Comparison of 8 Smart Home Protocols in 2025 // Aqara Blog. 25.04.2025. URL: <https://us.aqara.com/blogs/news/comparison-of-8-smart-home-protocols-which-is-the-best>
12. Які бувають види керування автоматичними жалюзі // Shtory-Shop. URL: <https://shtory-shop.com.ua/uk/blog/types-of-automatic-blinds-control>
13. Dyke, C.; Van Den Wymelenberg, K.; Djunaedy, E.; Steciak, J. Comparing Whole Building Energy Implications of Sidelighting Systems with Alternate Manual Blind Control Algorithms. Buildings 2015. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings5020467>
14. Wired and wireless sensor networks for industrial applications, Microelectronics Journal, Volume 40, Issue 9, 2009, Pages 1322-1336, ISSN 18792391. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026269208004618>
15. Sowa. Розумний дім: переваги та недоліки інноваційного рішення для дому. URL: <https://www.sowa.kiev.ua/blog-uk/rozumnyj-dim-perevagy-ta-nedoliky-innovacijnogo-rishennya-dlya-domu/>
16. Розумний дім // Вікі ТНТУ. URL: https://wiki.tntu.edu.ua/Розумний_дім
17. Жалюзі та ролети // Vista.ua. URL: <https://vista.ua/zhaljuzi-ta-roleti/p158884>
18. Тканинні ролети з автоматикою // Jaluzi Design. URL: <https://jaluzi-design.com.ua/tkanynni-rolety-z-avtomatykoyu>
19. Dyke, C.; Van Den Wymelenberg, K.; Djunaedy, E.; Steciak, J. Comparing Whole Building Energy Implications of Sidelighting Systems with

Alternate Manual Blind Control Algorithms // Buildings. – 2015. – Vol. 5, No. 2. – P. 467–496. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/5/2/467>

20. Плата Arduino Uno. URL: <https://arduinokit.com.ua/ua/p2443129646-plata-arduino-uno.html>

21. Плата мікроконтролера Arduino Uno R3 (ATmega328P + CH340G, USB Type-B) // Механіка. URL: <https://mehanika.net.ua/product/plata-mikrokontrolera-arduino-uno-r3-atmega328p-ch340g-usb-type-b/>

22. Arduino Uno // Офіційна документація Arduino. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>

23. Arduino Uno // ITMaster – інтернет-магазин електроніки. URL: <https://itmaster.biz.ua/directory/kits-nabory/arduino-uno.html>

24. Механічний кінцевий вимикач KW4-3Z-3 (L15) // Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/prod1600-mehanichnii-kincevii-vimikach-kw4-3z-3-l15>

25. Механічний кінцевий вимикач KW4-3Z-3 // Vseplus.com. URL: <https://vseplus.com/ua/product/mekhanicnij-kincevij-vimikac-kw4-3z-439824>

26. Фоторезистор: принцип роботи та застосування // E-Lab. URL: <https://www.e-lab.com.ua/electronics-basics/fotorezistor.html>

27. Датчик освітленості (фоторезистор) GL5516 // Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ru/prod184-datchik-osvitlenosti-fotorezistor-gl5516-10-kom-1sht>

28. Фоторезистор GL5516 // RoboStore. URL : <https://robostore.com.ua/ru/moduli-i-datchiki/datchiki-osveshennosti/fotorezistor-gl5516/>

29. ULN2003 Motor Driver // Kosmodrom.com.ua. URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=ULN2003-MOTOR-DRIVER>

30. The ULN2003 Driver Board Datasheet URL: <https://www.hadex.cz/spec/m513.pdf>

31. Драйвер модуль ULN2003 // ArduinoKit. URL: <https://arduinokit.com.ua/ua/p1309307589-drajver-modul-uln2003.html>

32. 28BYJ-48 5V Stepper Motor Explained // Ariat-Tech. URL: <https://ua.ariat-tech.com/blog/28BYJ-48-5V-Stepper-Motor-Explained.html>

33. Кроковий двигун 5V 28BYJ-48 // Arduino.ua. URL:
<https://arduino.ua/ru/prod216-shagovii-dvigatel-5v-28byj-48>
34. Кроковий двигун (Stepper) // Ampermarket.kz. URL:
<https://ampermarket.kz/base/ex26-stepper/>
35. Інфрачервоний приймач VS1838// BlackChip. URL:
<https://blackchip.com.ua/optoelektronika/ich-priymach-vs1838/>
36. Інфрачервоний приймач VS1838 // RoboStore. URL:
<https://robostore.com.ua/moduli-i-datchiki/sensory-datchiki-i-moduli/infrakrasnyj-priemnik-vs1838/>
37. Універсальний інфрачервоний приймач VS1838 // Arduino.ua. URL:
<https://arduino.ua/prod1228-yniversalnii-infrakrasnii-priemnik>
38. Макетна плата MB-102 (830 отворів) // MyProject. URL:
<https://myproject.com.ua/mb-102-maketna-plata-830-otvoriv-ua.html>
39. Безпайкова макетна плата 830 точок (MB-102) // Mini-Tech. URL:
<https://www.mini-tech.com.ua/ua/bespayechnaya-maketnaya-plata-830-tochek>
40. П'єзовипромінювач LD-BZPN-1705 // Eltis.ua. URL:
<https://www.eltis.ua/catalog/pezopreobrazovateli-bez-generatora1mb3/ld-bzpn-1705-izluchatel-zvuka-pezoelektricheskij-tht-frez-4kgts-1ma-17mm/>
41. Акустичний пристрій LD-BZPN -1705 // Vseplus.com. URL:
<https://vseplus.com/product/akusticeskoe-ustrojstvo-ld-bzpn-1705-480778>
42. Інструкція з охорони праці під час виконання монтажних робіт інструментами і пристроями: затв. наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 05.06.2001 № 132. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0616-01/ed20010605#Text>
43. Про затвердження Правил охорони праці під час паяльних робіт: наказ Державної служби України з питань праці від 21.05.2014 № 103. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0513-14#Text>
44. Паяння. Припої. Флюси // StudFile. URL:
<https://studfile.net/preview/12782877/page:2/#3>