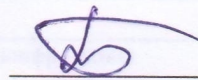


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

«15» червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
(код та назва спеціальності)

освітня програма Електротехніка та електротехнології
(назва освітньої програми)

на тему: «Модернізація системи керування електроприводом
шлагбаума на базі Arduino»

Виконав: студент IV курсу, групи 4317зст3
Савенко Олександр Олексійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

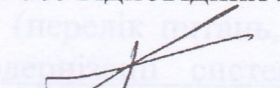
Керівник асист. каф. автоматики, к.т.н, Іванов А.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль доц. каф. автоматики, Савченко О.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц., Новогрецький С.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2026 р.

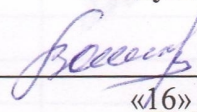
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електромеханіка та електроенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, к.т.н.

доцент

 **О. Г. Васильєв**
«16» лютого 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

гр. 4317зстЗ Савенко Олександр Олексійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація системи керування електроприводом шлагбаума на базі Arduino»

керівник роботи Іванов Антон Віталійович, кандидат технічних наук, асистент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «22» квітня 2026 року № 286-УЧ

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи керований об'єкт — існуючий автоматичний шлагбаум з електромеханічним приводом; тип електроприводу — двигун змінного або постійного струму з відповідною силовою комутацією; джерело живлення — мережа 220 В / 24 В постійного струму; метод керування — автоматичне відкриття/закриття за командами датчиків та пристроїв ідентифікації (RFID/Bluetooth/Wi-Fi); контролер — Arduino (Uno/Nano/Mega).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Аналіз стану та методів модернізації систем керування шлагбаумами. 2 Проєктування технічних рішень та вибір апаратної частини (структурна схема, узгодження силових ланцюгів). 3 Програмна реалізація та

налаштування алгоритмів керування (автореверс, логіка безпеки). 4 Охорона праці при монтажі та експлуатації.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових графіків)

1 Характеристика існуючих конструкцій шлагбаумів. 2 Структурна схема модернізованої системи керування. 3 Принципова електрична схема підключення контролера та силових блоків. 4 Алгоритм обробки сигналів та керування двигуном. 5 Логічна схема безпечного закриття (функція автореверсу).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Іванов А. В., к.т.н., асистент кафедри	15.05.26	01.06.26

7. Дата видачі завдання 16 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз систем та обґрунтування модернізації	03.03.26	
2	Проектування схеми та вибір компонентів	27.03.26	
3	Програмна реалізація та тестування алгоритмів	14.05.26	
4	Охорона праці	01.06.26	

Студент

(підпис)

Савенко О. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Іванов А. В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Ключові слова: система керування шлагбаумом, автоматизація, мікроконтролер Arduino, електропривод, безпека доступу, індикація перешкод, автоматичний реверс, інтерфейс користувача.

Об'єм пояснювальної записки складає 80 аркуші, вона містить 4 розділи, 22 ілюстрацій, 25 найменування в списку використаної літератури та 6 аркушів мультимедійної презентації.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню та проектуванню модернізованої системи керування електроприводом шлагбаума. Розроблена система базується на мікроконтролері Arduino та забезпечує надійне керування механізмом підйому у автоматичному та напівавтоматичному режимах. В роботі подано характеристику основних компонентів системи, зокрема драйверів силових ланцюгів для двигуна та датчиків виявлення перешкод (інфрачервоні бар'єри або індукційні петлі), що запобігають пошкодженню транспортних засобів.

Складено структурну та принципову електричну схеми модернізованої системи, обґрунтовано вибір елементної бази за критеріями функціональності та надійності. Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує алгоритми керування рухом, логіку безпечного закриття (функція автореверсу) та інтеграцію модулів для ідентифікації транспорту.

Для демонстрації алгоритмів роботи системи використано блок-схеми та методи програмної реалізації в середовищі Arduino IDE. Проведено аналіз роботи системи в різних режимах, розроблено рекомендації щодо налаштування кінцевих вимикачів та датчиків безпеки.

Результати роботи підтверджують підвищення рівня безпеки та функціональності системи доступу на об'єкт. Крім того, в роботі розглянуті питання з охорони праці, електробезпеки та безпеки при монтажі та експлуатації електроприводу.

Додатки містять слайди мультимедійної презентації (Додаток А).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ТА МЕТОДІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ КЕ- РУВАННЯ ШЛАГБАУМАМИ.....	9
1.1. Характеристика існуючих конструкцій та типів приводів шлагбаумів.....	9
1.2. Огляд сучасних методів ідентифікації транспорту.....	15
1.3. Аналіз проблем безпеки та запобігання пошкодженню майна.....	17
1.4. Технічне обґрунтування використання Arduino.....	19
Висновки за розділом.....	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ВИБІР АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ.....	22
2.1. Розробка структурної схеми модернізованої системи керування.....	22
2.2. Характеристика електроприводу та вибір компонентів інтеграції.....	23
2.2.1 Аналіз технічних характеристик приводу SAME G3750.....	23
2.2.2 Контролер Arduino та драйвери керування двигуном.....	25
2.2.3 Вибір сенсорів системи виявлення перешкод.....	27
2.2.4 Вибір модулів зв'язку для віддаленого керування.....	30
2.3. Розрахунок параметрів живлення та розробка схеми підключення.....	32
2.3.1 Розрахунок параметрів живлення системи.....	32
2.3.2 Розробка схеми підключення та реалізація гальванічної розв'язки.....	34
Висновки за розділом.....	36
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АЛГОРИ- ТМІВ КЕРУВАННЯ.....	38
3.1. Розробка загального алгоритму функціонування системи.....	38
3.2. Алгоритмічна реалізація ключових підпрограм керування та безпеки.....	41
3.3. Вибір середовища розробки та програмна реалізація системи керуван- ня.....	48
3.4. Аналіз циклограм роботи системи та оцінка ефективності модернізації..	56
Висновки за розділом.....	58
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	60

4.1. Аналіз умов експлуатації та ідентифікація небезпечних виробничих факторів.....	60
4.2. Електробезпека та розрахунок захисного заземлення.....	62
4.3. Штучне освітлення робочої зони.....	65
4.4. Пожежна безпека та захист у надзвичайних ситуаціях.....	66
Висновки за розділом.....	68
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72
ДОДАТОК А МУЛЬТИМЕДІЙНА ПРЕЗЕНТАЦІЯ.....	75

ВСТУП

Сучасний етап розвитку систем контролю доступу характеризується впровадженням високоефективних рішень з автоматизації, що дозволяють забезпечити надійність, швидкість та безпеку функціонування виконавчих механізмів. Одним із критично важливих елементів інфраструктури об'єктів, що охороняються, є автоматизовані шлагбауми, які забезпечують контроль в'їзду та виїзду автотранспорту.

Використання застарілих або фізично зношених систем керування часто призводить до зниження рівня безпеки, частих технічних збоїв, відсутності інтеграції з сучасними засобами ідентифікації та підвищеного ризику пошкодження майна через недосконалі алгоритми захисту. Впровадження інтелектуальних систем керування на базі сучасних мікроконтролерів дозволяє вирішити ці проблеми шляхом реалізації прецизійного керування приводом та забезпечення безпечної роботи в реальному часі. Використання платформи Arduino як бази для модернізації системи є актуальним з огляду на її гнучкість, доступність та широкі можливості для інтеграції периферійних модулів зв'язку та датчиків.

Мета дослідження. Метою роботи є розробка та дослідження модернізованої системи керування електроприводом шлагбаума на базі мікроконтролера Arduino, що забезпечує підвищення надійності та безпеки експлуатації об'єкта завдяки вдосконаленню алгоритмів керування.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно здійснити аналіз існуючих методів керування та модернізації шлагбаумів, обґрунтувати вибір апаратного забезпечення на базі платформи Arduino, розробити структурну та принципову електричну схеми системи. Також завданням передбачено створення програмного забезпечення для реалізації функцій керування двигуном, логіки безпечного закриття (функція автореверсу) та алгоритмів обробки сигналів від датчиків безпеки.

Об’єкт дослідження. Об’єктом дослідження є технологічний процес автоматизованого керування механізмом підйому шлагбаума із застосуванням мікроконтролерних засобів.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є архітектура системи керування, алгоритми відпрацювання траєкторії руху та програмна реалізація режимів роботи шлагбаума в середовищі Arduino IDE.

Методи дослідження. У роботі використано методи теорії автоматичного керування для побудови структури системи, методи програмування мікроконтролерів для реалізації логіки безпеки, а також методи аналізу надійності для оцінки ефективності модернізованого вузла.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена система може бути використана як економічно вигідне рішення для модернізації існуючих шлагбаумів без необхідності повної заміни силової частини. Результати роботи дозволяють підвищити рівень безпеки експлуатації автоматизованих систем доступу при збереженні високої надійності обладнання.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ТА МЕТОДІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ШЛАГБАУМАМИ

1.1 Характеристика існуючих конструкцій та типів приводів шлагбаумів

Автоматизований шлагбаум є ключовим виконавчим пристроєм у сучасних інтегрованих системах контролю та управління доступом, основне призначення якого полягає у фізичному обмеженні та регулюванні потоку транспортних засобів на територію об'єктів з можливістю автоматичного керування процесом. Як електромеханічна система, він виступає сполучною ланкою між програмно-апаратним комплексом ідентифікації та транспортним середовищем, а від надійності його функціонування безпосередньо залежить загальна безпека об'єкта, що робить вибір відповідної конструкції критично важливим етапом проектування [1].

Для систематизації існуючих рішень у технічній літературі прийнято використовувати класифікацію за кількома основними критеріями. За типом приводу системи поділяються на електромеханічні, де обертальний рух двигуна через редуктор перетворюється у рух стріли за допомогою балансувальних пружин, та електрогідравлічні, що базуються на використанні енергії тиску робочої рідини в циліндрах для досягнення вищої плавності ходу [1,2]. Важливим параметром є інтенсивність використання, яка визначає робочий ресурс системи та здатність працювати у режимі від низької циклічності для приватних територій до безперервного промислового навантаження. Додатково шлагбауми розрізняються за конструктивом стріли, що може бути виконана як пряма, складана або спеціалізована для виконання функцій паркувального бар'єра з додатковими елементами індикації чи захисту. Розуміння цих критеріїв дає змогу реалізувати ефективну стратегію

модернізації, яка враховує специфіку наявної механічної бази та вимоги до інтелектуальної системи керування на основі мікроконтролера.

У сучасних автоматизованих системах проїзду вибір типу приводу визначає не лише експлуатаційні характеристики шлагбаума, але й потенціал його подальшої модернізації. Основними класами є електромеханічні та електрогідравлічні системи.

Електромеханічні приводи

Принцип роботи електромеханічного приводу базується на послідовній передачі енергії від електродвигуна через редуктор до важеля, що приводить у рух стрілу (див. рис. 1.1) [1]. Балансувальна пружина є невід'ємною частиною конструкції, оскільки вона компенсує масу стріли, мінімізуючи навантаження на двигун у статичному стані та при підйомі. Даний тип приводів є домінуючим на ринку завдяки своїй відносній простоті та легкості в обслуговуванні.

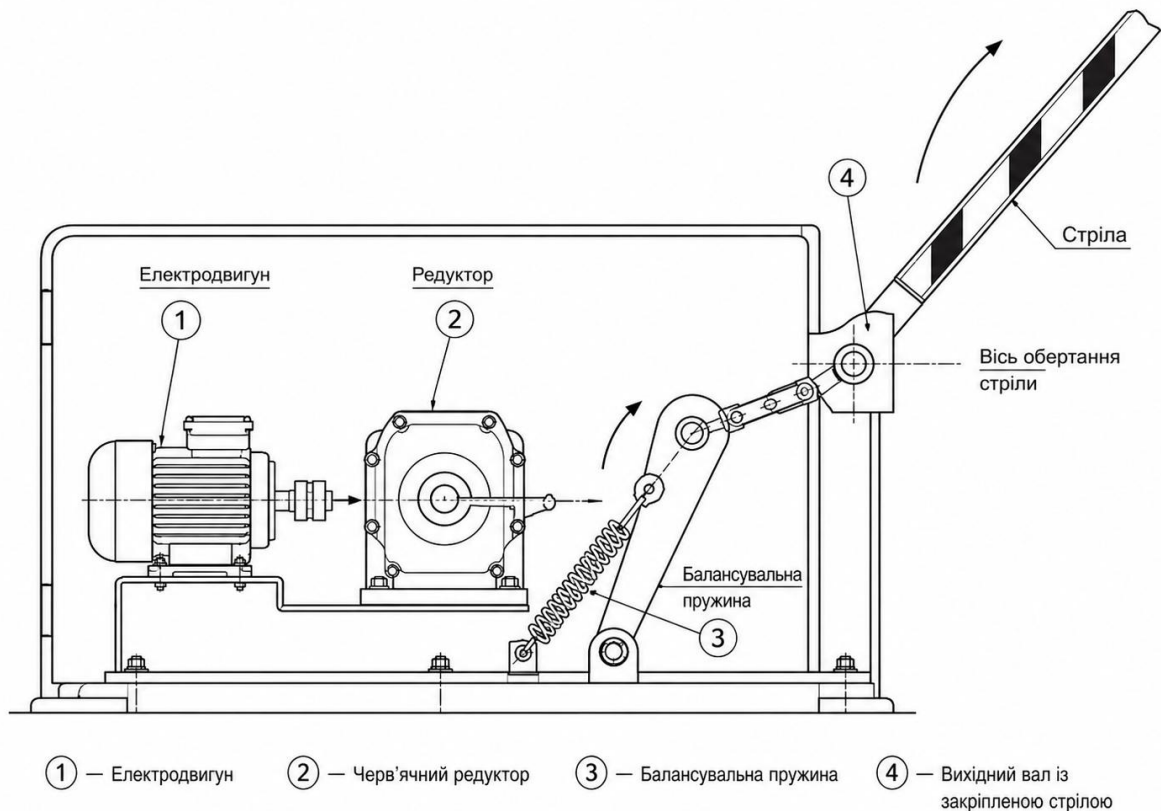


Рис. 1.1. Кінематична схема електромеханічного приводу

Типовими представниками цього класу є шлагдауми серії CAME G-серії, BFT MOOVI та Nice WIL [1]. Їхня конструкція зазвичай передбачає використання черв'ячної передачі, що забезпечує механічне самоблокування стріли у крайніх положеннях. До основних переваг слід віднести високу надійність та простоту конструкції, що полегшує монтажні роботи. Проте, як зазначалося вище, такі системи мають суттєвий недолік — обмеженість плавного регулювання швидкості руху при використанні штатних контролерів, що зумовлює виникнення динамічних ударів на кінцевих етапах руху стріли.

Електрогідравлічні приводи

Робота електрогідравлічного приводу базується на використанні енергії стисненого робочого тіла (мастила). Гідростанція нагнітає тиск, який через гідроциліндр передається на механізм підйому стріли, забезпечуючи виключно плавний рух (див. рис. 1.2) [2].

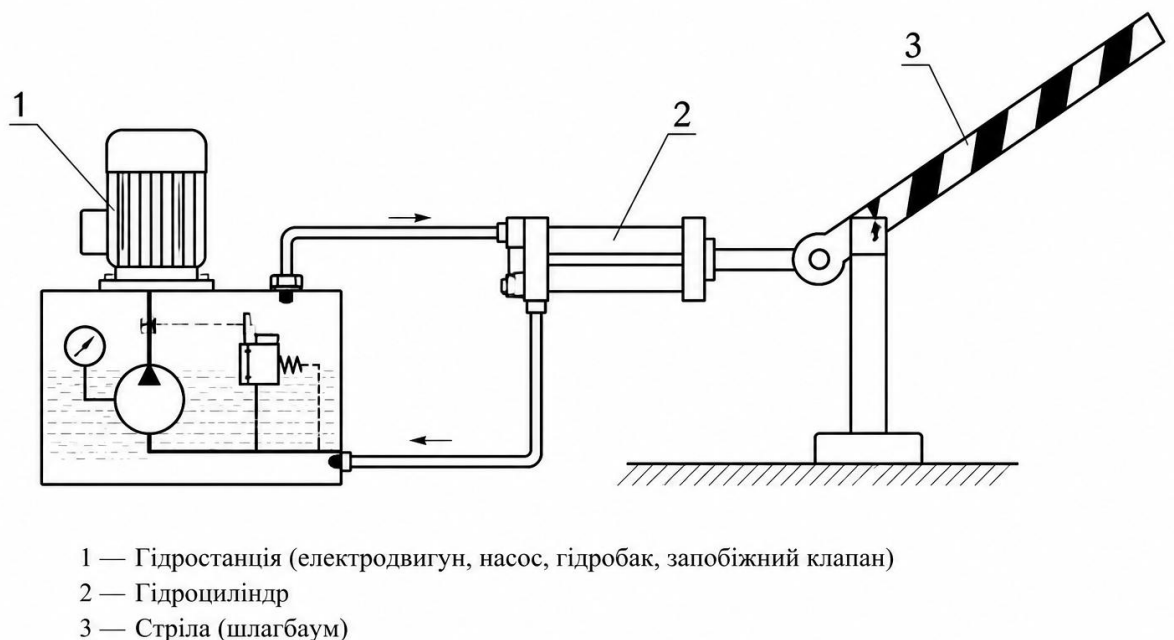


Рис. 1.2. Структурна схема електрогідравлічного приводу

Яскравим прикладом такої системи є шлагбауми моделі FAAC 620. Ключовою перевагою гідравліки є надвисока плавність ходу, що мінімізує знос механічних вузлів. Проте, як показано на рис. 1.2, складність конструкції передбачає специфічні вимоги до експлуатації: для стабільної роботи в кліматичних умовах з низькими температурами необхідно використовувати мастила з низькою в'язкістю або інтегрувати додаткові системи підігріву. Хоча гідравлічні системи мають вищий ресурс, їхня модернізація у разі виходу з ладу електроніки є більш затратною порівняно з електромеханічними аналогами, що обмежує їх поширення на об'єктах з бюджетним рівнем автоматизації.

При аналізі функціонування автоматизованих шлагбаумів особливу увагу слід приділити вузлам, що найчастіше стають причиною відмов або не відповідають сучасним вимогам до експлуатації. До таких елементів належать система кінцевих вимикачів та штатні блоки керування.

Система кінцевих вимикачів. Традиційні конструкції шлагбаумів для фіксації крайніх положень стріли використовують механічні мікроперемикачі (кінцевики), які спрацьовують при фізичному контакті з елементами рухомого механізму [3]. Попри конструктивну простоту, такі рішення мають суттєві вразливості:

- Окислення контактної групи: Оскільки шлагбауми часто встановлюються на відкритому повітрі, під впливом вологості, перепадів температур та атмосферного забруднення контакти перемикачів піддаються корозії. Це призводить до появи перехідного опору та «деренчання» сигналу, що спричиняє хибні спрацювання або повну втрату контролю над положенням стріли.
- Механічний знос: Постійні циклічні контакти з металевими чи пластиковими кулачками механізму призводять до фізичної деформації важелів перемикачів, що поступово зміщує точки зупинки стріли та потребує регулярного механічного калібрування.

Блоки керування (штатна електроніка). Штатні контролери більшості серійних шлагбаумів є спеціалізованими пристроями з жорстко обмеженою функціональністю. Їхня архітектура проектувалася з розрахунком на вирішення базових задач (відкрити/закрити), що створює низку проблем при спробі модернізації:

- Обмеженість інтеграції: Більшість штатних плат не підтримують підключення сучасних протоколів зв'язку, таких як Wi-Fi, Bluetooth чи RFID, без застосування громіздких зовнішніх адаптерів. Це унеможливорює інтеграцію в екосистему «Розумного міста» (Smart City) або віддалений моніторинг стану пристрою.
- Відсутність захисту від зіткнень: Стандартні блоки керування часто працюють за методом фіксованого часу роботи двигуна: напруга подається протягом заданого інтервалу, після чого припиняється. Це не забезпечує динамічного контролю навантаження. У разі потрапляння об'єкта під стрілу, штатна електроніка «не відчуває» перешкоди, доки двигун не дійде до кінцевого положення або не вимкнеться за таймером, що часто призводить до пошкодження майна.

Саме ці недоліки створюють об'єктивну потребу у переході на програмно-керовану архітектуру (Arduino), де логіка безпеки базується на аналізі струму споживання двигуна та сигналах від сучасних оптичних сенсорів, що дозволяє миттєво реагувати на нештатні ситуації.

Для практичної реалізації та обґрунтування доцільності модернізації як прототип було обрано електромеханічний шлагбаум CAME G3750, що є типовим представником промислових систем, які широко експлуатуються на об'єктах України завдяки високій надійності механічної частини та довговічності редуктора (див. рис. 1.3) [1].

Основними технічними проблемами даної моделі, які плануємо усунути шляхом модернізації системи керування, є ефект ударного навантаження

стріли, спричинений використанням штатних аналогових плат керування, що працюють за методом фіксованого таймера, через що стріла різко зупиняється у крайніх положеннях, створюючи надмірні ударні навантаження на черв'ячну передачу та кріплення, що значно прискорює механічний знос.

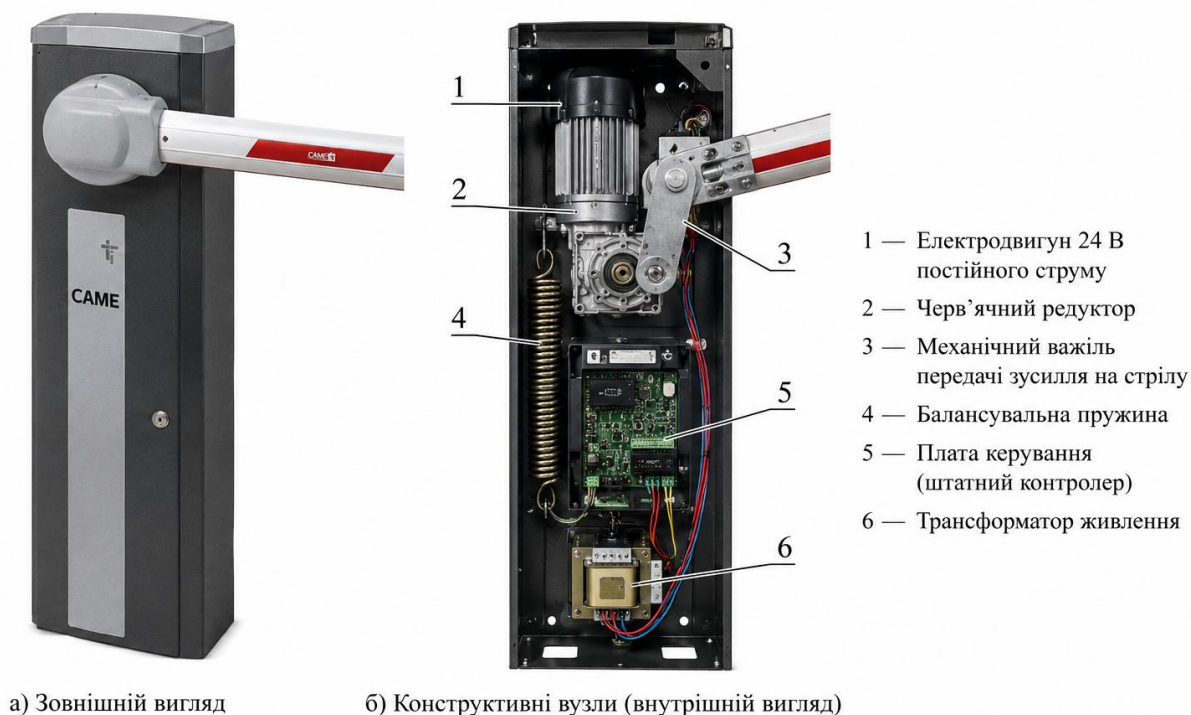


Рис. 1.3. Зовнішній вигляд та конструктивні вузли шлагбаума CAME G3750

Окрім того, критичною є відсутність інтелектуального автореверсу, оскільки штатна логіка безпеки в CAME G3750 не забезпечує достатньо швидкої реакції на перешкоду, якщо остання не чинить значного фізичного тиску на стрілу, тоді як впровадження програмної логіки на базі Arduino дозволить реалізувати чутливий моніторинг струму двигуна та забезпечить миттєвий реверс при мінімальному контакті з об'єктом. Додатковою перешкодою є закритість інтерфейсів штатного обладнання, яка унеможлиблює інтеграцію шлагбаума в мережу Wi-Fi чи Bluetooth без придбання дорогого фірмового обладнання або складного втручання в архітектуру плати, що успішно вирішується заміною контролера на Arduino.

1.2. Огляд сучасних методів ідентифікації транспорту

Сучасні системи контролю доступу вимагають інтеграції ефективних методів ідентифікації транспортних засобів, які забезпечують високу швидкість обробки даних та мінімізують вплив людського фактора. Одним із найпоширеніших рішень є технологія радіочастотної ідентифікації (RFID), що базується на використанні пасивних або активних міток, які зчитуються спеціальними антенами при наближенні автомобіля до шлагбаума, як продемонстровано на рис. 1.4. Цей метод забезпечує надійну аутентифікацію в умовах прямої видимості або за її межами, що робить його незамінним для паркінгів закритого типу, де важлива висока швидкість реакції системи на авторизований запит [4].

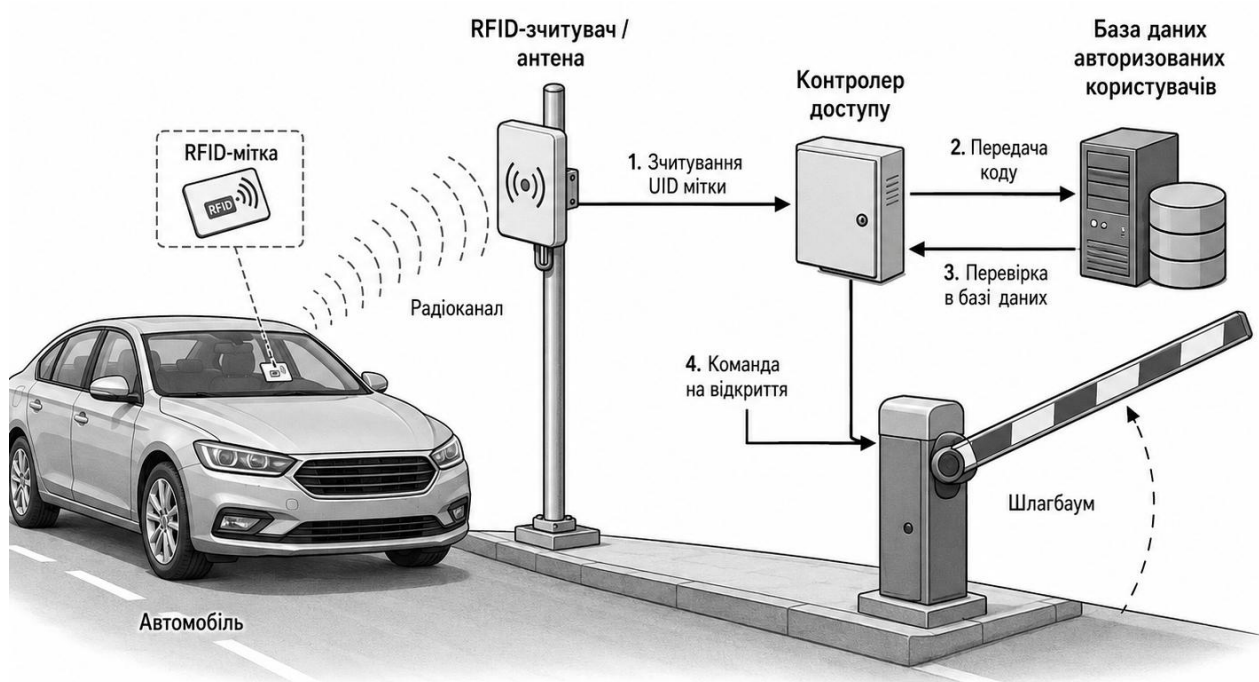


Рис. 1.4. Принцип роботи RFID-системи контролю доступу

Альтернативним та найбільш візуально орієнтованим методом є технологія автоматичного розпізнавання номерних знаків (ANPR), яка використовує камери відеоспостереження та спеціалізоване програмне

забезпечення для перетворення зображення номера на цифровий код, що відображено на структурній схемі рис. 1.5. Ця система дозволяє інтегрувати шлагбаум у комплексну мережу безпеки, де рішення про відкриття проїзду приймається на основі порівняння розпізнаного номера з базою даних, що є особливо ефективним на об'єктах з високою інтенсивністю руху, оскільки не вимагає від водія виконання додаткових дій з пред'явлення картки [5].

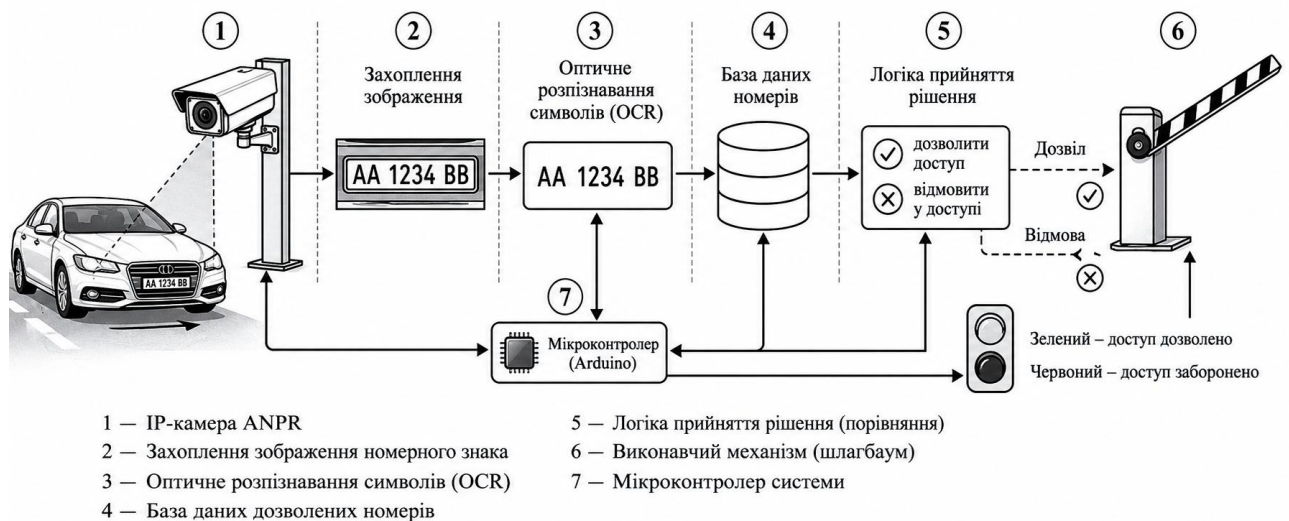


Рис. 1.5. Структурна схема системи розпізнавання номерних знаків

Для об'єктів з меншою інтенсивністю руху або у приватному секторі все більшої популярності набувають мобільні додатки, що використовують технології Bluetooth Low Energy або Wi-Fi для віддаленого керування виконавчими механізмами безпосередньо зі смартфона, що доповнює функціонал, представлений на рис. 1.4 та рис. 1.5. Така модернізація вимагає наявності мікроконтролера в складі системи керування, який виступає сервером або клієнтом у мережі, дозволяючи власнику здійснювати авторизацію доступу через інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Порівняльний аналіз цих методів дозволяє зробити висновок, що найбільш гнучким рішенням для модернізації існуючих шлагбаумів на базі Arduino є комбінований підхід, який поєднує RFID-зчитування для постійних користувачів та мобільний інтерфейс для гостьового доступу, що забезпечує

оптимальний рівень безпеки при помірних витратах на впровадження [4, 6, 7].

1.3. Аналіз проблем безпеки та запобігання пошкодженню майна

Забезпечення безпеки експлуатації автоматизованого шлагбаума є пріоритетним завданням при проектуванні систем контролю доступу, оскільки недоліки в алгоритмах керування можуть призвести до серйозних матеріальних збитків або травматизму. Традиційні системи, які базуються на часових реле або фіксованих алгоритмах роботи, часто не враховують наявності динамічних перешкод, що виникають у зоні руху стріли. Найбільш поширеною проблемою є відсутність реального зворотного зв'язку, через що двигун продовжує виконувати команду на закриття навіть при фізичному контакті з транспортним засобом, поки не буде досягнуто кінцевого положення або не спрацює тепловий захист двигуна [8].

Для мінімізації подібних ризиків сучасні рішення передбачають використання зовнішніх датчиків безпеки, серед яких ключове місце посідають оптичні інфрачервоні бар'єри (фотоеlementи). Як показано на рис. 1.6, принцип їх роботи полягає у створенні невидимого променя між передавачем та приймачем, переривання якого генерує сигнал зупинки або реверсу для системи керування [8, 9].

Ефективним доповненням до оптичних систем є метод індукційних петель, що вмонтовуються в дорожнє полотно, завдяки яким система отримує інформацію про присутність металевого об'єкта безпосередньо під стрілою шлагбаума, як продемонстровано на рис. 1.7. Використання таких рішень у поєднанні з програмним алгоритмом струмового контролю на базі Arduino дозволяє реалізувати інтелектуальну функцію автореверсу. У такому режимі контролер постійно відстежує споживаний струм електродвигуна: раптове

зростання навантаження, що відповідає моменту механічного контакту з перешкодою, фіксується мікроконтролером, який миттєво змінює напрямок руху стріли на протилежний [10].

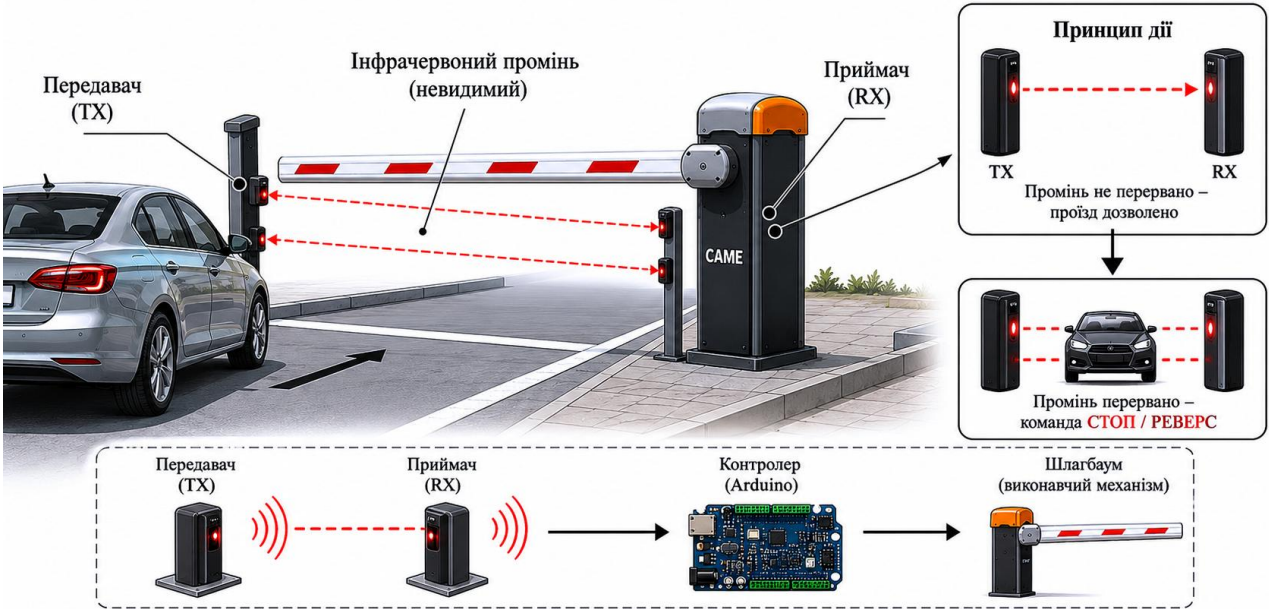


Рис. 1.6. Схема розміщення фотоелементів безпеки в зоні проїзду

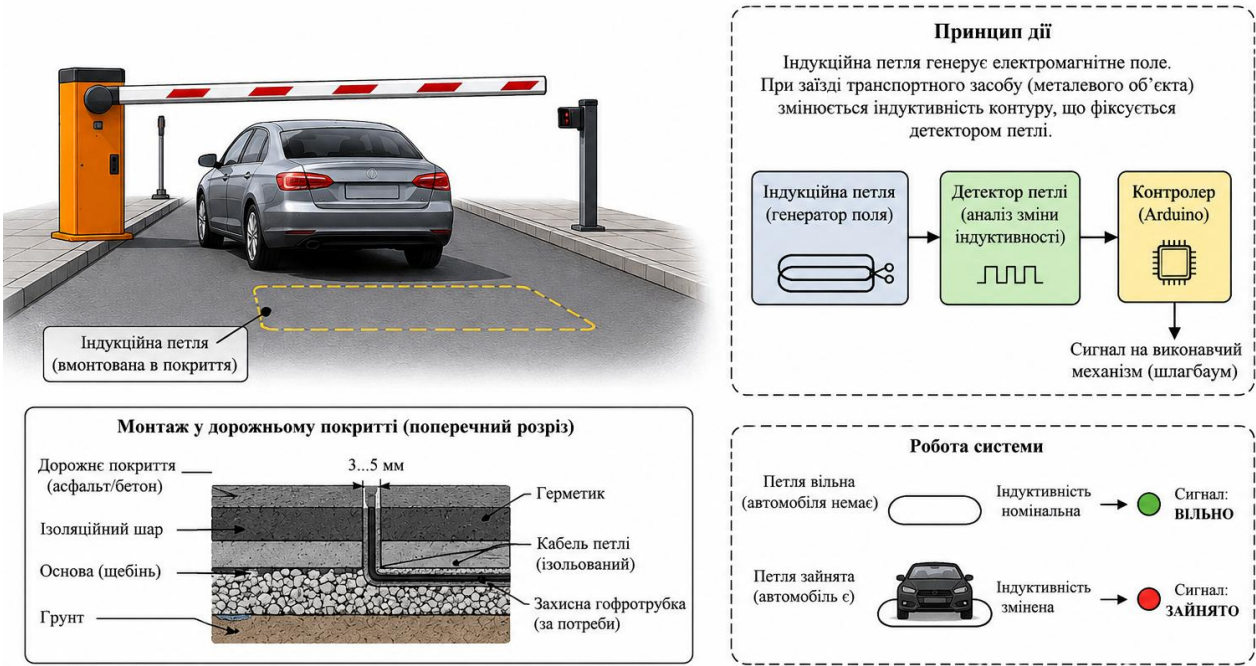


Рис. 1.7. Принцип функціонування індукційної петлі в дорожньому покритті

Зазначені методи запобігання пошкодженню майна забезпечують багаторівневий захист, де першим рівнем є превентивне виявлення перешкоди (фотобар'єри), а другим — активне реагування системи на фізичний контакт (струмовий контроль). Впровадження такої логіки на базі Arduino дозволяє відмовитися від застарілих таймерних схем та значно підвищити рівень експлуатаційної безпеки об'єкта, що є критично важливим при модернізації шлагбаумів з інтенсивним трафіком руху.

1.4. Технічне обґрунтування використання Arduino

Вибір платформи Arduino як ядра системи керування електроприводом шлагбаума базується на необхідності створення гнучкої, відкритої та легко масштабованої архітектури, що кардинально відрізняється від закритих алгоритмів штатних контролерів. Використання мікроконтролерної платформи дозволяє інтегрувати складні алгоритми обробки даних, які є недоступними для стандартних рішень на основі фіксованих часових реле [11].

Архітектура Arduino забезпечує високий рівень модульності, що дозволяє безперешкодно підключати різноманітні периферійні пристрої, такі як інфрачервоні датчики безпеки, індукційні петлі та комунікаційні модулі, через стандартизовані цифрові та аналогові інтерфейси. Гнучкість середовища розробки надає можливість впроваджувати специфічні алгоритми керування, зокрема інтелектуальний автореверс та плавне регулювання швидкості руху стріли за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), що суттєво знижує механічні навантаження на редуктор під час перехідних процесів.

Додатковою технічною перевагою є відкритість програмного коду, яка дозволяє проводити глибоку діагностику стану системи в реальному часі та

адаптувати логіку роботи до специфічних вимог конкретного об'єкта експлуатації без необхідності повної заміни електронного блоку. Апаратна сумісність мікроконтролера з широким спектром промислових драйверів двигунів та опторозв'язок дозволяє ефективно узгоджувати низьковольтну логічну частину з силовими виконавчими механізмами, гарантуючи при цьому захист від електромагнітних завад, що є критично важливим у промислових умовах. Таким чином, використання Arduino забезпечує оптимальний баланс між складністю розробки, функціональними можливостями та надійністю системи, перетворюючи застарілий електромеханічний пристрій на інтелектуальний вузол системи контролю доступу [11].

Висновки за розділом

Проведений аналіз сучасного стану систем автоматизації доступу дозволив систематизувати існуючі конструкції шлагбаумів та визначити критичні аспекти, що потребують технічного вдосконалення. Встановлено, що механічна частина шлагбаумів провідних виробників, таких як САМЕ, FAAC чи BFT, володіє значним експлуатаційним ресурсом, проте їхня електронна складова часто є морально застарілою. Застосування закритих алгоритмів керування, що базуються на фіксованих часових інтервалах, призводить до виникнення динамічних ударів, пришвидшує механічний знос та обмежує інтеграційні можливості систем.

Визначено, що найбільш перспективним шляхом модернізації існуючих пристроїв є перехід на програмно-керовану архітектуру, що поєднує витривалу механічну базу з сучасними алгоритмами інтелектуального управління. Обґрунтовано, що використання платформи Arduino забезпечує необхідну гнучкість при розробці логіки безпеки, зокрема реалізацію динамічного контролю навантаження на електродвигун та швидкого

автореверсу при контакті з перешкодою. Даний підхід дозволяє інтегрувати шлагбаум у сучасні екосистеми управління доступом, включаючи RFID-ідентифікацію, системи розпізнавання номерних знаків та мобільний контроль через бездротові інтерфейси.

Технічне обґрунтування використання Arduino доводить доцільність такого рішення з огляду на його модульність, економічну ефективність та можливість адаптації до індивідуальних потреб об'єкта. Таким чином, результати проведеного аналізу створюють теоретичну та методичну базу для розробки структурних і схемотехнічних рішень, які будуть представлені у другому розділі роботи, де увага буде зосереджена на безпосередній інтеграції мікроконтролера в існуючу систему керування електроприводом.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ВИБІР АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

2.1 Розробка структурної схеми модернізованої системи керування

Розробка модернізованої системи керування шлагбаумом на базі мікроконтролера Arduino передбачає перехід від жорсткої таймерної логіки до гнучкої архітектури з активним зворотним зв'язком. Структурна схема системи побудована на принципі модульності, де центральним вузлом виступає мікроконтролер, що здійснює обробку сигналів від сенсорів та генерує керуючі команди для виконавчих механізмів (рис. 2.1). Вхідний рівень системи утворюють модулі ідентифікації, до яких належать RFID-зчитувач та камера системи розпізнавання номерних знаків (ANPR), що передають дані для авторизації доступу, а також блок зовнішніх датчиків безпеки, що запобігають зіткненню стріли з транспортним засобом [12, 15, 16, 18].

Керуюча частина системи базується на обробці отриманих сигналів мікроконтролером, який, залежно від стану об'єкта та отриманих команд, формує вихідні сигнали для драйвера силового електроприводу. На відміну від штатних аналогових плат, модернізована архітектура дозволяє реалізувати функцію широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) для забезпечення плавності ходу стріли, що мінімізує динамічні перевантаження редуктора. Силова частина схеми включає блок живлення з гальванічною розв'язкою, що гарантує стабільність роботи контролера в умовах потенційних електромагнітних завад від двигуна постійного струму [12, 14].

Запропонована структура системи дозволяє інтегрувати модуль бездротового зв'язку Wi-Fi для віддаленого моніторингу стану шлагбаума та можливості керування через мобільний додаток, що перетворює пристрій на інтелектуальний вузол системи управління доступом. Така побудова схеми

забезпечує високу надійність функціонування за рахунок дублювання контурів безпеки та можливості програмної адаптації логіки роботи під конкретні умови експлуатації об'єкта, не вимагаючи при цьому заміни базових механічних компонентів приводу [17].

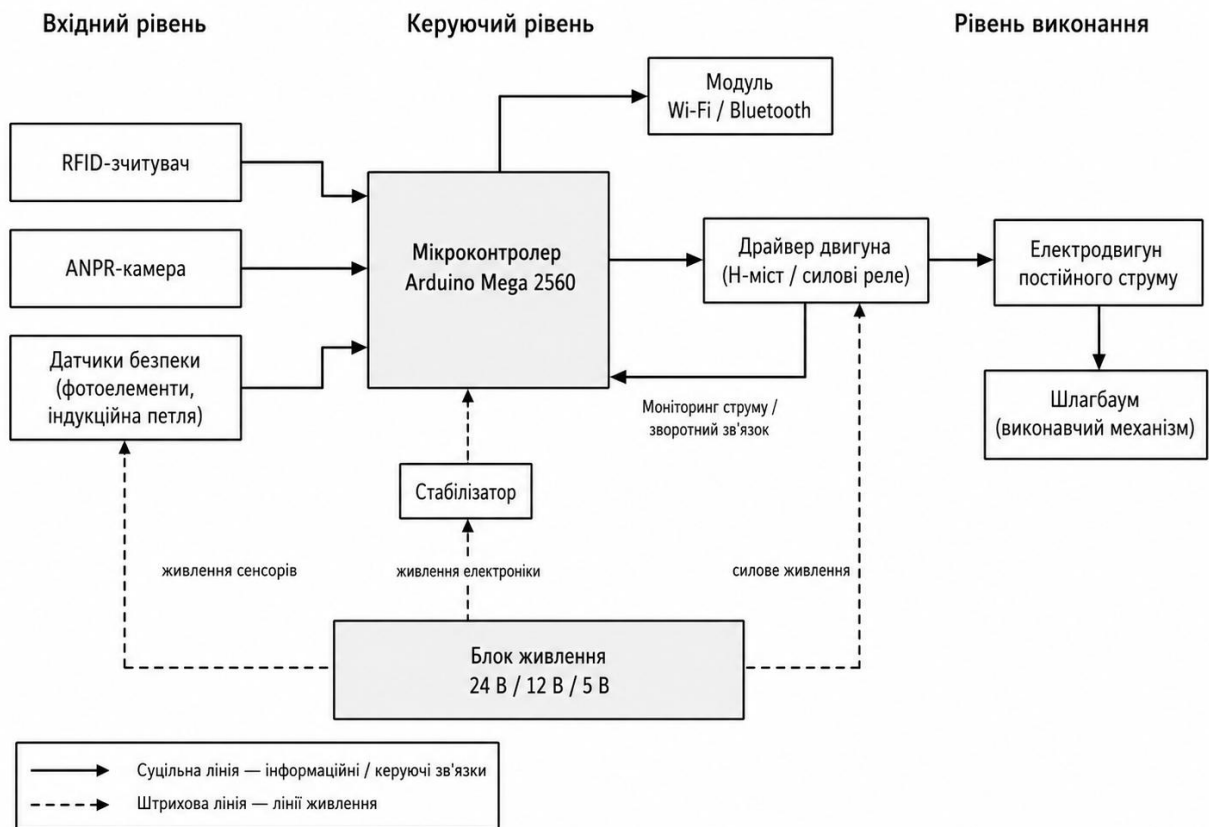


Рис. 2.1. Структурна схема модернізованої системи керування на базі Arduino

2.2. Характеристика електроприводу та вибір компонентів інтеграції

2.2.1. Аналіз технічних характеристик приводу CAME G3750

Для забезпечення ефективного інтелектуального керування необхідно детально проаналізувати параметри силового вузла обраного шлагбаума CAME G3750 (рис. 2.2). Дана модель оснащена електродвигуном постійного

струму напругою 24 В, який вирізняється високим ресурсом та можливістю прецизійного керування швидкістю обертання, що є ключовим для реалізації плавної динаміки руху стріли. Номінальна потужність приводу становить 300 Вт, що забезпечує достатній крутний момент для стабільної роботи з прямою стрілою довжиною до 3,75 метра навіть за несприятливих погодних умов, таких як підвищене вітрове навантаження [13].

Технічні характеристики двигуна дозволяють відмовитися від дискретного керування, притаманного штатним релейним платам, на користь широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Завдяки цій технології мікроконтролер може забезпечувати плавний пуск та гальмування стріли, що суттєво мінімізує інерційні ударні навантаження на черв'ячний редуктор та елементи кріплення, запобігаючи передчасному механічному зносу.

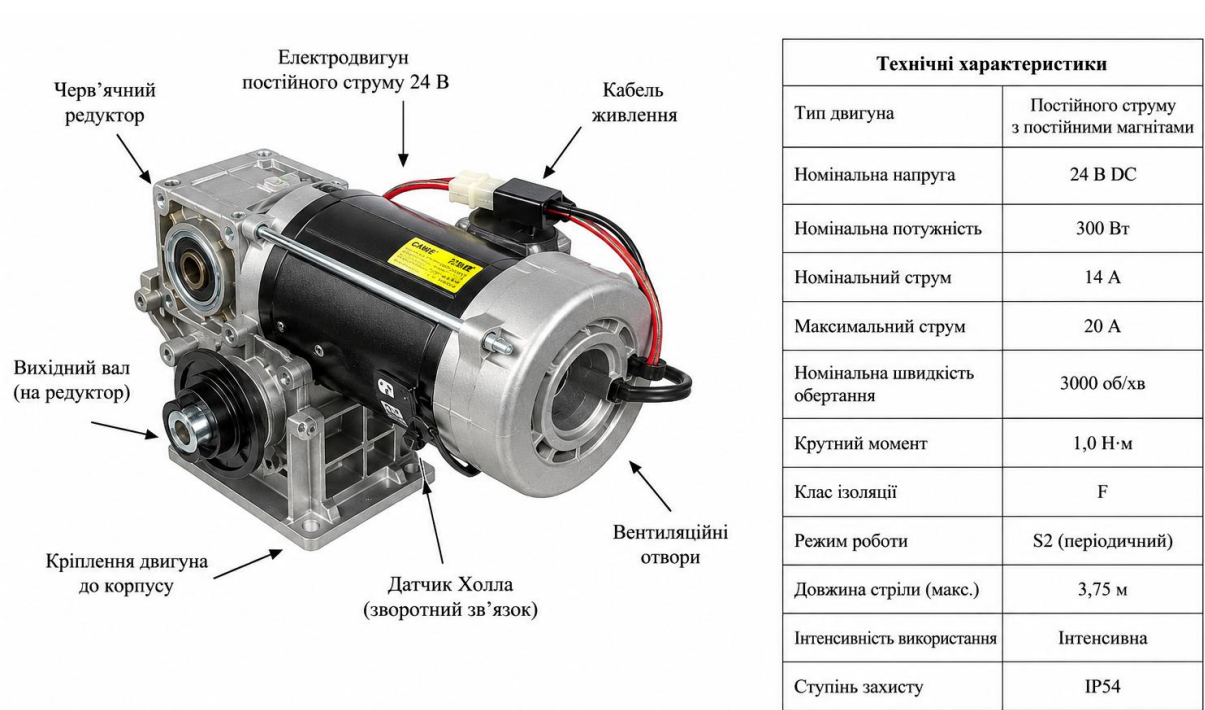


Рис. 2.2. Електродвигун постійного струму приводу CAME G3750

Основним експлуатаційним параметром, який враховується при проектуванні системи модернізації, є номінальний споживаний струм

двигуна. Використання мікроконтролерної архітектури дозволяє проводити постійний моніторинг цього показника за допомогою датчиків струму, що інтегруються в силовий ланцюг. Раптове зростання навантаження понад номінальні значення, яке відповідає моменту фізичного контакту стріли з перешкодою, фіксується контролером як сигнал тривоги, що автоматично ініціює алгоритм реверсу. Такий підхід забезпечує не лише захист від зіткнень, а й діагностику стану механічної частини в режимі реального часу, дозволяючи своєчасно виявляти відхилення у роботі редуктора чи балансувальної пружини [13].

2.2.2. Контролер Arduino та драйвери керування двигуном

Для реалізації інтелектуального керування шлагбаумом як центральний вузол системи обрано мікроконтролер Arduino Mega 2560. Вибір саме цієї моделі зумовлений її архітектурними можливостями: великою кількістю цифрових та аналогових портів вводу-виводу, що є необхідним для одночасного підключення багатьох периферійних пристроїв, таких як RFID-зчитувачі, оптичні датчики безпеки, модулі бездротового зв'язку та канали зворотного зв'язку від силової частини. Висока продуктивність 8-бітного мікроконтролера з тактовою частотою 16 МГц дозволяє виконувати складні алгоритми обробки даних та реалізовувати протоколи передачі інформації у реальному часі, що забезпечує стабільну роботу системи навіть при високій інтенсивності транспортного потоку [12, 15, 17, 18].

Робота мікроконтролера в даній схемі передбачає постійний опит стану сенсорів та генерацію керуючих імпульсів. Завдяки наявності апаратних таймерів, Arduino Mega 2560 дозволяє реалізувати програмну широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ) з високою частотою, що необхідно для коректного керування швидкістю руху стріли. На відміну від молодших моделей серії, цей контролер забезпечує достатній обсяг оперативної та

флеш-пам'яті для зберігання логів подій та розширених алгоритмів захисту, що робить його оптимальним вибором для промислової модернізації [12].

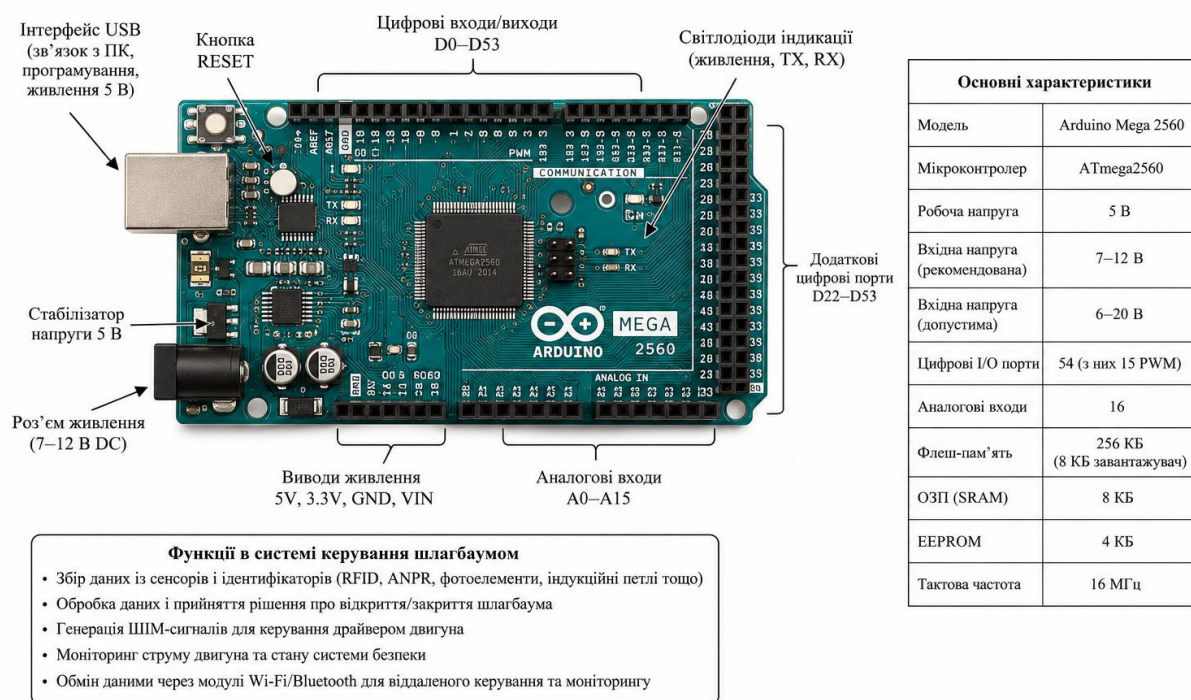


Рис. 2.3. Мікроконтролер Arduino Mega 2560 як ядро системи керування

Для забезпечення керування двигуном постійного струму напругою 24 В та потужністю 300 Вт, штатна релейна система приводу потребує заміни на потужний силовий драйвер. Оптимальним рішенням для інтеграції з Arduino є промисловий драйвер двигуна на базі Н-моста типу IBT-2 (мікросхеми BTS7960), здатний витримувати номінальні та пікові струми, які виникають під час пуску та реверсування приводу (рис. 2.4). Конструктивно такий драйвер дозволяє змінювати полярність живлення двигуна за командами від мікроконтролера, що забезпечує можливість відкриття та закриття проїзду [14].

Застосування силового драйвера такого типу дає змогу ефективно використовувати ШІМ-сигнали для плавного керування потужністю двигуна, замінивши дискретне «ввімкнення-вимкнення» на плавний розгін та

гальмування стріли. Використання датчиків струму, які інтегровані в ланцюг живлення драйвера, дозволяє Arduino відстежувати навантаження на валу в режимі реального часу. При виникненні механічної перешкоди, що спричиняє стрибок споживаного струму, контролер миттєво генерує команду на зупинку або зміну напрямку руху, що реалізує функцію інтелектуального автореверсу. Оптичне узгодження керуючих сигналів між низьковольтною логікою мікроконтролера та високовольтною силовою частиною драйвера забезпечує надійний захист електроніки від електромагнітних завад, гарантуючи тривалий термін експлуатації всієї системи модернізації [14].

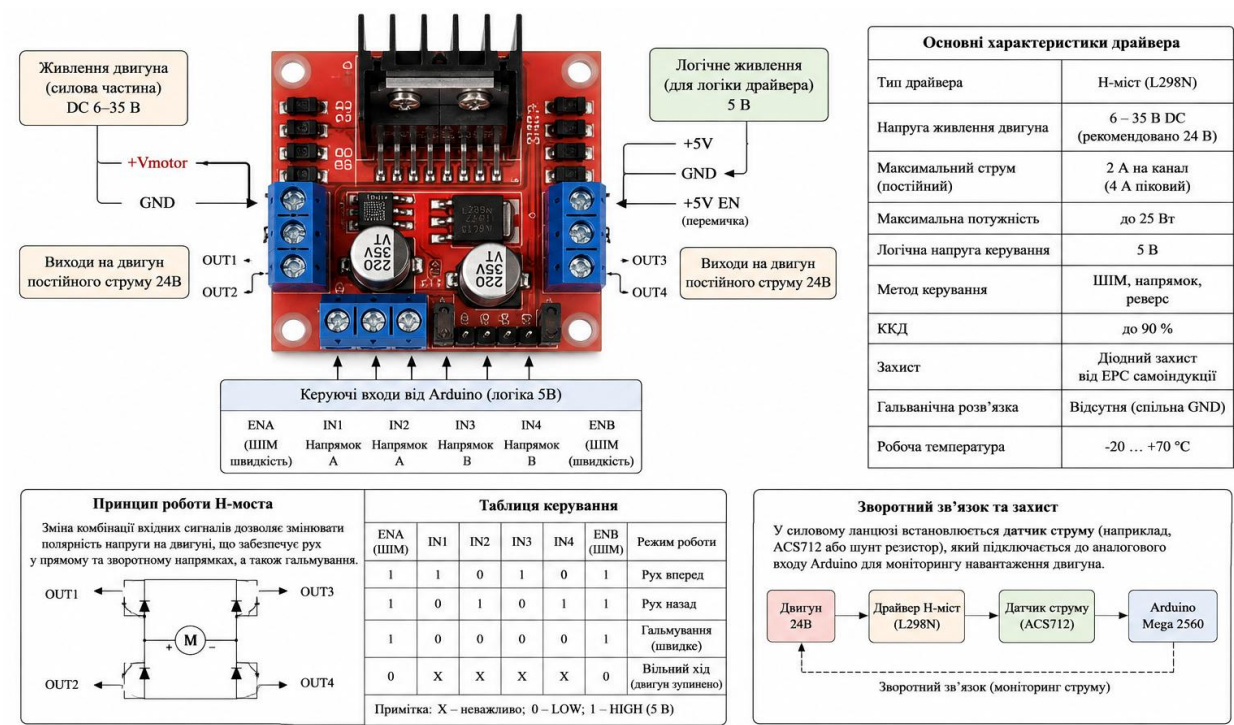


Рис. 2.4. Силовий драйвер двигуна (H-міст) для керування приводом 24В

2.2.3. Вибір сенсорів системи виявлення перешкод

Для забезпечення багаторівневого захисту об'єкта від несанкціонованого контакту стріли з транспортним засобом, модернізована система доповнюється комплексом сенсорів безпеки, що дозволяють

реалізувати інтелектуальну логіку запобігання пошкодженню майна. Основним елементом цього комплексу обрано інфрачервоні фотоелементи CAME DELTA-E, які є галузевим стандартом для промислових шлагбаумів (рис. 2.5) [15]. Пристрій складається з пари передавача та приймача, що створюють невидимий для людського ока інфрачервоний промінь, який перетинає зону руху стріли. При перериванні цього променя транспортним засобом, фотоелемент розмикає релейний контакт, що миттєво генерує сигнал переривання (interrupt) для мікроконтролера Arduino Mega 2560, ініціюючи зупинку або негайний реверс двигуна. Робоча відстань даних сенсорів становить до 20 метрів, а час реакції — менше 50 мс, що є критичним для безпеки при інтенсивному русі. Використання саме цієї моделі зумовлене її високою стійкістю до прямого сонячного світла та несприятливих погодних умов, що забезпечує стабільність спрацювання у будь-яку пору року [15].



Рис. 2.5. Інфрачервоні фотоелементи CAME DELTA-E

На додаток до оптичних бар'єрів, для точної детекції присутності автомобіля безпосередньо під стрілою, застосовується індукційна петля з детектором CAME LM2 (рис. 2.6). Принцип роботи пристрою базується на вимірюванні зміни індуктивності контуру, який заздалегідь монтується в дорожнє полотно, при наближенні масивної металевої конструкції [16]. Детектор CAME LM2 оснащений системою налаштування чутливості та функцією автоматичного калібрування, що дозволяє нівелювати вплив зовнішніх електромагнітних завад та температурних коливань. Релейний вихід детектора інтегрується з окремим цифровим портом мікроконтролера, що дозволяє реалізувати програмну логіку «присутності»: система керування блокує будь-які команди на закриття проїзду доти, доки датчик фіксує металевий об'єкт у зоні своєї дії. Технічні характеристики детектора дозволяють налаштовувати режим утримання сигналу, що забезпечує коректну роботу навіть при короткочасних зупинках автотранспорту під стрілою.

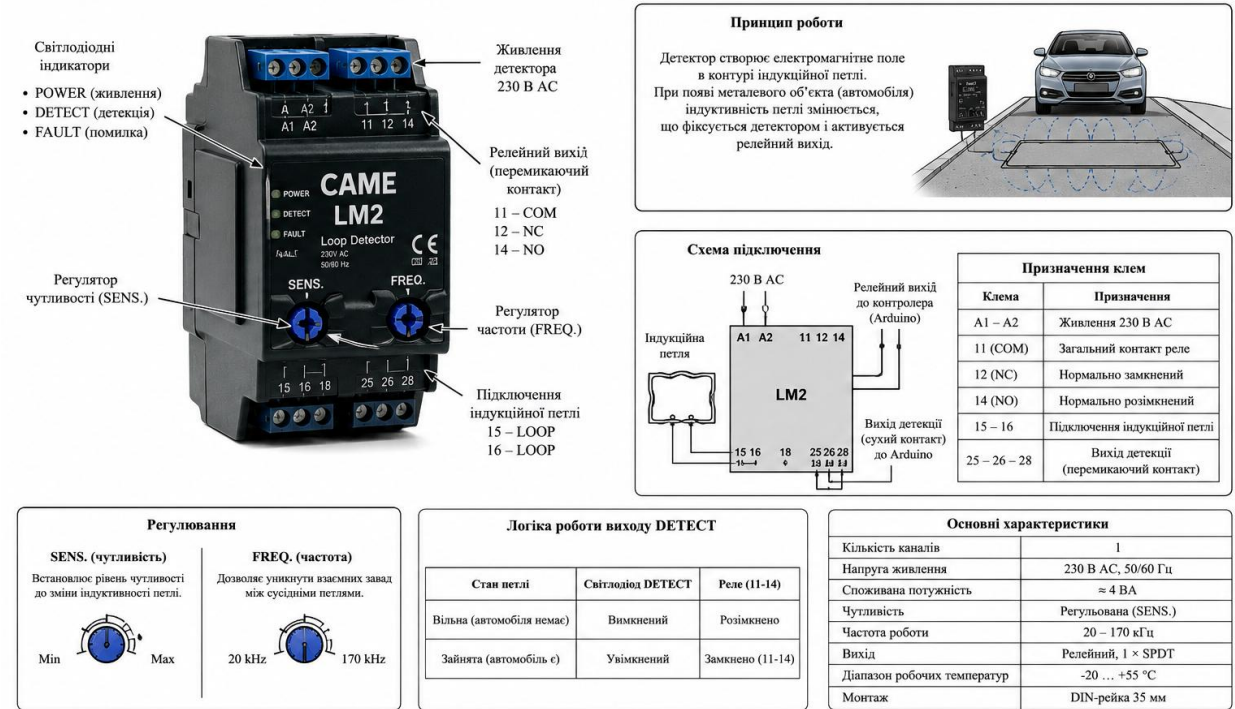


Рис. 2.6. Детектор індукційної петлі CAME LM2

Поєднання даних технологій забезпечує багаторівневий захист: фотоеlementи діють як превентивний бар'єр безпеки, що реагує на перетин лінії руху, тоді як індукційна петля слугує детектором стану «присутності», що унеможливорює опускання стріли на автомобіль, який вже знаходиться в зоні проїзду. Така комбінація сенсорів у поєднанні з програмним алгоритмом струмового контролю, що відстежує навантаження на двигун через силовий драйвер, створює комплексну систему захисту. Дане технічне рішення дозволяє мінімізувати ризики матеріальних збитків, підвищує рівень безпеки користувачів об'єкта та забезпечує повну автоматизацію процесу керування без необхідності постійного візуального контролю з боку оператора [15, 16].

2.2.4. Вибір модулів зв'язку для віддаленого керування

Інтеграція автоматизованого шлагбаума у сучасну інфраструктуру контролю доступу вимагає розширення його функціональних можливостей за рахунок впровадження засобів бездротового зв'язку для віддаленого адміністрування, моніторингу та оперативного керування. При проектуванні архітектури обміну даними було проведено аналіз альтернативних технологічних рішень, таких як модулі малого радіуса дії Bluetooth (наприклад, HC-05) та стільникові GSM-модулі (наприклад, SIM800L). Незважаючи на їхні переваги, жорстка прив'язка до радіуса дії у випадку Bluetooth та постійні фінансові витрати на обслуговування SIM-картки разом із затримками передачі сигналу у випадку GSM, роблять ці рішення неоптимальними для об'єктів з високою інтенсивністю руху, де потрібна інтеграція в єдину локальну мережу [17].

Оптимальним технічним рішенням для модернізації системи на базі мікроконтролера Arduino Mega 2560 обрано бездротовий Wi-Fi модуль ESP8266 у модифікації ESP-01, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 2.7. Цей мікросхемний комплекс відзначається надзвичайною компактністю та поєднує в собі високу функціональність із підтримкою повного стека

мережевих протоколів TCP/IP (IPv4). Модуль здатний працювати як у режимі бездротової точки доступу (SoftAP), так і в режимі клієнта (Station), що дозволяє легко інтегрувати шлагбаум в існуючу інфраструктуру Wi-Fi мережі підприємства або паркінгу. Робоча напруга модуля становить 3,3 В, що узгоджується із загальною схемою живлення логічної частини завдяки використанню понижуючого перетворювача напруги [17].

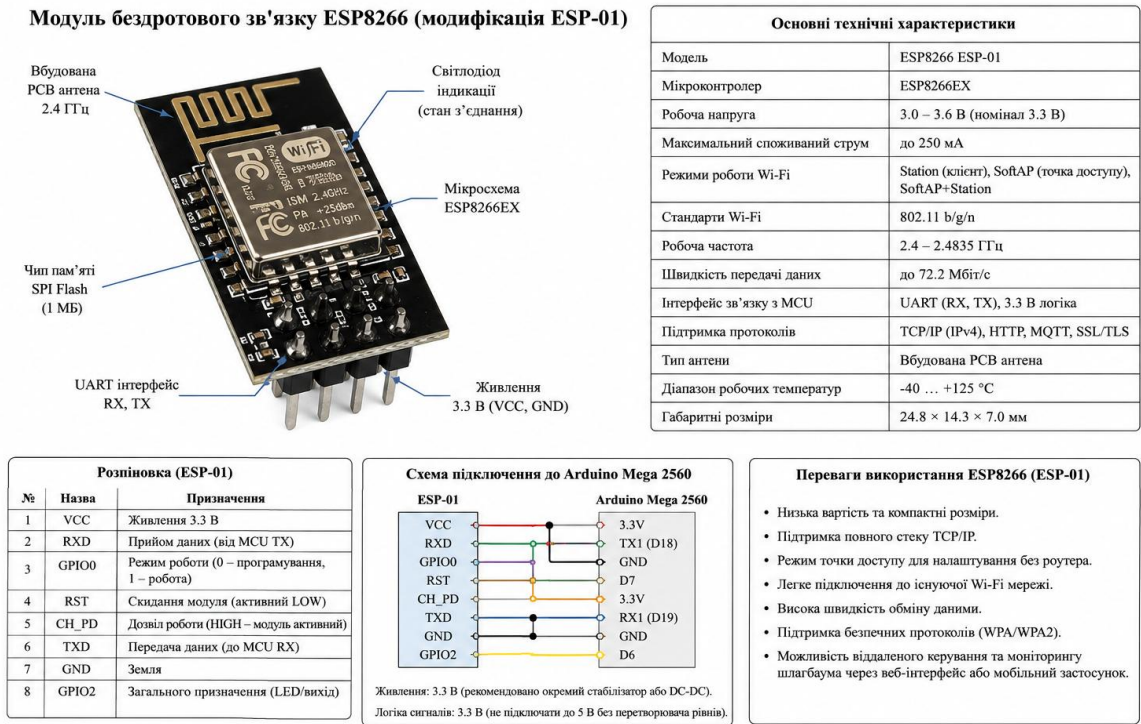


Рис. 2.7. Модуль бездротового зв'язку ESP8266 (модифікація ESP-01)

Апаратна комунікація модуля ESP-01 з центральним процесорним ядром Arduino Mega 2560 здійснюється через апаратний послідовний інтерфейс UART (виводи RX/TX), що забезпечує надійний та швидкий обмін даними за допомогою стандартних AT-команд. Завдяки високій швидкості передачі даних, модуль гарантує практично миттєву трансляцію телеметричної інформації про поточний стан шлагбаума, лічильники циклів спрацювання та сигнали аварійних ситуацій на віддалений сервер або в мобільний застосунок оператора. Підтримка сучасних стандартів

шифрування даних (WPA/WPA2) дозволяє організувати захищений канал зв'язку, мінімізуючи ризики несанкціонованого перехоплення керуючих пакетів, що перетворює модернізований електромеханічний пристрій на повноцінний інтелектуальний вузол системи контролю доступу [12, 17].

2.3. Розрахунок параметрів живлення та розробка схеми підключення

2.3.1. Розрахунок параметрів живлення системи

Надійність функціонування модернізованої системи керування шлагбаумом безпосередньо залежить від правильно розрахованої системи живлення, яка має забезпечувати стабільною енергією як силові, так і логічні вузли в умовах динамічних перепадів навантаження. Основним споживачем електроенергії в системі є електродвигун постійного струму приводу САМЕ G3750, номінальна потужність якого становить 300 Вт при робочій напрузі 24 В [13]. Згідно з базовими електротехнічними розрахунками, номінальний споживаний струм двигуна дорівнює 12,5 А. Враховуючи перехідні процеси під час пуску, гальмування та ймовірність виникнення механічних перешкод, пікові значення струму можуть суттєво перевищувати номінальні показники. Тому для стабільної роботи силових частини необхідне джерело живлення з вихідною напругою 24 В та потужністю не менше 400 Вт, що створює необхідний експлуатаційний запас міцності для запобігання просадкам напруги у критичних режимах роботи приводу [19].

Для реалізації цього завдання обрано промисловий імпульсний блок живлення Mean Well LRS-450-24, який повністю задовольняє розраховані технічні вимоги (рис. 2.8) [19]. Даний модуль має номінальну потужність 451,2 Вт і здатний стабільно видавати вихідний струм до 18,8 А при напрузі 24 В, що забезпечує запас потужності близько 33% відносно номінального

споживання двигуна шлагбаума. Важливою перевагою обраного джерела живлення є наявність вбудованих автоматичних систем захисту від короткого замикання, навантаження за струмом, перенапруги та перегріву, а також інтегроване активне охолодження за допомогою вентилятора, що мінімізує ризики термічного пошкодження при тривалій експлуатації. Висока стабільність вихідної напруги з низьким рівнем пульсацій гарантує надійну роботу як силового драйвера, так і чутливих елементів логіки.

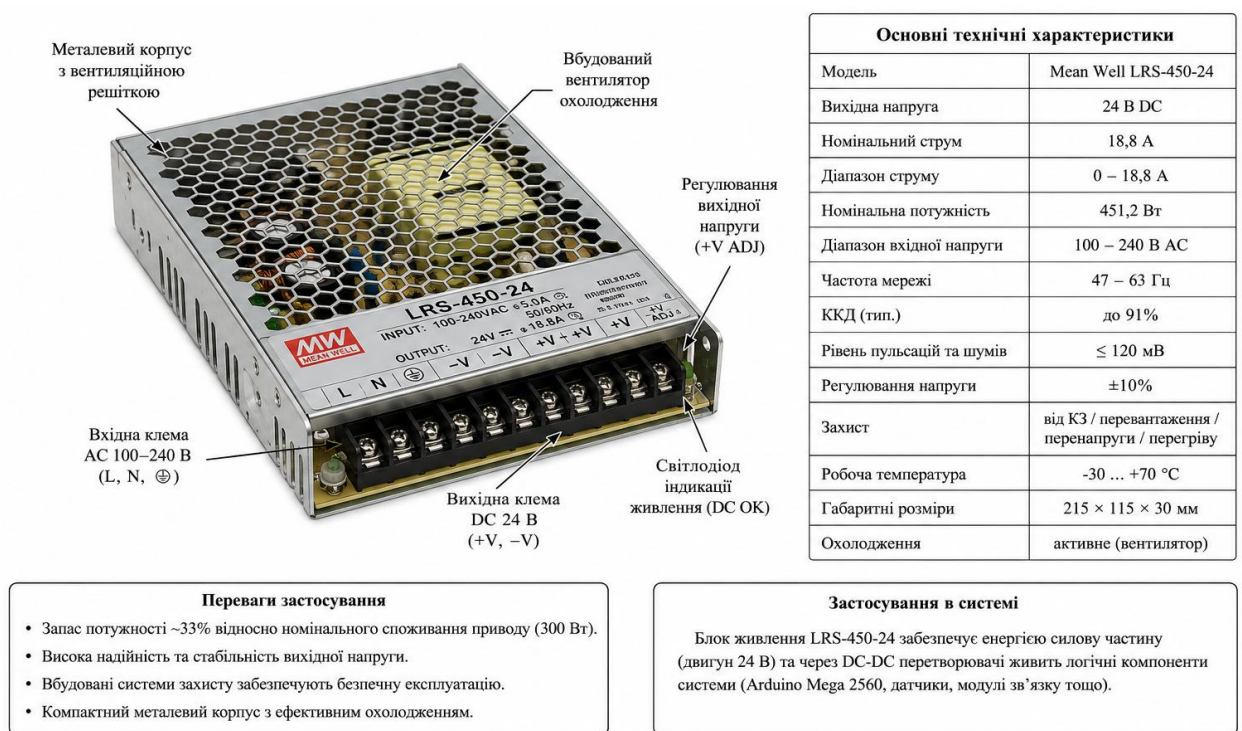


Рис. 2.8 Промисловий блок живлення Mean Well LRS-450-24

Живлення логічної частини системи, що включає мікроконтролер Arduino Mega 2560, модуль бездротового зв'язку ESP8266 та периферійні плати, вимагає стабілізованої напруги 5 В та 3,3 В. Для ефективного зниження базової напруги 24 В від блока Mean Well до рівня 5 В застосовується інтегрований DC-DC понижуючий перетворювач LM2596. Своєю чергою, для забезпечення стабільного живлення 3,3 В бездротового

трансивера ESP8266, який характеризується високим піковим споживанням струму під час передачі даних, у схемі додатково використовується лінійний стабілізатор напруги AMS1117-3.3. Таке каскадне рішення дозволяє жити всю слаботрумову електроніку безпосередньо від головного силового джерела з високим коефіцієнтом корисної дії, гарантуючи при цьому відсутність просадок напруги на чутливих компонентах зв'язку [20, 21].

2.3.2. Розробка схеми підключення та реалізація гальванічної розв'язки

При розробці принципової схеми підключення модернізованої системи керування шлагбаумом ключовим завданням є забезпечення надійної взаємодії між низьковольтною мікропроцесорною частиною та силовими виконавчими механізмами, а також захист логічних контурів від деструктивного впливу електромагнітних завад (рис. 2.9). Центральним елементом комутації виступає мікроконтролер Arduino Mega 2560, до цифрових та аналогових виводів якого підключаються всі периферійні пристрої [12]. Оскільки силова частина системи, зокрема електродвигун постійного струму приводу CAME G3750 та драйвер двигуна (H-міст), функціонують під напругою 24 В від імпульсного блока живлення Mean Well LRS-450-24, виникає потреба в чіткому розділенні електричних контурів [13, 14, 19]. Керуючі сигнали для драйвера двигуна, які включають сигнали широтно-імпульсної модуляції для регулювання швидкості та цифрові сигнали для зміни напрямку обертання валу, передаються від мікроконтролера не безпосередньо, а через високошвидкісні оптичні ізолятори (оптопары) [12, 14]. Це технічне рішення реалізує надійне оптичне узгодження керуючих ліній (опторозв'язку), яке унеможливорює проникнення зворотних струмів та високовольтних сплесків напруги, що виникають при комутації індуктивного навантаження двигуна, до процесорного ядра, запобігаючи його збоєм або виходу з ладу [14].

Окремим аспектом розробки схеми є узгодження рівнів сигналів від периферійних сенсорів безпеки [15, 16]. Інфрачервоні фотоелементи CAME DELTA-E та детектор індукційної петлі CAME LM2 розраховані на промислову напругу живлення 24 В, тоді як логічні рівні мікроконтролера Arduino Mega 2560 становлять 5 В. Для безпечного передавання інформаційного сигналу про наявність перешкоди в зоні проїзду, вихідні релейні контакти фотоелементів та індукційного детектора інтегруються за схемою з підтягуючими резисторами до шини 5 В або підключаються через спеціалізовані блоки опторозв'язки логічних рівнів.

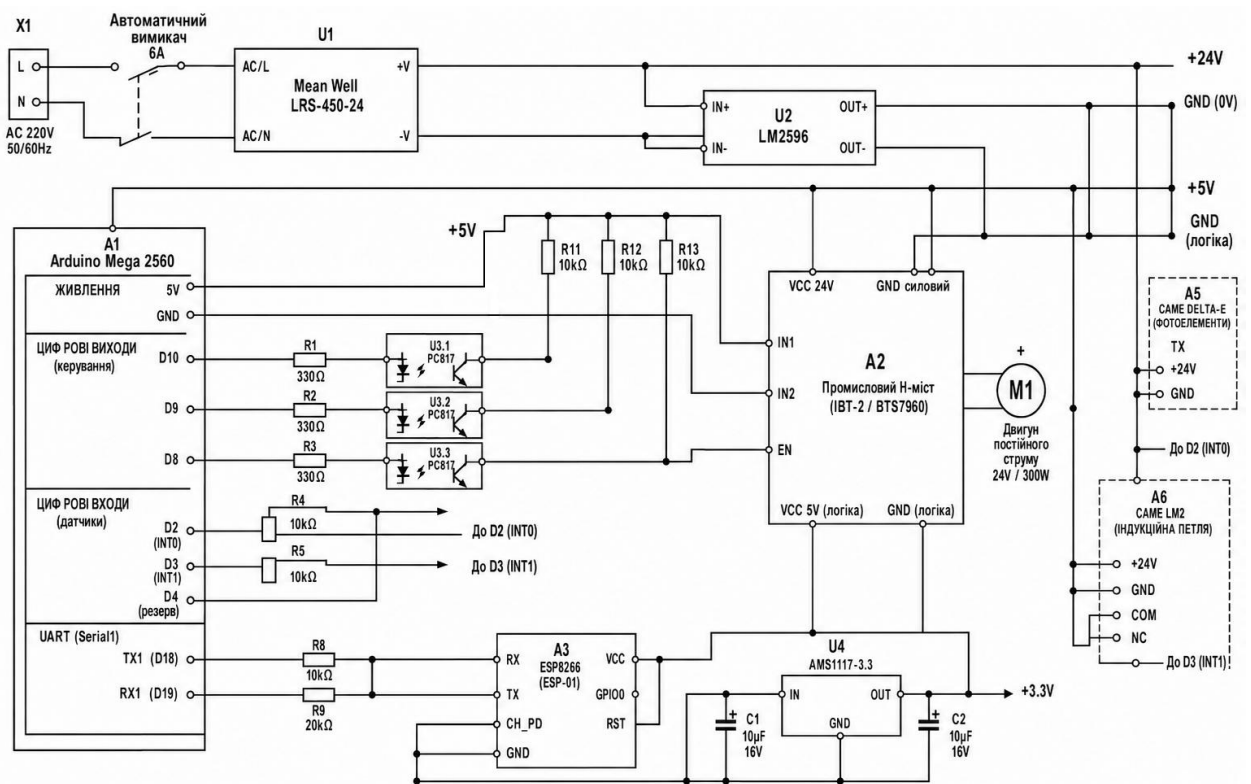


Рис. 2.9. Принципова схема підключення керуючих та силових вузлів системи

При розмиканні контактів датчика внаслідок виявлення об'єкта, на відповідному цифровому вході Arduino формується стійкий сигнал логічного нуля, який обробляється програмою на апаратному рівні за допомогою функцій зовнішніх переривань [12, 15, 16]. Даний підхід до побудови схеми

підключення забезпечує максимальну завадостійкість інформаційних ліній, усуває явище деренчання контактів та гарантує високу швидкість реакції системи безпеки, що повністю відповідає критеріям надійної експлуатації промислового обладнання [12, 14-16, 19].

Висновки за розділом

У другому розділі кваліфікаційної роботи виконано комплекс науково-технічних досліджень, спрямованих на обґрунтування архітектури та вибір елементної бази для модернізації системи керування автоматичним шлагбаумом. Перехід від застарілої аналогової логіки до мікропроцесорного керування дозволив розробити гнучку модульну структуру системи, яка забезпечує активний зворотний зв'язок, підвищену завадостійкість та розширені функціональні можливості без необхідності заміни базових механічних вузлів приводу CAME G3750.

На основі детального аналізу силових характеристик штатного електродвигуна постійного струму потужністю 300 Вт обґрунтовано вибір центрального керуючого ядра — мікроконтролера Arduino Mega 2560. Його обчислювальна потужність, наявність апаратних таймерів та розвинена периферія дозволили реалізувати алгоритми широтно-імпульсної модуляції для забезпечення плавної динаміки руху стріли шлагбаума. Для комутації потужного індуктивного навантаження двигуна та забезпечення можливості зміни полярності живлення обрано промисловий драйвер на базі H-моста типу IBT-2 (на базі силових ключів BTS7960), спроможний стабільно функціонувати в умовах високих пускових і реверсивних струмів.

Для створення надійного контуру безпеки запропоновано та технічно обґрунтовано комбінацію превентивних оптичних сенсорів та індукційного детектора стану присутності. Інтеграція інфрачервоних фотоелементів CAME DELTA-E забезпечує миттєву реакцію системи на перетин лінії руху стріли,

тоді як детектор індукційної петлі CAME LM2 гарантує точну фіксацію маси автомобіля безпосередньо під стрілою, унеможливаючи її опускання до моменту повного звільнення проїзду. Додатково впроваджено компактний бездротовий Wi-Fi модуль ESP8266 у модифікації ESP-01, який дозволяє інтегрувати шлагбаум у локальну мережу підприємства для віддаленого моніторингу телеметрії та безпечного диспетчерського керування за протоколами TCP/IP.

У межах розрахунку параметрів системи живлення визначено оптимальні характеристики промислового імпульсного блока Mean Well LRS-450-24 потужністю 451,2 Вт, який забезпечує необхідний 33%-й запас потужності для компенсації пікових пускових навантажень. Для логічних контурів розроблено каскадну схему стабілізації на базі імпульсного DC-DC перетворювача LM2596, що знижує напругу до 5 В, та додаткового лінійного регулятора AMS1117-3.3, призначеного для згладжування пульсацій у ланцюзі живлення Wi-Fi трансивера.

Розроблена принципова електрична схема підключення в середовищі sPlan враховує сучасні стандарти промислової завадостійкості. Впровадження високошвидкісних оптопар PC817 для оптичного узгодження керуючих сигналів мікроконтролера та Н-моста, разом із належною побудовою контурів підтягуючих резисторів для зовнішніх датчиків безпеки, забезпечує повний захист процесорного ядра від деструктивного впливу зворотної електрорушійної сили та наведень щіткового апарату двигуна. Отримані технічні та схемотехнічні рішення формують надійне апаратне підґрунтя для подальшої розробки програмного забезпечення та алгоритмів функціонування модернізованого комплексу.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ

3.1. Розробка загального алгоритму функціонування системи

Загальний алгоритм функціонування модернізованої системи керування проектується за ієрархічним принципом і є скінченим автоматом, що координує роботу комплексу взаємопов'язаних, але функціонально незалежних підпрограм (рис. 3.1). Така архітектура забезпечує чітку детермінацію станів обладнання та унеможливорює виникнення програмних колізій або циклічних зависань мікроконтролера під час виконання операцій, пов'язаних із фізичним рухом виконавчих механізмів. При увімкненні живлення першочергово запускається підпрограма ініціалізації апаратної частини, яка здійснює конфігурацію цифрових та аналогових портів вводу-виводу мікроконтролера Arduino Mega 2560, налаштовує режими роботи апаратних таймерів для генерації ШІМ, ініціалізує послідовні інтерфейси UART для комунікації з бездротовим модулем ESP8266 та периферійними контролерами систем ідентифікації. Після успішної перевірки готовності сенсорів система переходить у базовий стан очікування, постійно контролюючи прапорці запитів на проїзд.

Основний процес роботи системи активується при надходженні сигналу авторизації від підпрограми розпізнавання номерних знаків або підпрограми зчитування RFID-ідентифікаторів. Отримавши підтвердження легітимності доступу, головний алгоритм викликає підпрограму відкриття проїзду, яка починає взаємодію із промисловим драйвером IBT-2. Дана підпрограма динамічно змінює коефіцієнт заповнення ШІМ-сигналу, забезпечуючи плавний розгін електродвигуна приводу CAME G3750 за трапецеїдальним профілем швидкості. Паралельно з рухом стріли вгору головний алгоритм безперервно викликає підпрограму моніторингу кінцевих вимикачів. При

фіксації сигналу досягнення верхнього екстремуму рух примусово припиняється за допомогою підпрограми динамічного гальмування, а система переходить у стан утримання стріли у відкритому положенні із запуском програмного таймера зворотного відліку.

Найбільш критичною з точки зору безпеки є фаза закриття проїзду, яка ініціюється після завершення роботи таймера утримання або за командою віддаленого диспетчера через Wi-Fi мережу. Процес опускання стріли супроводжується безперервним виконанням підпрограм обробки сигналів інфрачервоних фотоелементів CAME DELTA-E та детектора індукційної петлі CAME LM2. Оскільки ці підпрограми інтегровані через механізм апаратних переривань, будь-яка зміна стану датчиків безпеки миттєво змінює хід виконання головного циклу програми. Якщо підпрограма індукційної петлі фіксує перебування автомобіля безпосередньо під стрілою, алгоритм блокує закриття проїзду. У разі переривання оптичного променя фотоелементів під час опускання стріли, головний алгоритм миттєво зупиняє поточний процес і викликає підпрограму екстреного автореверсу, яка перемикає силові ключі драйвера BTS7960 для негайного підняття стріли у безпечне верхнє положення.

Повна послідовність взаємодії підпрограм, етапи обробки інформаційних сигналів та логіка переходу системи між робочими і аварійними станами детально відображені на загальній блок-схемі функціонування (рис. 3.1). Графічне представлення дозволяє простежити шлях виконання коду від моменту первинної ініціалізації периферійних пристроїв до фінального опускання стріли шлагбаума після повного звільнення транспортної зони, що підтверджується логічними рівнями на відповідних шинах введення даних мікроконтролера. Після завершення циклу закриття алгоритм повертає систему у вихідний стан очікування нового циклу авторизації.

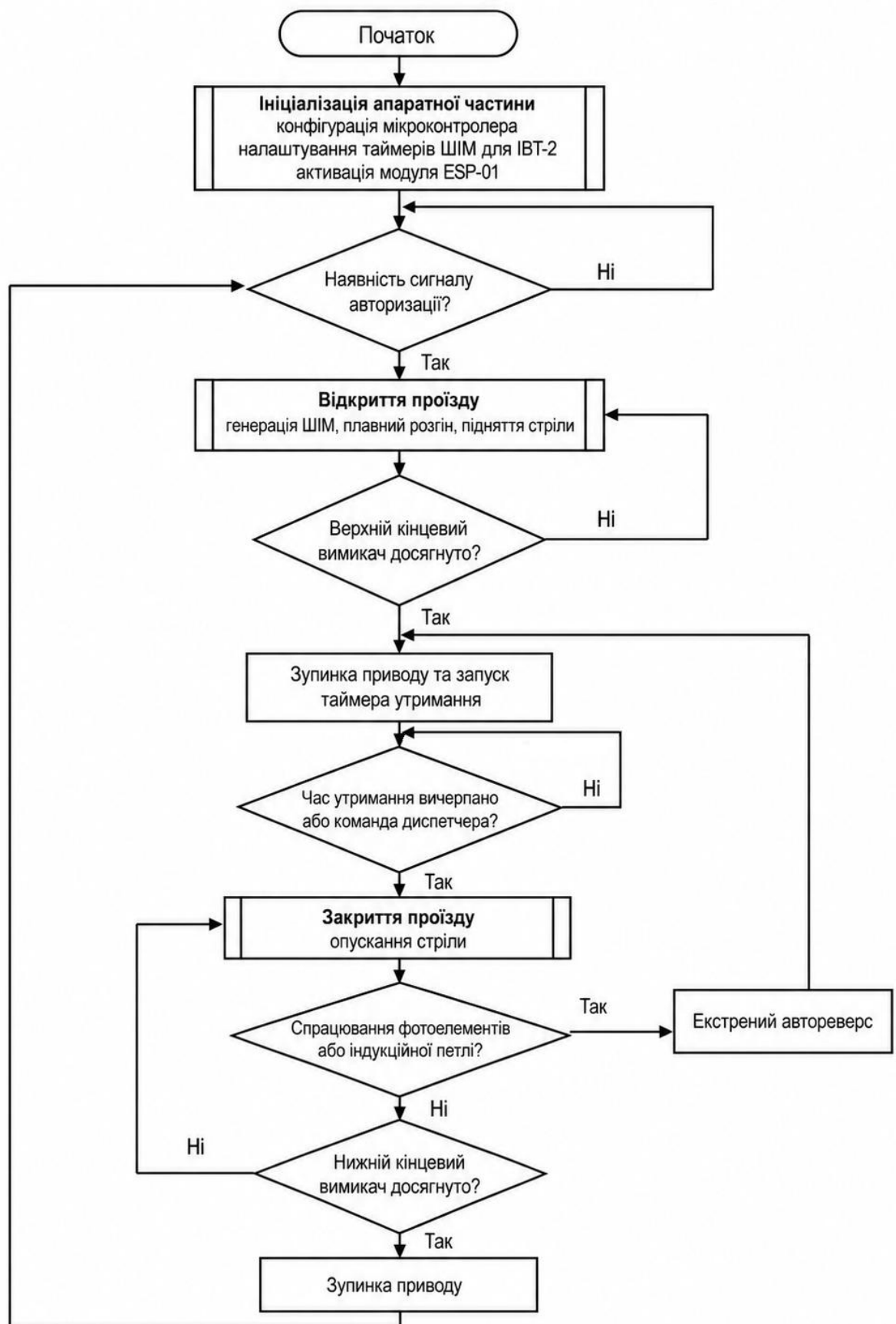


Рис. 3.1. Блок-схема головного алгоритму функціонування системи

3.2. Алгоритмічна реалізація ключових підпрограм керування та безпеки

Детальний аналіз загальної архітектури програмного забезпечення дозволяє виділити найбільш критичні компоненти керуючого коду, що безпосередньо визначають динамічні та безпекові характеристики модернізованого шлагбаума. На відміну від процедури первинної ініціалізації апаратної частини, яка характеризується суворо лінійною структурою виконання та не містить логічних розгалужень, підпрограми безпосереднього керування рухом стріли та обробки сигналів зворотного зв'язку мають складну нелінійну логіку. У межах даного підрозділу розглядаються алгоритмічні рішення для передвизначених процесів відкриття та закриття проїзду, що координують роботу силового приводу за складними траєкторіями з паралельним моніторингом датчиків, а також підпрограма екстреного автореверсу, яка забезпечує миттєвий захист об'єктів у створі автоматизованого комплексу. Такий аналіз дозволяє деталізувати внутрішні процеси обчислювального ядра мікроконтролера Arduino Mega 2560, які залишаються прихованими на узагальненій блок-схемі функціонування системи.

Алгоритм підпрограми відкриття проїзду ініціюється головним модулем скінченного автомата виключно після успішної верифікації сигналу авторизації від модулів ідентифікації та перевірки відсутності блокуючих прапорців у реєстрі безпеки (рис. 3.2). Головною метою функціонування даної підпрограми є переведення стріли шлагбаума з горизонтального у вертикальне положення за мінімальний проміжок часу із суворим обмеженням механічних перевантажень на черв'ячний редуктор приводу SAME G3750. Для реалізації цього завдання всередині підпрограми розгорнуто алгоритм формування трапецеїдального профілю швидкості за

допомогою динамічної зміни коефіцієнта заповнення ШІМ-сигналу, що подається на керуючі входи промислового драйвера IBT-2.

Процес виконання підпрограми розпочинається з фази плавного розгону, під час якої керуюче ядро циклічно збільшує значення шпаруватості ШІМ від початкового моменту зрушення до максимального номінального робочого рівня з кроком, що розраховується пропорційно поточному часу виконання циклу. Після досягнення розрахункової швидкості підпрограма переходить у фазу стабільного руху стріли вгору. Протягом усього часу виконання цього процесу всередині підпрограми організовано безперервне циклічне опитування стану верхнього кінцевого вимикача. Логічна структура підпрограми побудована таким чином, що доки на інформаційному порті мікроконтролера утримується високий логічний рівень, обчислювальний потік залишається всередині циклу руху, продовжуючи генерацію стабільного ШІМ-сигналу та утримуючи силові транзистори BTS7960 у відкритому стані.

При наближенні стріли до вертикального положення та замиканні контактів верхнього кінцевого вимикача, на відповідному цифровому вході Arduino Mega 2560 фіксується перехід сигналу в стан логічного нуля. Отримання цього прапорця викликає логічне розгалуження алгоритму підпрограми відкриття, ініціюючи негайний перехід до фази динамічного гальмування. Керуюче ядро починає стрімко, але плавно зменшувати потужність на виходах драйвера, що дозволяє уникнути кінематичного удару стріли об механічний обмежувач. Фінальним кроком алгоритму підпрограми відкриття є повне відключення силових ключів H-моста, фіксація поточного стану системи у змінній пам'яті та коректне передавання керування назад до головного циклу для запуску таймера утримання проїзду.

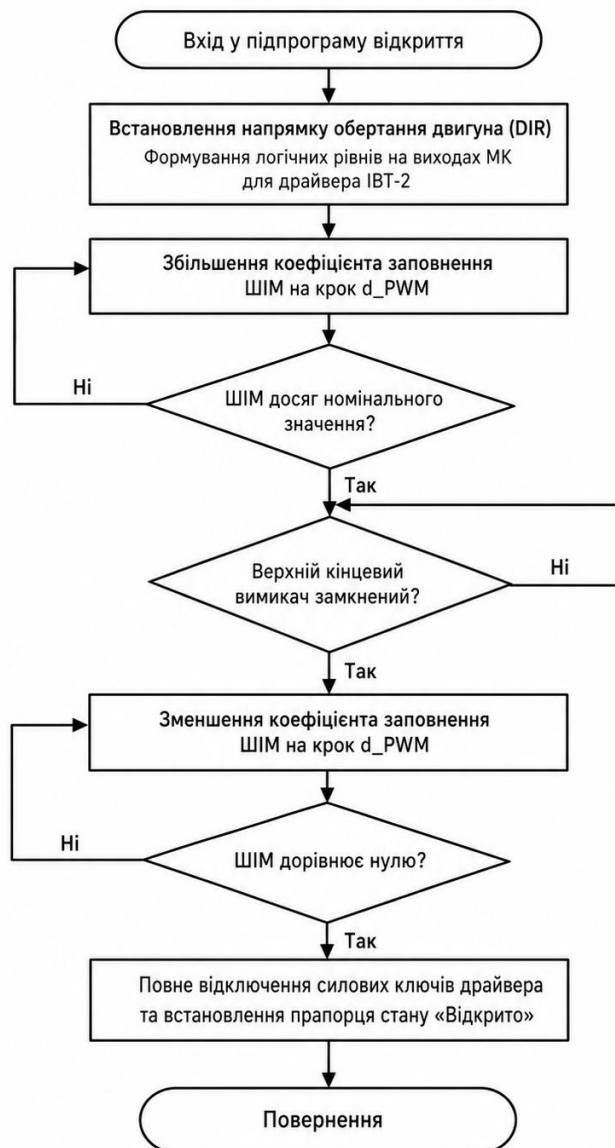


Рис. 3.2. Блок-схема підпрограми відкриття проїзду автоматизованого шлагбаума

Алгоритм підпрограми закриття проїзду є найбільш відповідальним вузлом програмного забезпечення, оскільки саме під час фази опускання стріли виникає максимальний ризик зіткнення з транспортними засобами або пішоходами (рис. 3.3). Ініціалізація цього передвизначеного процесу здійснюється головним циклом скінченного автомата після вичерпання ліміту часу програмного таймера утримання у відкритому стані або при отриманні відповідної командної директиви від диспетчера через бездротовий модуль ESP8266. Перед початком генерації будь-яких керуючих сигналів для

силового приводу, підпрограма здійснює обов'язкову превентивну перевірку глобальних прапорців безпеки. Якщо на цифрових входах мікроконтролера фіксується логічний нуль від інфрачервоних фотоелементів CAME DELTA-E або детектора індукційної петлі CAME LM2, що свідчить про наявність перешкоди, алгоритм жорстко блокує запуск двигуна і примусово перезапускає таймер очікування, гарантуючи неможливість початку руху до повного звільнення контрольованої зони.

За умови вільного проїзду мікроконтролер Arduino Mega 2560 розпочинає формування керуючих сигналів для промислового Н-моста IBT-2, встановлюючи на портах напрямку відповідні логічні рівні для реверсивного обертання електродвигуна постійного струму приводу CAME G3750. Динаміка опускання стріли, аналогічно до процесу відкриття, підпорядковується трапецеїдальному профілю швидкості. Підпрограма циклічно нарощує коефіцієнт заповнення ШІМ-сигналу, забезпечуючи плавний старт механізму без ривків та мінімізуючи навантаження на черв'ячну передачу, після чого переходить у фазу стабільного руху вниз на номінальній швидкості. Під час цієї фази обчислювальне ядро безперервно опитує стан нижнього кінцевого вимикача, очікуючи моменту наближення стріли до горизонтальної стійки-опори.

Ключовою особливістю виконання підпрограми закриття є постійна апаратна готовність системи до миттєвого переривання процесу. Оскільки моніторинг датчиків безпеки реалізовано на рівні зовнішніх переривань, будь-яке порушення оптичного променя або фіксація металевої маси індукційною петлею під час руху стріли вниз призведе до негайного призупинення поточної підпрограми. У такому випадку керування перехоплюється вектором переривання, який миттєво знімає напругу з двигуна та ініціює екстрений автореверс для підняття стріли. Якщо ж опускання проходить у штатному режимі без спрацювання сенсорів, при замиканні нижнього кінцевого вимикача алгоритм активує фазу програмного

демпфування. Відбувається стрімке, але лінійне зменшення шпаруватості керуючого імпульсу до нульового значення, що забезпечує м'яку зупинку приводу. Після повного знеструмлення силових ключів драйвера підпрограма оновлює глобальні змінні стану системи та повертає керування головному циклу для переходу в режим базового очікування нової авторизації.

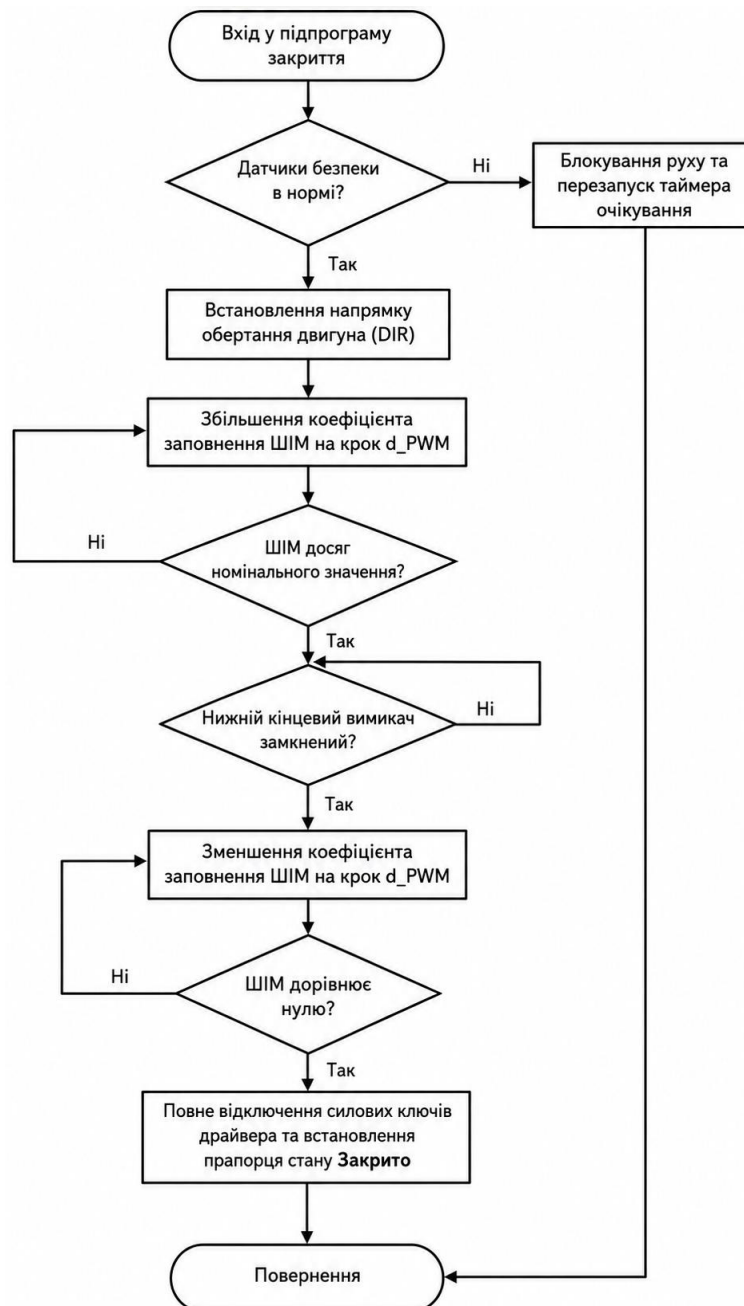


Рис. 3.3. Блок-схема підпрограми закриття проїзду автоматизованого шлагбаума.

Третьою критично важливою складовою загального алгоритму керування є підпрограма екстреного автореверсу, яка виконує функцію активного захисту від зіткнень (рис. 3.4). На відміну від стандартних процесів відкриття та закриття, цей алгоритмічний модуль не викликається з головного циклу скінченного автомата, а ініціюється виключно через механізм апаратних зовнішніх переривань мікроконтролера Arduino Mega 2560. У разі перетину інфрачервоного променя фотоелементів CAME DELTA-E або зміни індуктивності детектора CAME LM2 під час фази опускання стріли, на відповідних цифрових входах формується спадний фронт сигналу. Це миттєво призупиняє виконання поточної підпрограми закриття та передає керування вектору переривання, що гарантує мінімально можливий час реакції апаратно-програмного комплексу на виникнення аварійної ситуації в зоні проїзду.

Початкова фаза виконання алгоритму автореверсу полягає у терміновому знеструмленні електродвигуна постійного струму. Керуюче ядро програмно обнуляє регістри порівняння таймерів, які генерують ШІМ-сигнал для опускання, що призводить до зупинки приводу. Одразу після цього мікроконтролер змінює логічні рівні на портах керування напрямком драйвера ІВТ-2, перемикаючи силові ключі Н-моста для забезпечення зворотного обертання ротора. Враховуючи екстрений характер операції, розгін стріли вгору відбувається з більш стрімким профілем нарощування швидкості порівняно зі штатним відкриттям, проте з обов'язковим збереженням мінімально необхідного програмного демпфування. Це дозволяє максимально швидко звільнити простір над автомобілем, одночасно запобігаючи пошкодженню черв'ячного редуктора від різкого кінематичного удару.

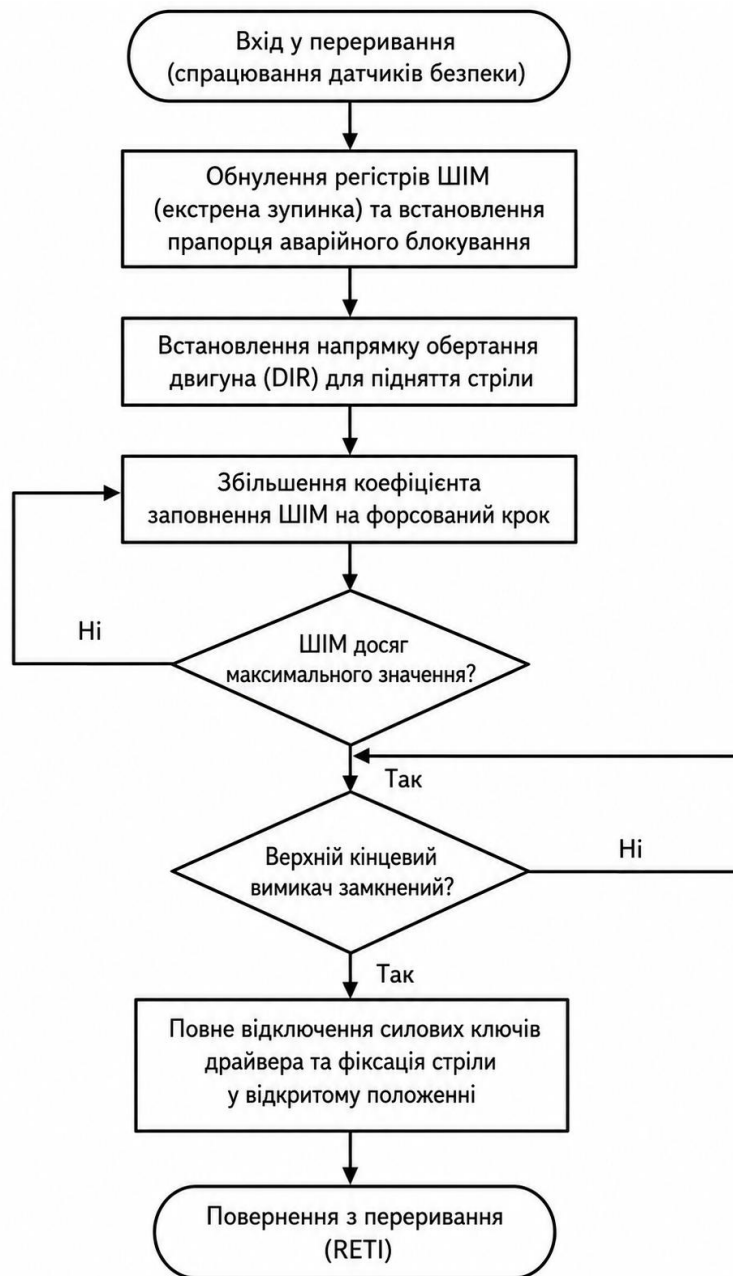


Рис. 3.4. Блок-схема підпрограми екстреного автореверсу (обробник переривання).

Паралельно з фізичним підняттям стріли, підпрограма здійснює зміну внутрішніх станів системи керування. У регістрі пам'яті встановлюється глобальний логічний прапорець аварійного блокування, який жорстко забороняє будь-які подальші спроби автоматичного або дистанційного закриття проїзду. Стріла повертається до верхнього кінцевого вимикача, після

чого двигун повністю відключається. Зняття аварійного прапорця та повернення скінченного автомата до штатного режиму функціонування стає можливим виключно після того, як система зафіксує стабільне відновлення високого логічного рівня на входах безпеки. Це алгоритмічно підтверджує повне звільнення зони проїзду від транспортних засобів та дозволяє безпечно продовжити експлуатацію шлагбаума.

3.3. Вибір середовища розробки та програмна реалізація системи керування

Перенесення розроблених графоаналітичних алгоритмів на апаратну платформу вимагає використання спеціалізованого програмного забезпечення для написання, компіляції та завантаження машинного коду. Для реалізації даного проекту в якості основного інструментарію обрано кросплатформове середовище розробки Arduino IDE, яке функціонує на базі відкритого компілятора AVR-GCC. Вибір цього середовища обґрунтовується його повною апаратною сумісністю з обраним мікроконтролером Arduino Mega 2560 та наявністю розгалуженої екосистеми перевірених бібліотек для роботи з периферійними пристроями. Програмний код розробляється мовою програмування C++ із застосуванням принципів об'єктно-орієнтованого підходу, що дозволяє інкапсулювати складні математичні обчислення профілів швидкості та процедури обробки мережових пакетів у незалежні програмні класи та функції.

Архітектура програмного коду побудована за модульним принципом із суворим розподілом оперативної пам'яті (SRAM) та флеш-пам'яті мікроконтролера. Для мінімізації часу виконання критичних секцій коду, зокрема підпрограм обробки апаратних переривань від контуру безпеки, застосовано метод прямого звернення до регістрів портів вводу-виводу

(Direct Port Manipulation) замість стандартних функцій фреймворку Arduino. Комунікація з модулем бездротового зв'язку ESP-01 реалізована через апаратний буфер кільцевого типу (Ring Buffer) інтерфейсу UART1, що гарантує цілісність передачі телеметричних даних та команд керування без виникнення ефекту блокування головного обчислювального циклу скінченного автомата.

З метою підвищення загальної відмовостійкості системи до програмної частини інтегровано механізм апаратного сторожового таймера (Watchdog Timer). Цей модуль налаштовується на етапі ініціалізації та вимагає циклічного програмного скидання впродовж кожного проходження головного алгоритму. У випадку виникнення непередбачуваних програмних колізій, зависання мікропроцесора через електромагнітні завади від електродвигуна або втрати зв'язку, сторожовий таймер автоматично генерує сигнал апаратного скидання (RESET), повертаючи систему до вихідного безпечного стану. Застосування таких методів оптимізації коду та апаратного захисту забезпечує відповідність розробленого програмного забезпечення високим стандартам надійності. Повний лістинг розробленої програми керування, що реалізує функції скінченного автомата, генерації трапецеїдального профілю ШІМ та обробки апаратних переривань безпеки, наведено нижче.

```
#include <avr/wdt.h> // Бібліотека для роботи з апаратним  
сторожовим таймером
```

```
// Визначення портів підключення периферії
```

```
const int pinSafetyIR = 2; // Апаратне переривання INT0 (Фотоеlementи  
DELTA-E)
```

```
const int pinSafetyLoop = 3; // Апаратне переривання INT1 (Індукційна петля  
LM2)
```

```
const int pinLimitUp = 4; // Верхній кінцевий вимикач
```

```
const int pinLimitDown = 5; // Нижній кінцевий вимикач
```

const int pinPwmUp = 9; // ШІМ-сигнал для підняття стріли (драйвер IBT-2)

const int pinPwmDown = 10; // ШІМ-сигнал для опускання стріли (драйвер IBT-2)

// Глобальні константи для конфігурації динаміки руху

const int maxPwmValue = 255; // Максимальна шпаруватість ШІМ (номінальна швидкість)

const int minPwmValue = 50; // Мінімальний поріг зрушення двигуна

const int pwmStepDelay = 15; // Затримка на крок ШІМ для трапецеїдального профілю (мс)

const unsigned long holdTime = 10000; // Час утримання проїзду у відкритому стані (мс)

// Глобальні змінні стану (volatile для коректної роботи в перериваннях)

volatile bool emergencyFlag = false; // Прапорець аварійного блокування

volatile bool forceReverse = false; // Прапорець активації екстреного автореверсу

unsigned long openTimerStart = 0; // Таймер утримання стріли

int systemState = 0; // 0-Закрито, 1-Відкривається, 2-Відкрито, 3-Закривається

void setup() {

// Налаштування портів вводу-виводу

pinMode(pinSafetyIR, INPUT_PULLUP);

pinMode(pinSafetyLoop, INPUT_PULLUP);

pinMode(pinLimitUp, INPUT_PULLUP);

```

pinMode(pinLimitDown, INPUT_PULLUP);

pinMode(pinPwmUp, OUTPUT);

pinMode(pinPwmDown, OUTPUT);

    // Ініціалізація апаратного UART1 для зв'язку з Wi-Fi модулем ESP-01
Serial1.begin(115200);

    // Налаштування векторів зовнішніх апаратних переривань за спадним
фронтом (FALLING)
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinSafetyIR), emergencyISR, FALLING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinSafetyLoop), emergencyISR, FALLING);

    // Активація сторожового таймера з інтервалом 2 секунди
wdt_enable(WDTO_2S);}

void loop() {

    wdt_reset(); // Циклічне скидання сторожового таймера

    // Обробка запиту на екстрений автореверс від вектора переривання
    if (forceReverse) {

        executeEmergencyReverse();}

    // Обробка команд, що надходять від ESP-01 через UART1
    checkNetworkCommands();

    // Реалізація логіки скінченного автомата
    switch (systemState) {

        case 0: // Стан: Проїзд закрито (режим очікування)

            // Перехід здійснюється зовнішньою командою через функцію
            checkNetworkCommands()

```

```

break;

case 1: // Стан: Процес відкриття проїзду
openBarrier();

    break;

case 2: // Стан: Утримання у відкритому положенні
    if (millis() - openTimerStart >= holdTime) {

        if (!emergencyFlag) { // Перевірка відсутності аварійного блокування

            systemState = 3; // Перехід до автоматичного закриття}}

        break;

case 3: // Стан: Процес закриття проїзду
    if (!emergencyFlag) {

        closeBarrier();

    } else {

        systemState = 2; // Примусове повернення до стану відкритого проїзду
        openTimerStart = millis(); // Перезапуск таймера}

        break;}}

// Підпрограма відкриття проїзду з трапецеїдальним профілем
швидкості

void openBarrier() {

    // Фаза плавного розгону

    for (int pwm = minPwmValue; pwm <= maxPwmValue; pwm++) {

        analogWrite(pinPwmUp, pwm);

        delay(pwmStepDelay);

```

```
if (digitalRead(pinLimitUp) == LOW) break; // Захист від передчасного  
спрацювання}
```

```
// Фаза стабільного руху до спрацювання кінцевого вимикача
```

```
while (digitalRead(pinLimitUp) == HIGH) {
```

```
  analogWrite(pinPwmUp, maxPwmValue);
```

```
  wdt_reset();}
```

```
// Фаза динамічного гальмування
```

```
for (int pwm = maxPwmValue; pwm >= 0; pwm--) {
```

```
  analogWrite(pinPwmUp, pwm);
```

```
  delay(pwmStepDelay / 2); // Гальмування відбувається вдвічі швидше}
```

```
  analogWrite(pinPwmUp, 0); // Повне знеструмлення
```

```
  systemState = 2;      // Перехід у стан утримання
```

```
  openTimerStart = millis(); // Запуск таймера}
```

```
// Підпрограма закриття проїзду з превентивною перевіркою безпеки
```

```
void closeBarrier() {
```

```
  if (digitalRead(pinSafetyIR) == LOW || digitalRead(pinSafetyLoop) == LOW) {
```

```
    emergencyFlag = true;
```

```
    return; // Блокування початку руху}
```

```
// Фаза плавного розгону вниз
```

```
for (int pwm = minPwmValue; pwm <= maxPwmValue; pwm++) {
```

```
  if (emergencyFlag) return; // Негайний вихід при спрацюванні переривання
```

```
  analogWrite(pinPwmDown, pwm);
```

```
  delay(pwmStepDelay);}
```

```

    // Фаза стабільного руху вниз

while (digitalRead(pinLimitDown) == HIGH) {

    if (emergencyFlag) return; // Вихід у разі переривання

    analogWrite(pinPwmDown, maxPwmValue);

    wdt_reset();}

    // Фаза динамічного гальмування

for (int pwm = maxPwmValue; pwm >= 0; pwm--) {

    analogWrite(pinPwmDown, pwm);

    delay(pwmStepDelay / 2);}

    analogWrite(pinPwmDown, 0); // Повне знеструмлення

    systemState = 0;          // Перехід у стан очікування}

    // Обробник апаратних переривань (ISR) від датчиків безпеки

void emergencyISR() {

    if (systemState == 3) { // Реакція лише під час опускання стріли

        analogWrite(pinPwmDown, 0); // Екстрене апаратне знеструмлення

        emergencyFlag = true;      // Встановлення прапорця блокування

        forceReverse = true;       // Запит на автореверс}

        // Підпрограма екстреного автореверсу\

void executeEmergencyReverse() {

    forceReverse = false; // Скидання прапорця запиту

    // Форсований розгін вгору

for (int pwm = minPwmValue; pwm <= maxPwmValue; pwm += 5) {

    analogWrite(pinPwmUp, pwm);

```

```

delay(pwmStepDelay);

if (digitalRead(pinLimitUp) == LOW) break;}

    // Рух до верхньої точки

hile (digitalRead(pinLimitUp) == HIGH) {

analogWrite(pinPwmUp, maxPwmValue);

wdt_reset();}

analogWrite(pinPwmUp, 0); // Знеструмлення

systemState = 2;      // Повернення до стану утримання

    // Зняття аварійного блокування можливе лише при звільненні датчиків

if (digitalRead(pinSafetyIR) == HIGH && digitalRead(pinSafetyLoop) == HIGH)
{

emergencyFlag = false;}

    // Підпрограма неблокуючого зчитування команд від ESP-01

void checkNetworkCommands() {

if (Serial1.available() > 0) {

char cmd = Serial1.read();

if (cmd == 'O' && systemState == 0) { // Команда "Open"

systemState = 1;}

```


3.4. Аналіз циклограм роботи системи та оцінка ефективності модернізації

Для підтвердження коректності функціонування розробленого програмного забезпечення та доведення загальної ефективності модернізованої системи керування проведено графоаналітичне моделювання часових характеристик у вигляді циклограм. Циклограма роботи системи відображає синхронізовану в часі зміну логічних станів керуючих та інформаційних сигналів, що дозволяє наочно оцінити латентність реакції мікроконтролера Arduino Mega 2560 на зовнішні події та правильність формування трапецеїдальних профілів швидкості. Аналіз штатного робочого циклу демонструє, що після отримання сигналу авторизації через модуль зв'язку ESP-01, система ініціює зміну логічних рівнів на портах керування напрямком обертання силового драйвера IBT-2. Одразу після цього починається лінійне нарощування шпаруватості ШІМ-сигналу, що відповідає фазі плавного розгону масивної стріли приводу CAME G3750. На графіку часової залежності чітко простежується перехід від режиму розгону до стабільного руху на максимальній швидкості, який триває до моменту спрацювання верхнього кінцевого вимикача, після чого ініціюється симетрична фаза динамічного гальмування (рис. 3.5).

Особливу увагу при аналізі приділено циклограмі аварійного режиму, яка підтверджує високу надійність розробленого контуру безпеки. На часовій осі змодельовано ситуацію переривання променя інфрачервоних фотоелементів CAME DELTA-E під час фази опускання стріли. Графік демонструє, що поява спадного фронту на вході апаратного переривання мікроконтролера призводить до практично миттєвого (із затримкою в кілька мікросекунд) падіння рівня ШІМ-сигналу до нульового значення. Наступним кроком на циклограмі фіксується інверсія сигналів напрямку (DIR) та форсоване генерування ШІМ-імпульсів для екстреного підняття стріли (рис.

3.6). Такий графоаналітичний розбір доводить, що використання апаратних переривань повністю виключає вплив тривалості виконання основного програмного циклу на швидкість реакції системи захисту, гарантуючи абсолютний пріоритет функцій безпеки.

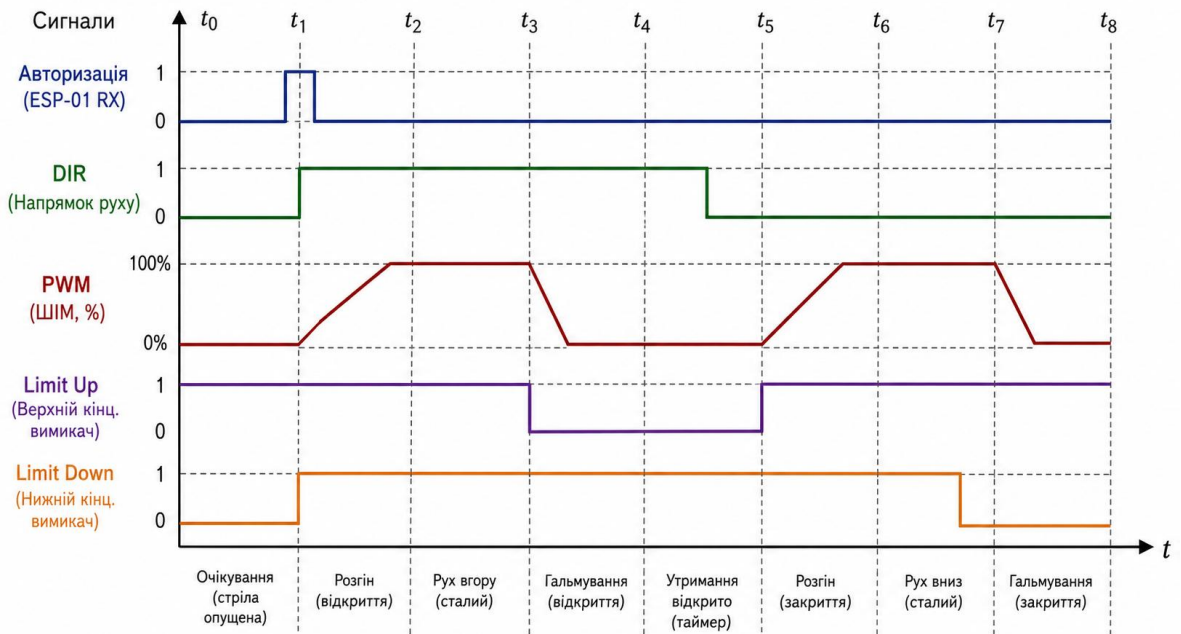


Рис. 3.5. Циклограма штатного робочого циклу модернізованого шлагбаума

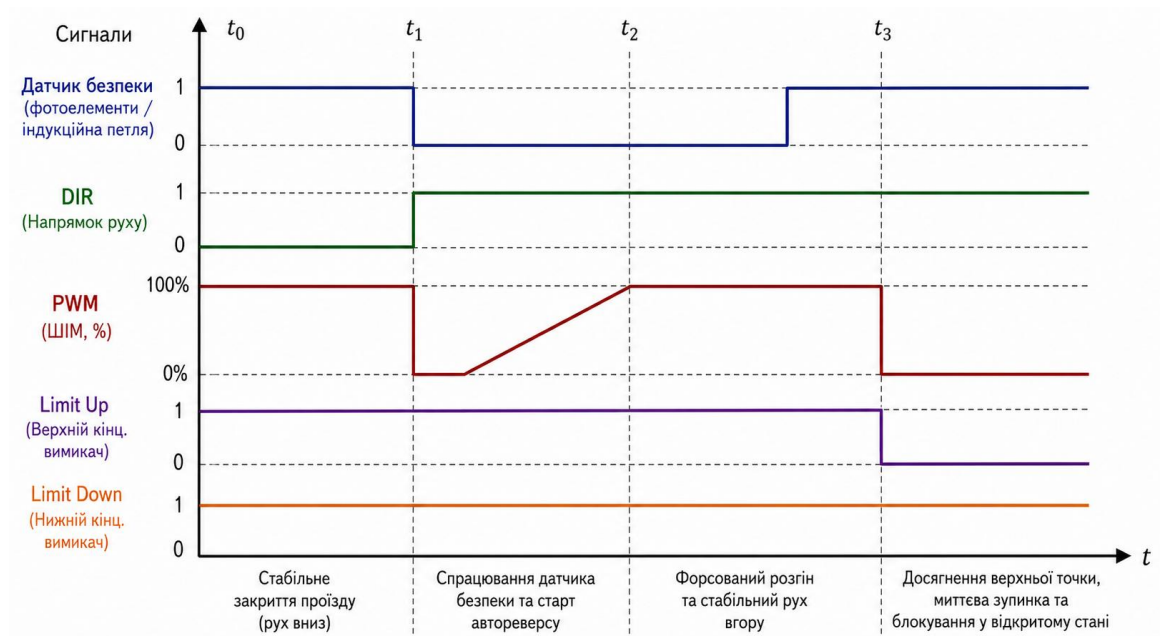


Рис. 3.6. Циклограма роботи контуру безпеки та екстреного автореверсу

Оцінка загальної ефективності впроваджених рішень свідчить про суттєве покращення експлуатаційних характеристик обладнання порівняно зі

штатними релейними модулями керування. Програмна реалізація широтно-імпульсної модуляції дозволила повністю усунути кінематичні удари під час старту та зупинки електродвигуна постійного струму потужністю 300 Вт, що значно знижує втомні напруження в металі черв'ячного редуктора та подовжує міжремонтний інтервал механічної частини шлагбаума. Інтеграція дубльованого контуру безпеки на базі оптичних та індукційних сенсорів, керованих через незалежні вектори переривань, зводить до нуля ймовірність матеріальних збитків внаслідок зіткнення стріли з транспортними засобами. Водночас застосування бездротових технологій передачі даних трансформує локальний виконавчий механізм у повноцінний елемент концепції Інтернету речей (IoT), забезпечуючи можливість гнучкого диспетчерського контролю, дистанційної діагностики та збору статистичних даних про пропускну здатність об'єкта в режимі реального часу.

Висновки за розділом

У третьому розділі дипломної роботи здійснено комплексну розробку алгоритмічного та програмного забезпечення для мікроконтролерної системи керування автоматизованим комплексом. На основі теорії скінченних автоматів розроблено загальну архітектуру функціонування системи за ієрархічним принципом, що забезпечує чітку детермінацію станів обладнання та унеможливорює виникнення програмних колізій або циклічних зависань. Реалізовано модульну структуру коду, в якій на етапі запуску виконується низькорівневе конфігурування портів вводу-виводу мікроконтролера Arduino Mega 2560, налаштування апаратних таймерів та послідовних інтерфейсів зв'язку. Головний алгоритм забезпечує скоординовану взаємодію функціонально незалежних підпрограм відкриття, закриття та утримання стріли шлагбаума у відкритому стані за сигналами від систем ідентифікації або віддаленого диспетчера.

Важливим інженерним результатом роботи є програмна реалізація широтно-імпульсної модуляції для керування динамікою силового приводу CAME G3750 через промисловий драйвер IBT-2. Розроблений алгоритм формування трапецеїдального профілю швидкості дозволяє здійснювати плавний розгін та динамічне гальмування стріли, що мінімізує механічні та втомні перевантаження на черв'ячний редуктор. Особливу увагу приділено надійності контуру безпеки: інтеграція інфрачервоних фотоелементів CAME DELTA-E та детектора індукційної петлі CAME LM2 на рівні апаратних зовнішніх переривань мікроконтролера гарантує миттєву зупинку приводу та автоматичний запуск підпрограми екстреного автореверсу у разі виникнення перешкоди у створі проїзду.

У ході програмної реалізації системи в середовищі Arduino IDE мовою C++ застосовано методи прямого звернення до регістрів портів вводу-виводу для підвищення швидкодії обробки аварійних подій. Для забезпечення стабільного обміну телеметричними даними з бездротовим модулем ESP-01 без ефекту блокування головного обчислювального циклу використано неблокуючий кільцевий буфер апаратного інтерфейсу UART1. Високий рівень відмовостійкості системи до електромагнітних завад та програмних збоїв досягнуто завдяки інтеграції апаратного сторожового таймера, який автоматично повертає комплекс до вихідного безпечного стану у разі виникнення колізій.

Ефективність та коректність функціонування впроваджених рішень повністю підтверджено шляхом графоаналітичного моделювання часових характеристик. Проведений аналіз розроблених циклограм штатного робочого циклу та аварійного режиму роботи довів мінімальну латентність реакції керуючого ядра на зовнішні чинники та абсолютний пріоритет функцій безпеки. Модернізація дозволила повністю усунути кінематичні удари у механічних вузлах, подовжити міжремонтний інтервал обладнання та інтегрувати локальну установку як інтелектуальний вузол концепції Інтернету речей у єдину систему диспетчеризації підприємства.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз умов експлуатації та ідентифікація небезпечних виробничих факторів

Впровадження та подальша експлуатація модернізованого автоматизованого комплексу керування шлагбаумом потребує проведення всебічного аналізу умов праці та превентивного виявлення потенційних загроз на всіх етапах життєвого циклу установки. Оскільки розроблений апаратно-програмний комплекс інтегрується безпосередньо в транспортну інфраструктуру підприємства і функціонує в зоні спільного перебування людей та рухомих засобів, безпека його обслуговування та використання є критично важливою умовою. Процеси монтажу, низькорівневого налаштування мікроконтролера Arduino Mega 2560 безпосередньо на об'єкті, періодичного технічного обслуговування механічних вузлів приводу САМЕ G3750 та щоденної експлуатації супроводжуються впливом комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Відповідно до чинних нормативно-правових актів з охорони праці та державних стандартів безпеки, ці фактори класифікуються за своїм походженням на фізичні, технічні та метеорологічні, кожен з яких вимагає детального інженерного розбору та обґрунтування захисних заходів.

Серед фізичних небезпечних виробничих факторів найбільшу пряму загрозу для обслуговуючого персоналу та користувачів становить наявність рухомих елементів конструкції та кінематичних вузлів, що функціонують під значним механічним зусиллям. Основним джерелом цього ризику є масивна стріла шлагбаума, яка приводиться в рух електродвигуном постійного струму через черв'ячний редуктор, а також потужний блок балансувальних пружин, що акумулює значну потенційну енергію. Під час виконання програмних

підпрограм відкриття або закриття проїзду виникає зона динамічного охоплення, несанкціоноване потрапляння людини до якої створює загрозу отримання важких механічних травм, ударів, защемлень кінцівок або притискання до нерухомих частин стійки чи стіни-опори. Особливу небезпеку становлять пускові ривки та інерційний вибіг механізму в штатних релейних системах, що й зумовило необхідність розробки трапецеїдального профілю швидкості в програмному забезпеченні мікроконтролера. Окрім того, під час проведення ремонтних чи налагоджувальних робіт при знятому захисному кожусі стійки персонал наражається на ризик захоплення одягу або пальців відкритими зубчастими та важільними передачами механічного балансира.

Другим за рівнем небезпеки та тяжкістю можливих наслідків є комплекс факторів, пов'язаних із ризиком ураження електричним струмом, оскільки модернізована шафа керування поєднує в одному корпусі кола з різними рівнями напруги та типів струму. Первинне живлення всієї установки здійснюється від промислової однофазної мережі змінного струму напругою 220 В з частотою 50 Гц, яка безпосередньо підводиться до трансформатора та силових імпульсних блоків. Невідповідність ізоляції живильних кабелів нормативним вимогам, її природне термічне або механічне старіння під дією вібрацій від двигуна, а також відсутність або незадовільний стан захисного заземлення корпусу стійки створюють умови для появи небезпечного потенціалу на металевих конструкціях у разі пробою фази. Ураження людини електричним струмом при прямому або непрямому дотику до струмопровідних частин може викликати важкі фізіологічні наслідки, аж до фібриляції серця та електричних опіків. Окрему технічну загрозу становить низьковольтна частина системи (5 В та 24 В), де функціонує мікроконтролер та драйвер ІВТ-2. Хоча ці рівні напруги є безпечними для людини, виникнення коротких замикань у силових колах Н-моста BTS7960 через високі пускові струми двигуна потужністю 300 Вт

може призвести до термічного руйнування компонентів, виникнення електричної дуги та локального займання всередині монтажного боксу.

Додатково слід враховувати небезпечні фактори, зумовлені специфікою експлуатації автоматизованої установки на відкритому просторі під впливом нестабільних метеорологічних та природних чинників. Електрообладнання та персонал, що здійснює його регламентне обслуговування, піддаються дії значних сезонних та добових коливань температур повітря, високої відносної вологості, туману, пилу та атмосферних опадів у вигляді дощу чи снігу. Тривала експлуатація за умов підвищеної вологості призводить до інтенсивної конденсації вологи всередині корпусу, що різко знижує опір ізоляції клемних колодок, викликає корозійні процеси електронних плат і підвищує ймовірність поверхневого перекидання та витoku струму на корпус. При екстремально низьких температурах навколишнього середовища відбувається значне підвищення в'язкості мастильних матеріалів у черв'ячному редукторі, що викликає механічне перевантаження приводу та вимагає від мікроконтролера підвищеної віддачі потужності через ШІМ, збільшуючи теплові навантаження на силові транзистори драйвера. Для самого персоналу робота просто неба в зимовий або літній періоди пов'язана з ризиками переохолодження або теплового перегріву, що вимагає чіткого організаційного регламентування тривалості робочих змін та обов'язкового використання засобів індивідуального захисту [22]

4.2. Електробезпека та розрахунок захисного заземлення

Забезпечення надійного рівня електробезпеки під час монтажу, пусконаладжувальних робіт та безпосередньої експлуатації модернізованого автоматизованого шлагбаума є пріоритетним інженерним завданням, оскільки дана установка об'єднує в єдиному корпусі силові

ланцюги змінного струму високої напруги та чутливі низьковольтні інформаційні шини мікроконтролера. Специфіка схемотехнічного рішення полягає у необхідності взаємодії мікропроцесорного ядра Arduino Mega 2560 з промисловим драйвером IBT-2, який комутує потужні струми електродвигуна постійного струму. Для запобігання пошкодженню цифрових портів введення-виведення зворотними струмами та високовольтними завадами, які неминуче виникають при індуктивній комутації обмоток двигуна потужністю 300 Вт, у системі застосовано оптичне узгодження керуючих сигналів. Це дозволяє здійснювати точну передачу логічних рівнів та одночасно сформувати надійний захисний бар'єр для мікроконтролера. При цьому, зважаючи на використання імпульсного понижуючого перетворювача напруги LM2596, у системі зберігається єдиний спільний заземлений потенціал для всіх інформаційних і силових шин, що вимагає особливої уваги до якості захисного контуру. Усі внутрішні блоки, включаючи трансформатор, блоки живлення та електронні плати, монтуються всередині металевої стійки приводу SAME G3750, яка у нормальному режимі не перебуває під напругою, проте у разі деструкції ізоляції чи поверхневого пробою може стати джерелом небезпечного потенціалу.

Основним і найбільш ефективним технічним засобом захисту обслуговуючого персоналу та користувачів від ураження електричним струмом при непрямому дотику є влаштування штучного захисного заземлення металевих конструкцій установки. Інженерний розрахунок заземлювального пристрою спрямований на визначення таких геометричних і конструктивних параметрів контуру, які гарантують стікання аварійного струму замикання та зниження напруги дотику до безпечного рівня. Відповідно до чинних правил технічної експлуатації електроустановок, для споруд напругою до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю опір заземлювального пристрою у будь-ку пору року не повинен перевищувати нормативного значення чотири Ом. Для об'єкта впровадження базовим типом

грунту є суглинок, питомий опір якого за нормальних умов становить сто Ом на метр. З урахуванням нерівномірності зволоження та промерзання верхніх шарів землі, при розрахунках застосовуються коефіцієнти сезонності для другої кліматичної зони. Це дозволяє отримати розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних стержнів на рівні ста тридцяти Ом на метр, а для горизонтальної з'єднувальної смуги, яка закладається на меншій глибині, — сто вісімдесят Ом на метр.

В якості вертикальних заземлювачів проектуються сталеві стержні круглого перерізу діаметром шістнадцять міліметрів і довжиною два з половиною метри. Вони занурюються в ґрунт лінійним способом таким чином, щоб їхні верхні кінці знаходилися на глибині нуль цілих сім десятих метра від рівня поверхні. Опір розтікання струму одного такого ізольованого вертикального електрода розраховується за класичною логарифмічною залежністю, яка враховує геометричне співвідношення довжини, діаметра та глибини закладання, і становить сорок шість цілих і вісім десятих Ом. Для об'єднання окремих стержнів у спільну систему застосовується горизонтальний заземлювач у вигляді сталевий смуги перерізом сорок на чотири міліметри, яка приварюється до верхніх торців стержнів. Оскільки між сусідніми вертикальними електродами, розміщеними на відстані два з половиною метри один від одного, виникає ефект взаємного екранування, при розрахунку сумарної провідності враховується коефіцієнт використання, який для даної конфігурації становить нуль цілих сімдесят п'ять сотих. Шляхом послідовних обчислень визначено, що для досягнення цільових показників необхідно встановити чотири вертикальні стержні. Підсумковий розрахунок сумарного опору всього проєктованого контуру, виконаний з урахуванням власного опору розтікання з'єднувальної смуги та відповідного коефіцієнта її використання, дає кінцеве значення три цілих і шість десятих Ом. Отриманий результат є меншим за нормативний ліміт, що математично доводить високу інженерну ефективність захисного заземлення та гарантує повну електробезпеку комплексу [23].

4.3. Штучне освітлення робочої зони

Для забезпечення безпечних умов праці під час технічного обслуговування модернізованого комплексу в темну пору доби, а також для стабільної роботи систем оптичної ідентифікації транспортних засобів, необхідно передбачити адекватне штучне освітлення робочої зони. Відповідно до чинних європейських стандартів ергономіки та освітлення робочих місць, зокрема EN 12464-2 для зовнішніх робочих зон, рівень освітленості повинен гарантувати чітку видимість кінематичних вузлів, маркування кабельних трас та електронних компонентів шафи керування. Оскільки обладнання встановлюється на відкритому майданчику, основним алгоритмом проектування освітлювальної установки обрано метод коефіцієнта використання світлового потоку, який дозволяє точно визначити необхідну потужність джерел світла з урахуванням геометричних параметрів зони технічного обслуговування.

Інженерний розрахунок базується на аналітичному визначенні необхідного світлового потоку для кожного окремого світильника. Цей процес передбачає послідовне врахування нормованої мінімальної освітленості, що встановлюється відповідно до розряду зорової роботи для виконання точних візуальних операцій, та розрахункової площі зони технічного обслуговування навколо стійки приводу шлагбаума. Крім того, у розрахункову модель інтегрується коефіцієнт запасу, який дозволяє компенсувати поступове зниження світлової емісії діодних матриць та неминуче атмосферне забруднення оптичних елементів прожекторів у процесі тривалої експлуатації під відкритим небом. Математична коректність моделі забезпечується введенням коефіцієнта нерівномірності освітлення робочої зони та інтегральним коефіцієнтом використання світлового потоку, який безпосередньо залежить від просторової кривої сили світла обраного

освітлювального приладу, кількості джерел світла, геометрії прилеглої території та відбивальних властивостей поверхонь.

В якості джерел штучного освітлення для даного проекту застосовано сучасні енергоефективні світлодіодні прожектори з високим індексом передачі кольору та ступенем захисту оболонки не нижче IP65. Використання світлодіодних технологій замість традиційних газорозрядних ламп дозволяє суттєво знизити загальне електричне навантаження на живильну мережу об'єкта та повністю усунути стробоскопічний ефект. Відсутність пульсацій світлового потоку є критично важливою для забезпечення безпеки праці, оскільки при роботі з рухомими механічними частинами черв'ячного редуктора або крильчатками охолодження стробоскопічний ефект може створити небезпечну ілюзію їхньої повної нерухомості. Отримані в результаті розрахунку фактичні значення освітленості повністю задовольняють вимоги діючих нормативних документів, що гарантує створення комфортного візуального середовища та мінімізує ризики виробничого травматизму електротехнічного персоналу [24].

4.4. Пожежна безпека та захист у надзвичайних ситуаціях

Забезпечення пожежної безпеки та розробка регламенту дій у надзвичайних ситуаціях є невід'ємною частиною проектування системи охорони праці для модернізованого автоматизованого шлагбаума. Оскільки установка містить значну кількість електронних компонентів, силові трансформатори, імпульсні блоки живлення та реверсивний двигун постійного струму потужністю 300 Вт, вона класифікується як потенційне джерело пожежної небезпеки внаслідок можливих аварійних режимів в електричних колах. Основними технічними причинами виникнення загрози

ендогенного займання всередині монтажного боксу є короткі замикання, тривалі струмові перевантаження силових транзисторів драйвера ІВТ-2 при механічному блокуванні стріли, а також підвищення перехідного опору в місцях клемних з'єднань. Термічне руйнування ізоляції провідників за таких умов супроводжується виділенням токсичних продуктів горіння та може призвести до розповсюдження вогню на прилеглу територію підприємства, що вимагає впровадження жорстких інженерних засобів попередження пожеж.

Превентивні інженерно-технічні заходи захисту базуються на принципах секціонування корисного навантаження та встановлення апаратури захисту від надструмів. Для захисту первинних кіл змінного струму напругою 220 В застосовуються автоматичні вимикачі з відповідною струмо-часовою характеристикою, які миттєво знеструмлюють установку при перевищенні номінальних значень струму. Низьковольтні ланцюги живлення мікроконтролера Arduino Mega 2560 та інформаційні шини датчиків безпеки додатково захищаються плавкими запобіжниками великої швидкодії. Конструктивне виконання монтажно́ї шафи із класом захисту оболонки IP54 та використання повністю негорючих матеріалів для корпусу дозволяє локалізувати потенційне вогнище займання всередині та перекриває доступ кисню, унеможливаючи відкрите горіння. Усі кабельні траси прокладаються у спеціальних захисних гофрованих трубах або металевих рукавах, стійких до термічного впливу, що мінімізує ризик пошкодження ізоляції зовнішніми чинниками. Для гасіння можливих локальних займань електрообладнання без зняття напруги безпосередньо біля шлагбаума передбачається встановлення первинних засобів пожежогасіння, зокрема вуглекислотних або порошкових вогнегасників, при суворій забороні використання води чи піни.

Окремим аспектом безпеки є функціонування комплексу в умовах виникнення техногенних чи природних надзвичайних ситуацій, пов'язаних із

повним знеструмленням об'єкта або необхідністю термінової евакуації персоналу та техніки. У випадку аварійного вимкнення основного електроживлення або програмного збою обчислювального ядра мікроконтролера, конструкція приводу SAME G3750 передбачає обов'язкову наявність вузла механічного розблокування черв'ячного редуктора. Персонал, що пройшов відповідний інструктаж, за допомогою спеціального індивідуального ключа може миттєво від'єднати вихідний вал двигуна від кінематичного важеля балансира і вручну підняти стрілу шлагбаума у вертикальне положення. Це програмно-апаратне та механічне дублювання функцій гарантує безперешкодний і швидкий проїзд аварійно-рятувальної техніки, пожежних автомобілів або евакуаційного транспорту через створ шлагбаума, повністю нівелюючи ризик утворення транспортних заторів у критичних зонах підприємства [25].

Висновки за розділом

У четвертому розділі дипломної роботи проведено аналіз умов експлуатації та обґрунтовано комплекс інженерно-технічних заходів з охорони праці й безпеки в надзвичайних ситуаціях при обслуговуванні модернізованого автоматизованого шлагбаума. Ідентифікація виробничих небезпек підтвердила доцільність впровадження програмного трапецеїдального профілю швидкості для мінімізації механічних ризиків від рухомих частин приводу. Для забезпечення електробезпеки цифрового обчислювального ядра застосовано оптичне узгодження керуючих сигналів, а також виконано розрахунок штучного захисного заземлення. Проектований контур із чотирьох вертикальних електродів забезпечує сумарний опір розтікання струму на рівні 3,6 Ом, що гарантовано задовольняє чинні нормативні вимоги для електроустановок до 1000 В. Оптимізацію виробничої санітарії реалізовано через розрахунок штучного освітлення робочої зони

безпульсаційними світлодіодними прожекторами, що повністю виключає небезпечний стробоскопічний ефект при візуальному контролі механізмів. З метою забезпечення пожежної безпеки передбачено багаторівневий апаратний захист електричних кіл та негорючий корпус шафи керування. Для гарантування безперешкодного пропуску евакуаційного транспорту в умовах повного знеструмлення об'єкта обґрунтовано використання вузла механічного розблокування редуктора. Впроваджені рішення створюють безпечне виробниче середовище та повністю відповідають сучасним стандартам охорони праці.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі успішно вирішено актуальне інженерне завдання щодо модернізації системи керування електроприводом автоматизованого шлагбаума шляхом переходу від застарілої релейної логіки до інтелектуальної мікропроцесорної архітектури. Проведений аналіз існуючих рішень на прикладі приводу CAME G3750 підтвердив, що використання фіксованих часових алгоритмів призводить до значних кінематичних ударів та пришвидшеного зносу редуктора, що обґрунтувало доцільність застосування платформи Arduino для створення гнучкої системи з активним зворотним зв'язком.

На етапі апаратного проектування розроблено структурну та принципову електричну схеми, де центральним керуючим ядром виступає мікроконтролер Arduino Mega 2560, а силовим комутатором — промисловий драйвер IBT-2. Для забезпечення стабільної роботи системи в умовах високих пускових струмів розраховано та обрано імпульсний блок живлення Mean Well LRS-450-24 потужністю 451,2 Вт, а також впроваджено високошвидкісні оптопари PC817 для надійного оптичного узгодження низьковольтних і силових контурів. Розширення функціоналу системи реалізовано через інтеграцію бездротового модуля ESP8266 у модифікації ESP-01 для можливості віддаленого диспетчерського контролю.

Розроблене програмне забезпечення функціонує за принципом скінченного автомата, що забезпечує чітку координацію всіх підпрограм без ризику виникнення алгоритмічних колізій. Впровадження методу широтно-імпульсної модуляції (ШИМ) дозволило сформувати трапецеїдальний профіль швидкості, який гарантує плавний розгін та динамічне гальмування стріли, повністю усуваючи інерційні механічні удари. Особливим досягненням є створення надійної логіки безпеки: завдяки підключенню інфрачервоних

фотоелементів CAME DELTA-E та індукційної петлі CAME LM2 безпосередньо через вектори апаратних переривань, система забезпечує практично миттєву зупинку та активацію екстреного автореверсу при виявленні перешкод у зоні проїзду.

У межах розробки заходів з охорони праці спроектовано надійну систему електробезпеки, зокрема виконано розрахунок контуру штучного захисного заземлення з чотирьох вертикальних електродів, що забезпечує нормативний опір розтікання струму на рівні 3,6 Ом. Оптимізацію умов візуального контролю досягнуто шляхом розрахунку штучного світлодіодного освітлення, яке повністю виключає небезпечний стробоскопічний ефект під час обслуговування рухомих механізмів. Додатково передбачено використання механізму ручного розблокування черв'ячного редуктора для гарантування безперешкодного проїзду евакуаційного транспорту у випадку аварійного знеструмлення об'єкта.

У результаті виконання роботи створено комплексне, економічно доцільне та технічно довершене рішення. Впроваджена модернізація суттєво підвищує рівень безпеки, продовжує експлуатаційний (міжремонтний) ресурс механічної частини та успішно трансформує локальний виконавчий механізм в інтелектуальний вузол сучасних систем контролю доступу концепції Інтернету речей (IoT).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. CAME. GARD G3750 Automatic Barrier Installation Manual. URL: https://www.came-danmark.dk/media/blfa_files/G3750.pdf
2. FAAC. 620/640 Barrier Gate Operator Installation Manual. URL: <https://www.faacgateopeners.com/FAAC-Manuals/FAAC-620-Barrier-Gate-Operator.pdf>
3. CAME. ZL39B Control Panel Installation and Programming Manual. URL: <https://cf.cametradecentres.co.uk/media/wysiwyg/CameManual/c-ZL39B.pdf>
4. ISO/IEC 18000-6:2025. Information technology — Radio frequency identification for item management — Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 930 MHz. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/en/>
5. Hikvision. ANPR — Automatic Number Plate Recognition. URL: <https://www.hikvision.com/en/core-technologies/see-smarter-technology/anpr-automatic-number-recognition/>
6. Bluetooth SIG. Bluetooth Core Specification. URL: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification/>
7. IEEE 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. URL: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11/7028/>
8. EN 12453:2017. Industrial, commercial and garage doors and gates — Safety in use of power operated doors — Requirements and test methods. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/72abe464-4b01-4b4a-895c-89044ce3a872/en-12453-2017-fpra1>
9. CAME. Delta series infrared-beam photocells. URL: <https://www.came.com/ae/en/installers/solutions/delta-dir-delta-s>
10. Magnetic Access. DM02 Induction Loop Detector Data Sheet. URL: <https://www.magnetic-access.com/en/downloads/data-sheets.html?>

<file=files%2Fdownloads%2FDatenblaetter%2FSchranken%2FSchrankenzubehoer%2F58060005EN.pdf>

11. Arduino. Arduino Mega 2560 Rev3 Documentation. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/>
12. Arduino. Arduino Mega 2560 Rev3 Datasheet. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf>
13. CAME. GARD G3750 Automatic Barrier Installation Manual. URL: https://www.came-danmark.dk/media/blfa_files/G3750.pdf
14. Infineon Technologies. BTS7960 High Current PN Half Bridge. Datasheet. URL: https://www.infineon.com/dgdl/BTS7960_Datasheet.pdf?folderId=db3a304412b407950112b408e8c9
15. CAME. DELTA-E / DELTA-I Infrared-beam Photocells. Installation Manual. URL: <https://static.came.com/doc/FA01071M4A.pdf>
16. CAME. SMA / SMA2 / SMA220 Vehicle Loop Detector. Installation Manual. URL: <https://static.came.com/doc/FA00387M04.pdf>
17. Espressif Systems. ESP8266EX Datasheet. URL: https://documentation.espressif.com/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
18. NXP Semiconductors. MFRC522 Standard performance MIFARE and NTAG frontend. Datasheet. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MFRC522.pdf>
19. MEAN WELL. LRS-450 Series 450W Single Output Switching Power Supply. Datasheet. URL: <https://www.meanwelljapan.com/upload/pdf/LRS-450/LRS-450-spec.pdf>
20. Texas Instruments. LM2596 SIMPLE SWITCHER Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator. Datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>
21. Advanced Monolithic Systems. AMS1117 1A Low Dropout Voltage Regulator. Datasheet. URL: <https://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>

•

22. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0472-14>

23. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів: Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 09.01.1998 № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98>

24. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ: Мінрегіон України, 2018. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2

25. Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників: Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 15.01.2018 № 25. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0225-18>

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему:
**МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ
ШЛАГБАУМА НА БАЗІ ARDUINO**

Виконав: студент групи 4317зстЗ

Савенко О.О.

Керівник: к.т.н., асистент кафедри

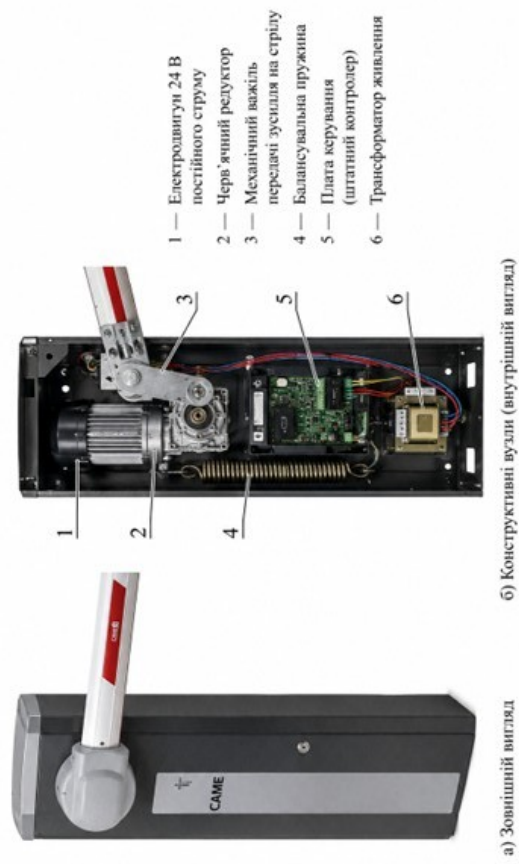
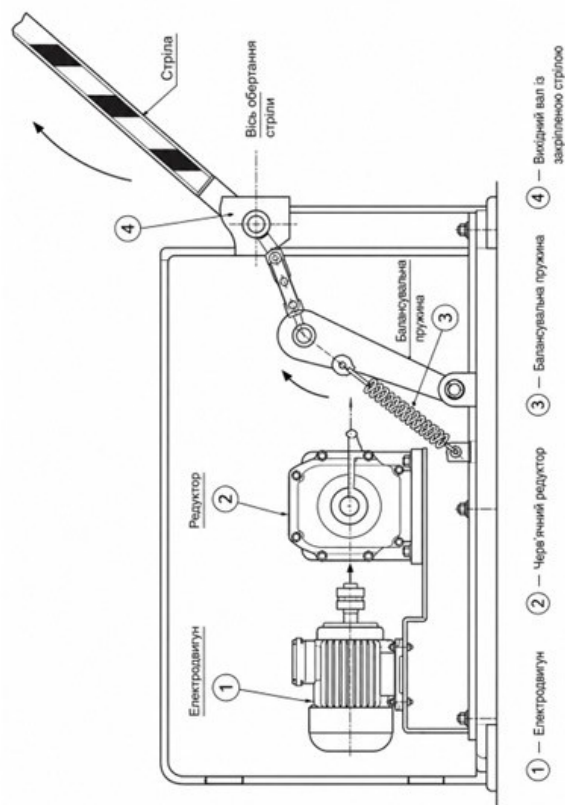
Іванов А. В.

Миколаїв – 2026

1

ДОДАТОК А
МУЛЬТИМЕДІЙНА ПРЕЗЕНТАЦІЯ

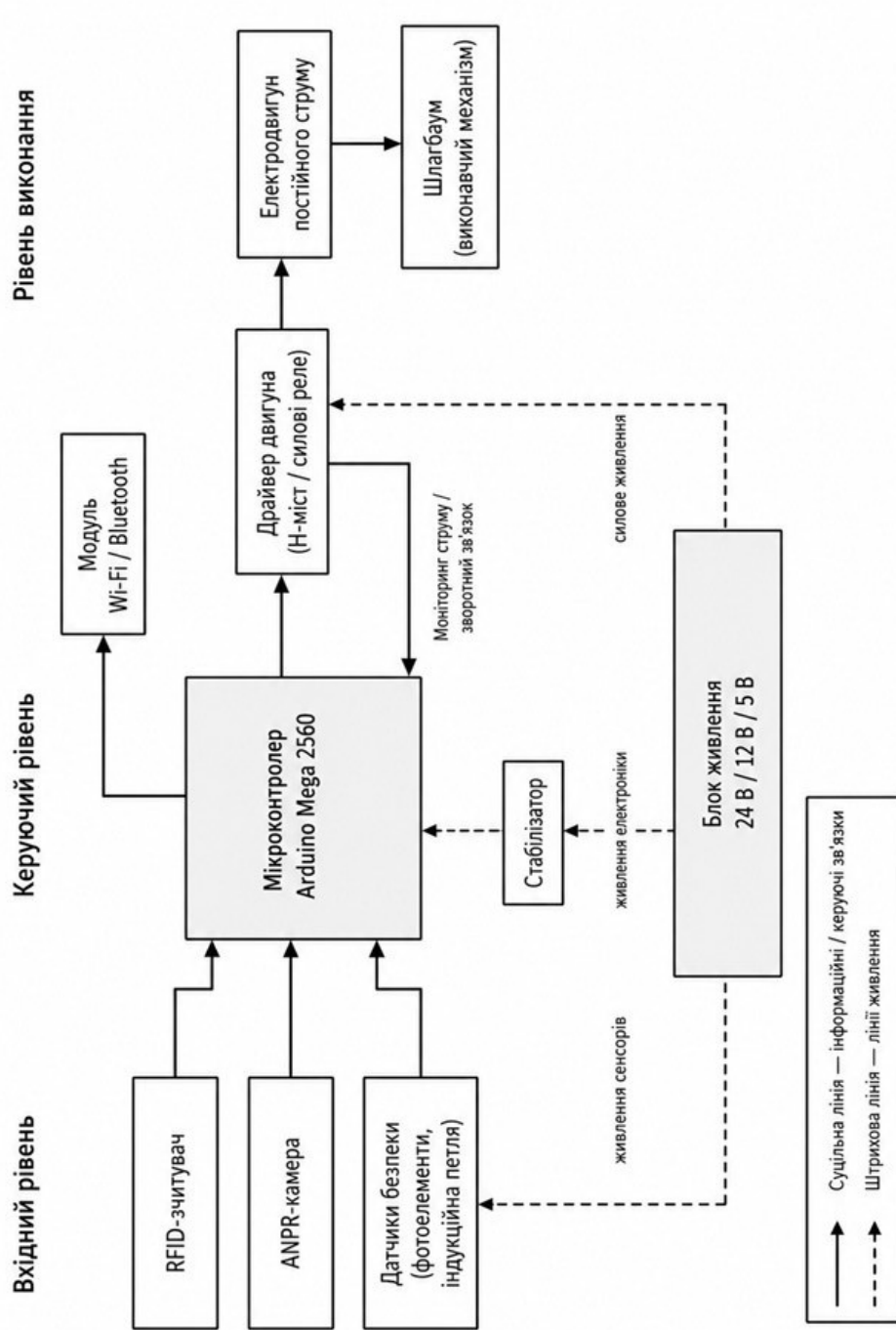
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ



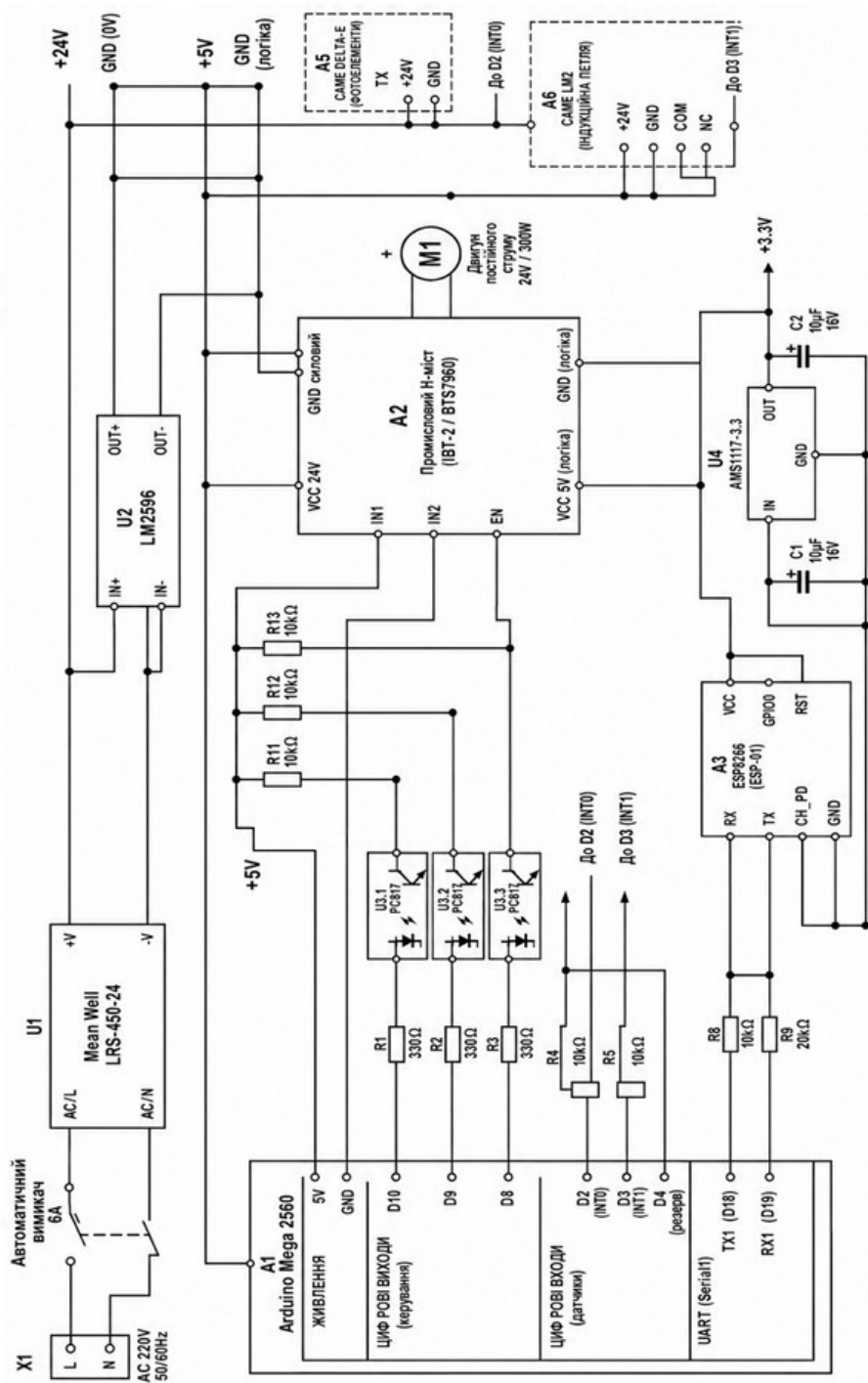
Кінематична схема електромеханічного приводу

Зовнішній вигляд шлагбаума SAME G3750

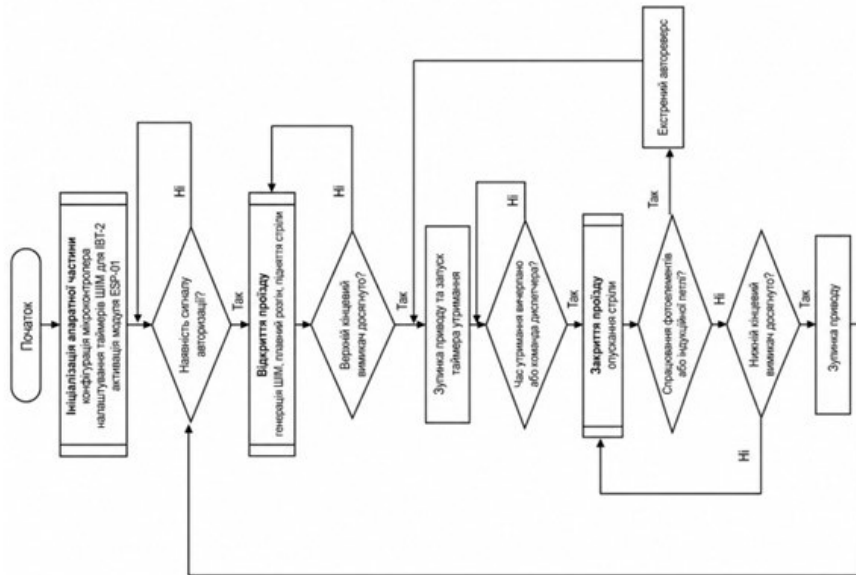
АПАРАТНА АРХІТЕКТУРА МОДЕРНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ



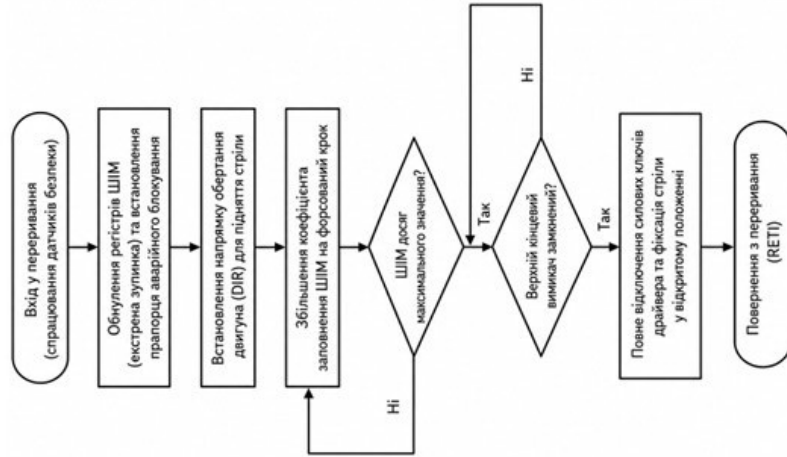
ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ



АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ ТА БЕЗПЕКИ

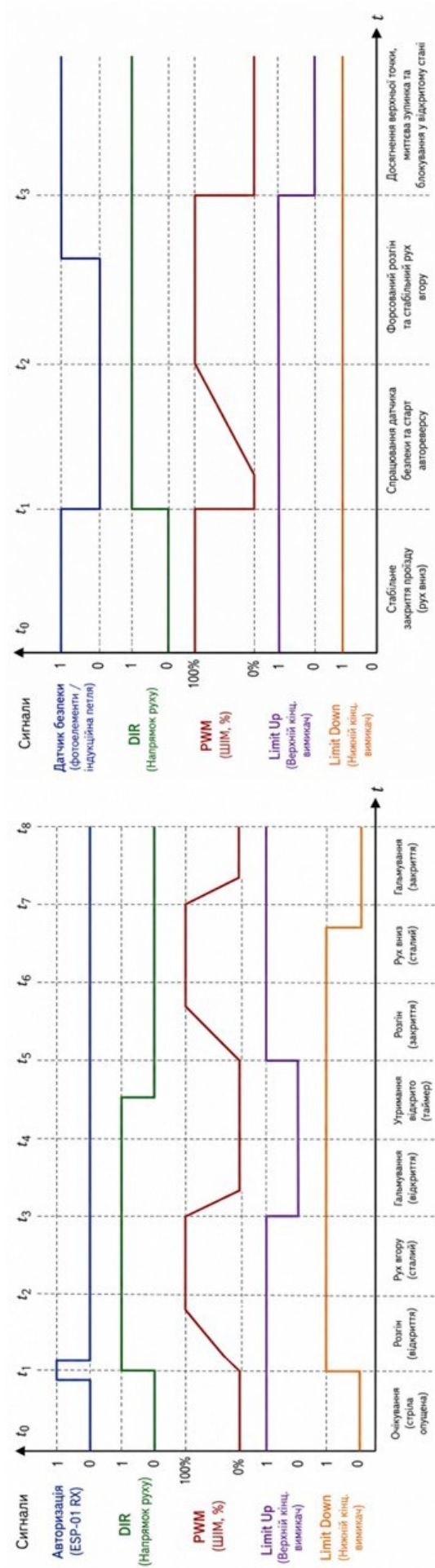


Блок-схема головного алгоритму функціонування системи



Блок-схема підпрограми екстремного авторевєру (обробник переривання)

ЦИКЛОГРАМИ РОБОТИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕРНІЗАЦІЇ



Циклограма штатного робочого циклу модернізованого шлагбаума

Циклограма роботи контуру безпеки та екстреного автореверсу