НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ КИЇВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему

«Дослідження та розробка методів комп'ютерно-інтегрованого керування системами гальмування поїздів метрополітену»

Виконав: студент 2 курсу, групи 2-КІКС-маг
Спеціальність G7 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні інформаційно-керуючі системи»

_____ Олександр ВАСИЛЕНКО
(підпис)

Керівник: канд. техн. наук, доцент _____ Іван КУЛЬБОВСЬКИЙ
(підпис)

Нормоконтроль: канд. техн .наук, доцент _____ Іван КУЛЬБОВСЬКИЙ
(підпис)

Допущений до захисту
«___» _____ 20__р.

В.о. завідувача кафедри: канд. техн. наук, доцент _____ Галина ГОЛУБ
(підпис)

Рецензент: д.т.н., професор кафедри «Електромеханіка та рухомий склад залізниць» _____ Олександр ГОРОБЧЕНКО
(підпис)

Київ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ КИЇВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
Спеціальність G7 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні інформаційно керуючі системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
_____ Галина ГОЛУБ
«___» _____ 20__р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ *МАГІСТРА* СТУДЕНТУ

Василенку Олександру Борисовичу

1. Тема роботи: «Дослідження та розробка методів комп'ютерно-інтегрованого керування системами гальмування поїздів метрополітену»
керівник роботи: к.т.н., доцент Кульбовський Іван Іванович
затверджені наказом Національного транспортного університету
від «15» вересня 2026 року №1195-С/04
2. Строк подання студентом роботи 12.11.2026р.
3. Вихідні дані до роботи: Модернізувати програмне забезпечення системи гальмування для точної зупинки завдяки МК ATMega 328P на базі платформи Arduino UNO.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
1. 1. Провести аналіз методів і технічних засобів комп'ютерно-інтегрованого керування системами гальмування поїздів метрополітену.
2. Розробити алгоритм автоматизованого керування гальмуванням для забезпечення точної зупинки поїзда на станції та формування сигналу дозволу на відчинення платформних дверей.
3. Дослідити досвід застосування сучасних систем автоматизованого керування рухом і безпечним гальмуванням поїздів у метрополітенах світу.
4. Проаналізувати функціональні можливості мікроконтролерів і мікрокомп'ютерів та обґрунтувати вибір апаратної платформи для реалізації системи керування гальмуванням.

5. Перелік ілюстративного матеріалу/слайдів презентації (з точним зазначенням обов'язкових ілюстрацій):

1. Актуальність роботи.
2. Наукова новизна та практична цінність роботи
3. Мета, об'єкт та предмет дослідження.
4. Поставлені та розв'язані задачі дослідження.
5. Світові аналоги.
6. Платформа Arduino UNO.
7. Вибір периферійних пристроїв
8. Використання датчиків.
9. Схема тестового стенду підключення.
10. Алгоритм роботи
1. Налаштування програмного забезпечення.
12. Коригування даних.
13. Кінцеві данні для вводу в програмний код
14. 3D модель станції «Вокзальна» в стані нашого часу та 3D модель.
15. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Кульбовський І.І., професор кафедри АКІТТ		
Охорона праці	Сорочинська О.Л., доцент кафедри «Екології та технологій захисту навколишнього середовища»		

7. Дата видачі завдання 01.09.2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1.	Отримання завдання	01.09.2026	Завдання на кваліфікаційну роботу
2.	Аналіз літературних джерел	21.09.2026	Список літературних джерел
3.	Підготовка та написання 1-го спеціального розділу	02.10.2026	Текст розділу
4.	Підготовка та написання 2-го спеціального розділу	13.10.2026	Текст розділу
5.	Підготовка та написання 3-го спеціального розділу	23.10.2026	Текст розділу
6	Підготовка та написання 4-го спеціального розділу	02.11.2026	Текст розділу
7.	Оформлення дипломної роботи і графічного матеріалу	09.11.2026	Кваліфікаційна робота, роздатковий матеріал, презентація
8.	Здача закінченої роботи	12.11.2026	Кваліфікаційна робота, роздатковий матеріал, презентація,відгук і рецензія
9.	Захист		Рішення екзаменаційної комісії про захист

Здобувач освіти _____Олександр ВАСИЛЕНКО
(підпис)

Керівник роботи,

К.т.н., доцент_____Іван КУЛЬБОВСЬКИЙ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: «Дослідження та розробка методів комп’ютерно-інтегрованого керування системами гальмування поїздів метрополітену» містить 121 сторінка, 10 таблиць, 42 рисунка, список літератури з 26 найменувань, 4 додатки.

Об’єктом дослідження є процес комп’ютерно-інтегрованого керування гальмуванням поїздів метрополітену із застосуванням автоматизованих систем моніторингу параметрів руху для забезпечення безпечного та точного зупинення.

Предметом дослідження є моделі, методи, алгоритми та технічні засоби комп’ютерно-інтегрованого керування системами гальмування поїздів метрополітену, що забезпечують моніторинг параметрів руху, регулювання гальмівного зусилля та контроль точності зупинення.

Метою роботи є розробка методів і програмного забезпечення комп’ютерно-інтегрованого керування гальмуванням поїздів метрополітену для забезпечення безпечного та точного зупинення на станціях.

Відповідно до мети наукового дослідження були поставлені та розв’язані наступні задачі:

1. Провести аналіз методів і технічних засобів комп’ютерно-інтегрованого керування системами гальмування поїздів метрополітену.
2. Розробити алгоритм автоматизованого керування гальмуванням для забезпечення точної зупинки поїзда на станції та формування сигналу дозволу на відчинення платформних дверей.
3. Дослідити досвід застосування сучасних систем автоматизованого керування рухом і безпечним гальмуванням поїздів у метрополітенах світу.
4. Проаналізувати функціональні можливості мікроконтролерів і мікрокомп’ютерів та обґрунтувати вибір апаратної платформи для реалізації системи керування гальмуванням.

Методи дослідження: аналітичний метод, порівняльний аналіз, експериментальне моделювання алгоритмів гальмування, програмно-інженерні

методи налагодження та оптимізації коду, структурне та функціональне моделювання роботи системи.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення безпеки руху та точності зупинення поїздів метрополітену в умовах інтенсивного пасажиропотоку. Модернізація наявних систем гальмування із застосуванням комп'ютерно-інтегрованих технологій керування дозволяє враховувати зміни параметрів руху, зменшувати вплив зовнішніх чинників на процес гальмування та забезпечувати точніше позиціювання рухомого складу на станціях. Розробка й дослідження таких методів є важливим напрямом удосконалення автоматизованих систем керування міським рейковим транспортом.

Наукова новизна та практична цінність одержаних результатів магістерської роботи полягають в удосконаленні методів комп'ютерно-інтегрованого керування гальмуванням поїздів метрополітену шляхом динамічного регулювання гальмівного зусилля на основі даних про положення та параметри руху поїзда. Розроблене програмне забезпечення та лабораторний макет дозволяють досліджувати й налаштовувати алгоритми гальмування, перевіряти взаємодію основних компонентів системи та оцінювати точність зупинення за різних умов руху. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення автоматизованих систем керування гальмуванням з метою підвищення безпеки та надійності роботи метрополітену.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНЕ КЕРУВАННЯ, СИСТЕМА ГАЛЬМУВАННЯ, ПОЇЗДИ МЕТРОПОЛІТЕНУ, АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯМ, ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС, МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ РУХУ, ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНЕ ГАЛЬМУВАННЯ, ТОЧНЕ ЗУПИНЕННЯ ПОЇЗДА, АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР ATMEGA328P, ARDUINO UNO, БЕЗПЕКА РУХУ.

ABSTRACT

The master's qualification thesis on the topic: «Research and development of methods for computer-integrated control of metro train braking systems» contains 121 pages, 10 tables, 42 figures, a reference list of 26 sources, and 4 appendices.

Object of study is the process of computer-integrated control of metro train braking using automated systems for monitoring motion parameters to ensure safe and accurate stopping.

Subject of study is the models, methods, algorithms, and technical means of computer-integrated control of metro train braking systems that provide monitoring of motion parameters, regulation of braking force, and control of stopping accuracy.

The purpose of the work is to develop methods and software for computer-integrated control of metro train braking to ensure safe and accurate stopping at stations.

In accordance with the purpose of the scientific research, the following tasks were set and solved:

1. To analyze the methods and technical means of computer-integrated control of metro train braking systems.
2. To develop an automated braking control algorithm to ensure accurate train stopping at stations and generate a permission signal for opening platform screen doors.
3. To investigate international experience in the application of modern automated train control and safe braking systems in metro networks.
4. To analyze the functional capabilities of microcontrollers and microcomputers and justify the selection of a hardware platform for implementing the braking control system.

Research methods: analytical method, comparative analysis, experimental modeling of braking algorithms, software-engineering methods for debugging and optimizing code, structural and functional modeling of system operation.

The relevance of the work determined by the need to improve operational safety and stopping accuracy of metro trains under conditions of intensive passenger traffic. Modernization of existing braking systems through the application of computer-integrated control technologies makes it possible to account for changes in train motion parameters, reduce the influence of external factors on the braking process, and ensure more accurate positioning of rolling stock at stations. The development and investigation of such methods represent an important direction in improving automated control systems for urban rail transport.

The scientific novelty and practical significance of the work lie in the improvement of methods for computer-integrated control of metro train braking through dynamic regulation of braking force based on data concerning train position and motion parameters. The developed software and laboratory prototype make it possible to investigate and configure braking algorithms, verify the interaction between the main system components, and evaluate stopping accuracy under different operating conditions. The obtained results can be used for further improvement of automated braking control systems to enhance the safety and reliability of metro operations.

KEY WORDS: COMPUTER-INTEGRATED CONTROL, BRAKING SYSTEM, METRO TRAINS, AUTOMATED BRAKING CONTROL, HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM, MOTION PARAMETER MONITORING, ELECTRODYNAMIC BRAKING, ACCURATE TRAIN STOPPING, CONTROL ALGORITHMS, ATMEGA328P MICROCONTROLLER, ARDUINO UNO, OPERATIONAL SAFETY.

ЗМІСТ

ВСТУП 13
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯМ ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ 15
1.1. Аналіз світового досвіду застосування автоматизованих систем керування гальмуванням поїздів метрополітену 15
1.1.1. Аналіз методів і технічних засобів комп'ютерно-інтегрованого керування гальмуванням поїздів метрополітену 15
1.1.2. Будова тунелів та станцій 16
1.1.3. Інформація про рухомий склад метрополітену 17
1.1.4. Безпека та контроль 20
1.1.5. Система зачинення дверей 23
1.2. Огляд системи та метрополітену в цілому в Конконзі, Китай 24
1.2.1. Загальна інформація 24
1.2.2. Безпека та контроль 25
1.3. Огляд Київського метрополітену 29
1.3.1. Загальна інформація 29
1.3.2. Будівництво ліній та складнощі реалізації проектів 29
1.3.3. Стан Київського метрополітену в наші дні 32
1.3.4. Інформація про рухомий склад метрополітену 33
1.3.4.1. Вагон метро типу 81-7021/7022 34
1.3.4.2. Вагон метро типу 81-717/714 35
1.3.4.3. Вагон метро типу «Ем» 39
1.3.4.4. Тиристорний регулятор 41
1.4. Електричне гальмування 42
Висновки до розділу 1 45
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯМ ПОЇЗДІВ 46

МЕТРОПОЛІТЕНУ
2.1. Аналіз можливостей мікроконтролерів та мікрокомп’ютерів 46
2.2.1. Arduino 46
2.2. Огляд та можливості платформи для розробки Arduino UNO 50
2.3. Аналіз можливостей периферійних пристроїв 63
2.3.1. W5100 Ethernet Shield 63
2.4. Аналіз можливостей датчиків 67
2.4.1. DS1820/DS18B20/DS18S20 67
2.5. Схема тестового стенду 71
2.6. Методи автоматизації функціонування системи управління гальмами 74
2.7. Розробка апаратної частини та її макет 77
2.8. Розробка програмної частини 79
2.9. Розрахунок БЖСП 80
2.10. Інтегрування та додаткові вимоги 83
Висновки до розділу 2 86
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯМ ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ 87
3.1. Налаштування програмного забезпечення 87
Висновки до розділу 3 94
РОЗДІЛ 4. ПИТАННЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ 95
4.1. Вимоги безпеки при обслуговуванні електроустановок. Заземлення захисне електроустановок 95
4.2. Вимого до працівників, які обслуговують електроустановки 101
4.3. Вплив електроустановок на навколишнє середовище 108
Висновки до розділу 4 111
ВИСНОВКИ 113
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 115
ДОДАТКИ 118
Додаток А. UML діаграма класу ArduinoTelnet 118

Додаток Б. Схема електрична принципова мікроконтроллера ATMega328P з реалізацією на платі Arduino UNO Rev. 3 119
Додаток В. Схема алгоритму функціонування програмного забезпечення 120
Додаток Г. Схема електрична принципова системи на рухомому складі та станції 121

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АТС (Automatic Train Control) - Автоматичний контроль руху потягів.

АТО (Automatic Train Operation)- Система контролю руху на станціях

АТР (Automatic Train Protection) - Система захисту від аварій в метро, пасажирів і персоналу від нещасних випадків

ATS (Automatic Train Supervisory) - Система спостереження і контролю за маршрутами і напрямками руху потягів

IGBT - Біполярний транзистор з ізольованим затвором

АЦП - Аналогово-цифровий перетворювач

БЖВП - Блок живлення власних потреб

БЖСП - Блок живлення системи проекту

БК - Блок керування

ГШ - Гальмівний шлях

ДС - Датчик струму

ДСС - Джерело світла станції

ЕДГ - Електродинамічне гальмування

ЗЛ - Зелена лінія Київського метрополітену

ІГ - Інтенсивність гальмування

ІЧДС - Інфрачервоний датчик світла (інфрачервоного діапазону)

КВБЗ - Крюківський вагонобудівний завод

КМ - Копенгагенський метрополітен

МГ - Метрополітен Гонконгу

ПАК – програмно апаратний комплекс

РГ - Реостатне гальмування

СБ - Силовий блок

СЛ - Синя лінія Київського метрополітену

СПБПМП - Система підвищення безпеки пасажирів метрополітену

ТЕД - Тяговий електродвигун

ЧЛ - Червона лінія Київського метрополітену

ВСТУП

Розвиток сучасних інформаційних технологій відкриває нові можливості для вдосконалення систем автоматизованого керування складними технічними об'єктами. Завдяки підвищенню продуктивності мікропроцесорних пристроїв, удосконаленню засобів обробки інформації та зростанню доступності електронних компонентів комп'ютерно-інтегровані системи дедалі ширше застосовуються в різних галузях промисловості й транспорту. Особливого значення такі технології набувають у метрополітені, де від надійності роботи обладнання, швидкості прийняття керуючих рішень та точності виконання технологічних операцій безпосередньо залежить безпека пасажирських перевезень.

Одним із важливих напрямів удосконалення роботи метрополітену є підвищення ефективності керування процесами гальмування поїздів. В умовах інтенсивного руху, обмежених відстаней між станціями та необхідності дотримання встановленого графіка особливого значення набуває забезпечення плавного зниження швидкості й точної зупинки рухомого складу. При цьому система керування повинна враховувати поточну швидкість поїзда, його завантаженість, характеристики гальмівного обладнання та інші чинники, які впливають на величину гальмівного шляху.

У метрополітенах низки країн, зокрема Данії, Китаю та Гонконгу, застосовуються сучасні системи автоматизації руху поїздів і технічні засоби підвищення безпеки пасажирів. Одним із таких рішень є встановлення платформних захисних дверей, які відокремлюють пасажирську зону від колій. Їхня робота узгоджується із системами керування рухом поїздів, оскільки відкривання дверей повинно відбуватися лише після підтвердження безпечної зупинки рухомого складу у встановленому місці. Це створює додаткові вимоги до точності позиціонування поїзда та надійності алгоритмів керування його гальмуванням.

Для Київського метрополітену питання вдосконалення систем гальмування також має важливе практичне значення. Висока інтенсивність

пасажиропотоку, особливості експлуатації рухомого складу та необхідність забезпечення стабільної роботи транспортної мережі потребують застосування технічних рішень, здатних підвищити точність і надійність процесу зупинки поїздів. Використання комп'ютерно-інтегрованого керування дає змогу поєднати контроль параметрів руху, обробку інформації від вимірювальних пристроїв та формування керуючих впливів на гальмівне обладнання в межах єдиної системи.

Таким чином, дослідження та розробка методів комп'ютерно-інтегрованого керування системами гальмування поїздів метрополітену є актуальним завданням, спрямованим на підвищення безпеки, точності та ефективності пасажирських перевезень. Удосконалення алгоритмів керування гальмуванням дозволить створити передумови для більш стабільного уповільнення рухомого складу, зменшення відхилень від заданої точки зупинки та забезпечення узгодженої роботи гальмівного обладнання з іншими автоматизованими системами метрополітену.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯМ ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ

1.1 Аналіз світового досвіду застосування автоматизованих систем керування гальмуванням поїздів метрополітену

1.1.1 Аналіз методів та засобів створення ПАК для безпечного гальмування рухомих складів.

Копенгагенський метрополітен, експлуатацію якого розпочато у 2002 році, є прикладом використання сучасних технологій автоматизованого керування рухом поїздів. Однією з його характерних особливостей є застосування системи керування без машиніста, яка забезпечує виконання основних операцій руху, зокрема розгону, підтримання встановленої швидкості, гальмування та зупинки на станціях. Такий підхід дозволяє забезпечувати узгоджену роботу рухомого складу, підтримувати необхідні інтервали між поїздами та зменшувати вплив людського чинника на процес перевезень.

Важливе місце в роботі автоматизованого метрополітену займає система керування гальмуванням, від якої залежить дотримання заданих параметрів уповільнення та точність зупинки поїзда. Для цього необхідно здійснювати постійний контроль швидкості й положення рухомого складу, визначати допустимі режими руху та своєчасно формувати команди на гальмівне обладнання. Особливого значення точність зупинки набуває на станціях, обладнаних платформними захисними дверима, оскільки положення дверей поїзда повинно відповідати розташуванню дверних прорізів на платформі.

Досвід експлуатації Копенгагенського метрополітену демонструє практичні можливості застосування комп'ютерно-інтегрованих систем для автоматизації процесів руху та гальмування поїздів. Поєднання засобів контролю параметрів руху, автоматичного регулювання швидкості та

керування гальмівними пристроями створює умови для забезпечення стабільної роботи транспортної системи, підвищення точності зупинок і підтримання належного рівня безпеки пасажирських перевезень.

1.1.2 Будова тунелів та станцій

Тунелі Копенгагенського метрополітену прокладені на глибині від 25 до 33 метрів, тоді як станції переважно розташовані ближче до поверхні, приблизно на глибині 20 метрів. Таке конструктивне рішення сприяє зменшенню енергетичних витрат під час руху поїздів. При відправленні зі станції рухомий склад проходить ділянку зі спуском, що полегшує процес прискорення, а під час наближення до наступної станції рухається на підйом, який сприяє природному зниженню швидкості. Подібний профіль колії створює сприятливі умови для автоматизованого керування гальмуванням, оскільки дозволяє враховувати вплив ухилу під час розрахунку гальмівного шляху та забезпечення точності зупинки поїзда.

У тунелях метрополітену передбачені спеціальні пішохідні проходи, призначені для евакуації пасажирів у випадку аварійної зупинки поїзда між станціями. Крім того, через кожні 600 метрів облаштовані аварійні виходи. Евакуаційні маршрути обладнані освітленням, що дозволяє пасажирам орієнтуватися в тунелі та безпечно залишати небезпечну ділянку за відповідними вказівками персоналу.

Станом на 2010 рік мережа метрополітену Копенгагена та Фредеріксберга налічувала 22 станції, серед яких 9 були підземними. Ширина платформ окремих станцій становила від 6 до 12 метрів. Для захисту пасажирів від несприятливих погодних умов на відкритих станціях використовувалися легкі навісні конструкції. Доступ до підземних платформ забезпечувався сходами та ліфтами. На наземних станціях, де не передбачалося суцільного відокремлення платформ від колій, застосовувалися електронні засоби виявлення небезпечних ситуацій, пов'язаних із потраплянням людей або сторонніх предметів у зону

руху поїздів. У разі виявлення загрози відповідні сигнали могли використовуватися для ініціювання екстреного гальмування. Винятком була надземна станція Луфтгавнен, обладнана прозорими захисними перегородками та дверима. В архітектурному оформленні наземних станцій переважно використовувалися скло і сталь, що забезпечувало легкість конструкцій та їх поєднання з навколишньою забудовою.

Із дев'яти підземних станцій шість належали до станцій глибокого закладення та розташовувалися на глибині понад 20 метрів. Інші три станції були споруджені безпосередньо під поверхнею землі. Для підземних станцій характерні платформи довжиною близько 60 метрів, а загальна ширина станційних споруд становила приблизно 20 метрів. Такі геометричні параметри необхідно враховувати під час організації руху поїздів, визначення місць їх зупинки та узгодження роботи автоматизованих систем із платформним обладнанням.

На підземних станціях доступ пасажирів до тунелів обмежується прозорими захисними перегородками, у які вбудовані автоматичні розсувні двері. Їхня робота узгоджується з положенням поїзда та контролюється системами безпеки метрополітену. Відкривання дверей допускається після підтвердження зупинки рухомого складу у визначеній зоні, що висуває підвищені вимоги до точності керування гальмуванням. Такі конструкції зменшують ризик випадкового потрапляння пасажирів на колії, зокрема людей із порушеннями зору, а також сприяють ефективнішому регулюванню вентиляції станцій і тунелів. На центральних станціях додатковий контроль за порядком здійснюють метро-стюарди, які за необхідності допомагають пасажирам та беруть участь в організації дій у нестандартних ситуаціях.

1.1.3 Інформація про рухомий склад метрополітену

Для забезпечення пасажирських перевезень у Копенгагенському метрополітені було замовлено та введено в експлуатацію 34 тривагонні поїзди.

Довжина кожного поїзда становить 39 метрів, ширина - 2,65 метра. Рухомий склад розрахований на експлуатацію на колії стандартної ширини 1435 мм. Підлога вагонів розташована на висоті 0,85 метра від рівня головки рейки, що відповідає висоті пасажирських платформ. Завдяки цьому забезпечується зручна посадка та висадка пасажирів, зокрема людей з обмеженою мобільністю, користувачів інвалідних візків, дитячих колясок і велосипедів. Корисне навантаження поїзда становить 52 тонни, а максимальна експлуатаційна швидкість досягає 80 км/год. При цьому прискорення може становити 1,3 м/с², а середня швидкість руху з урахуванням зупинок на станціях складає приблизно 40 км/год. Мінімальний розрахунковий інтервал між поїздами становить 90 секунд, що висуває високі вимоги до надійності автоматизованого керування рухом і своєчасного виконання гальмівних операцій.

Тягове обладнання кожного вагона включає два трифазні асинхронні електродвигуни потужністю 105 кВт (141 к. с.) кожен. Загальна потужність шести електродвигунів тривагонного поїзда становить 630 кВт (840 к. с.). Для керування електродвигунами використовуються силові перетворювачі на основі біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT), які забезпечують перетворення постійної напруги 750 В, отриманої від контактної рейки, у трифазну змінну напругу необхідної частоти та амплітуди. Застосування такого обладнання дозволяє регулювати тягове зусилля, а також реалізовувати режими електродинамічного гальмування. У процесі уповільнення тягові електродвигуни можуть переходити в генераторний режим, створюючи гальмівний момент. Керування цим процесом здійснюється шляхом зміни параметрів роботи силових перетворювачів відповідно до команд системи автоматизованого керування. Це створює можливість узгоджувати тягові та гальмівні режими, забезпечуючи плавне зниження швидкості й необхідну точність зупинки поїзда на станції.



Рисунок 1.1 - Вагони КМ.

У салоні кожного вагона Копенгагенського метрополітену встановлено два електронні інформаційні дисплеї, призначені для відображення поточного часу, назви наступної станції, відомостей про можливі пересадки на інші види громадського транспорту та додаткової інформації для пасажирів. Для підвищення рівня безпеки рухомий склад обладнаний системою відеоспостереження CCTV, яка забезпечує постійний контроль ситуації всередині вагонів у режимі реального часу. Технічні можливості системи дозволяють передавати відеозображення з поїздів, що рухаються зі швидкістю понад 80 км/год, до центрального диспетчерського пункту. Передача даних здійснюється за допомогою бездротової мережі Wi-Fi, точки доступу якої розташовані вздовж тунелів метрополітену. Така організація інформаційного обміну дозволяє оперативно контролювати обстановку в поїздах та своєчасно реагувати на можливі небезпечні ситуації.

Керування рухом поїздів Копенгагенського метрополітену здійснюється в повністю автоматизованому режимі без участі машиніста, тому традиційна кабіна керування у вагонах відсутня. Пасажири мають можливість спостерігати за рухом через лобове скло поїзда. Автоматизована система забезпечує виконання основних операцій руху, зокрема розгону, регулювання швидкості, гальмування та зупинки на станціях.

1.1.4 Безпека та контроль

Однією з головних технічних особливостей Копенгагенського метрополітену є використання повністю автоматизованого керування рухом поїздів без безпосередньої участі машиніста. Основою такого рішення є система ATC (Automatic Train Control), яка забезпечує контроль параметрів руху, дотримання встановлених швидкісних обмежень та безпечних інтервалів між поїздами. Особливе значення в її роботі має керування процесами прискорення та гальмування, оскільки від правильного визначення гальмівного шляху залежить своєчасність зупинки рухомого складу. Автоматизація цих процесів дозволяє зменшити вплив людського чинника та забезпечити стабільне виконання заданих режимів руху. Крім системи ATC, у метрополітені застосовуються автоматизовані засоби моніторингу й керування електропостачанням, вентиляцією, охоронною сигналізацією та відеоспостереженням.

Централізоване керування роботою метрополітену здійснюється з Центру управління та технічного обслуговування KVC (Kontrol og Vedligeholdelsescenteret), розташованого у районі Вестамагер. Територія центру займає приблизно 1,1 гектара та включає депо, приміщення для зберігання рухомого складу й проведення технічного обслуговування. Загальна довжина колій на території комплексу становить близько 5 км, з яких 800 метрів відведено під випробувальну ділянку для перевірки поїздів після ремонту. За наведеними експлуатаційними даними, звичайна зміна складається з п'яти

операторів, які контролюють стан обладнання та роботу автоматизованих систем. У випадку виникнення несправностей або нестандартних ситуацій оператори можуть втручатися в роботу системи відповідно до встановлених процедур безпеки.

Система автоматичного керування поїздами АТС об'єднує три основні функціональні підсистеми, кожна з яких виконує окремі завдання та взаємодіє з іншими під час організації руху.

Підсистема ATS (Automatic Train Supervision) призначена для диспетчерського контролю та організації руху поїздів відповідно до встановленого графіка. Вона забезпечує спостереження за маршрутами, напрямками руху та поточним розташуванням рухомого складу. Залежно від експлуатаційних умов можуть застосовуватися різні режими роботи, зокрема звичайний пасажирський рух, нічна експлуатація або проведення технічного обслуговування колій. Інформація про стан маршрутів, переміщення поїздів і виявлені несправності надходить до центру управління та відображається на моніторах операторів. Також здійснюється реєстрація подій, відмов обладнання й виконаних ремонтних робіт. Отримані дані можуть використовуватися для аналізу роботи транспортної системи та оцінювання ефективності керування рухом.

Підсистема ATO (Automatic Train Operation) відповідає за автоматичне виконання основних операцій руху поїзда, включаючи розгін, підтримання необхідної швидкості, гальмування та зупинку на станціях. Вона також забезпечує узгодження процесів прибуття поїзда, відкривання дверей, посадки й висадки пасажирів та подальшого відправлення. За своїм функціональним призначенням ATO виконує роль автоматичного машиніста, формуючи керуючі команди відповідно до встановлених параметрів руху. Під час гальмування система визначає необхідний режим уповільнення з урахуванням швидкості поїзда та відстані до заданого місця зупинки. При цьому її робота здійснюється в межах обмежень, установлених системою захисту поїзда, що забезпечує узгодженість автоматичного керування з вимогами безпеки.

Підсистема ATP (Automatic Train Protection) забезпечує автоматичний захист руху поїздів шляхом контролю допустимої швидкості, безпечної відстані між рухомими складами та виконання встановлених умов експлуатації. Вона контролює параметри руху під час розгону, проходження перегонів і гальмування, а також враховує стан маршрутів, стрілочних переводів та доступність ділянок колії. Особливо важливою функцією ATP є контроль дотримання допустимої гальмівної кривої. Якщо фактична швидкість поїзда перевищує безпечне значення для відповідної ділянки, система формує команду на захисне гальмування. Крім того, ATP контролює виконання умов, необхідних для безпечного відкривання дверей, та запобігає руху поїзда за відсутності відповідного дозволу. Такий принцип роботи дозволяє своєчасно реагувати на небезпечні відхилення параметрів руху та зменшувати ризик зіткнень.

Для підвищення надійності автоматизованого керування в поїздах Копенгагенського метрополітену застосовується резервування відповідальних технічних систем і обладнання. У разі відмови окремого компонента передбачені засоби діагностування несправностей та переходу до відповідного безпечного режиму роботи. За наявності необхідного резервування частина функцій може виконуватися дублюючими пристроями, а конструкція тягового обладнання може дозволяти обмежене продовження руху при відмові окремих електродвигунів. Інформація про несправності передається до центрального пункту управління, де оператори оцінюють стан поїзда та визначають подальші дії. Якщо продовження руху є безпечним, поїзд може бути виведений з експлуатації для проведення технічного обслуговування. У випадках, коли безпечний рух неможливий, система повинна забезпечити контрольовану або захисну зупинку рухомого складу.

1.1.5 Система зачинення дверей

У Копенгагенському метрополітені використовується повністю автоматизована система керування дверима вагонів, робота якої узгоджується з підсистемою АТО (Automatic Train Operation). Перед початком зачинення дверей подається попереджувальний звуковий сигнал, який супроводжується миготінням світлового індикатора, розташованого над дверним прорізом. Для запобігання травмуванню пасажирів краї дверей обладнані чутливими датчиками, здатними виявляти сторонні предмети та перешкоди під час їх закривання. У разі спрацювання датчиків процес зачинення припиняється, що дозволяє уникнути затискання пасажирів або їхніх речей. На підземних станціях, обладнаних платформними захисними перегородками, відкривання та закривання дверей поїзда і платформи здійснюється узгоджено під контролем автоматизованих систем керування. Важливою умовою їхньої роботи є точна зупинка рухомого складу у визначеному місці, яка забезпечується відповідними алгоритмами керування гальмуванням. Лише після підтвердження безпечного положення поїзда та виконання необхідних умов допускається відкривання дверей для посадки й висадки пасажирів. Таким чином, взаємодія систем автоматичного гальмування, позиціонування та керування дверима сприяє підвищенню безпеки пасажирських перевезень, скороченню затримок на станціях, забезпеченню стабільної роботи метрополітену та підвищенню його економічної ефективності завдяки раціональнішому використанню рухомого складу, зменшенню непродуктивних простоїв і оптимізації експлуатаційних процесів.



Рисунок 1.2 – Платформа Копенгагенського метрополітену з розсувними дверима

1.2 Огляд системи та метрополітену в цілому в Гонконзі, Китай.

1.2.1 Загальна інформація

Станом на початок 2019 року мережа Гонконзького метрополітену налічувала 12 ліній загальною протяжністю близько 222 км та 171 станцію, серед яких 68 належали до системи легкорейкового транспорту. Розробка проєкту метрополітену розпочалася наприкінці 1960-х років, а безпосереднє будівництво перших ділянок стартувало у 1975 році. За обсягами пасажирських перевезень Гонконзький метрополітен належить до найбільших транспортних систем Китаю та, за наведеними історичними даними, посідав четверте місце за

пасажиропотоком. Значна протяжність мережі та висока інтенсивність руху поїздів зумовлюють необхідність застосування надійних систем автоматизованого керування, зокрема засобів контролю швидкості, дотримання безпечних інтервалів і керування процесами гальмування рухомого складу.

1.2.2 Безпека та контроль

У Гонконзькому метрополітені застосовується комплекс заходів для забезпечення безпеки пасажирів (рис. 1.3). На станціях розміщені інформаційні плакати та вказівники, які пояснюють правила користування метро, порядок посадки й висадки, а також особливості розташування пасажирів на платформах, обладнаних захисними дверима. Це допомагає впорядкувати пасажиропотік, зменшити скупчення людей біля входів до вагонів і скоротити затримки під час зупинок поїздів.

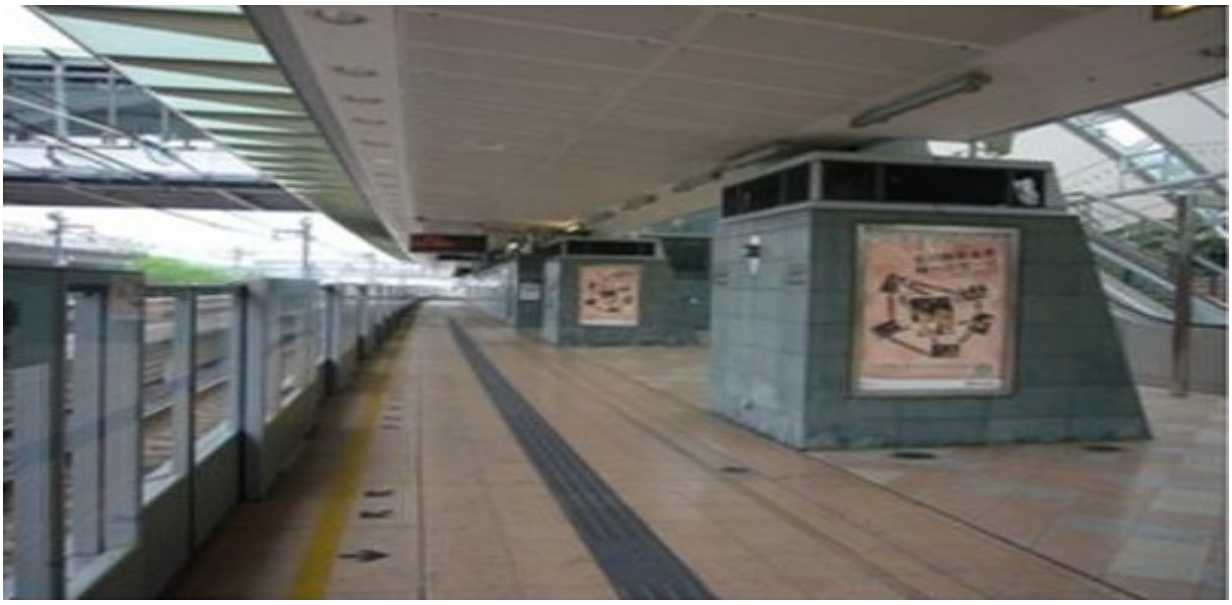


Рисунок 1.3 – Загородка на станції «Санні-Бей»

Станції закритого типу в Гонконзькому метрополітені розташовані на лініях Тунчхун, Аеропорт-Експрес та Чьонкуаньоу. Для контролю ситуації на платформах використовується система постійного відеоспостереження. На

початкових етапах впровадження скляних захисних перегородок їх встановлення викликало певні сумніви щодо економічної доцільності та практичної ефективності. Однак подальша експлуатація підтвердила переваги такого рішення, насамперед завдяки зменшенню ризику випадкового падіння пасажирів на колії та підвищенню загального рівня безпеки на станціях.

Однією з основних причин встановлення повнорозмірних захисних перегородок (рис. 1.4), подібно до Копенгагенського метрополітену, було прагнення скоротити витрати електроенергії на вентиляцію тунелів і кондиціювання станцій. На інших платформах застосовувалися скляні огородження висотою близько одного метра (рис. 1.4 та 1.5), які не забезпечують повної ізоляції від колій, проте створюють додатковий захист для пасажирів. Зважаючи на отримані результати, компанія MTR поступово розширила використання таких конструкцій на наземних станціях, за винятком двох із дванадцяти ліній. Загалом було встановлено 2960 елементів захисних огороджень. Їх використання також підвищує вимоги до точності автоматизованого гальмування, оскільки для безпечної посадки та висадки необхідно забезпечувати зупинку поїзда відповідно до розташування платформних дверей.



Рисунок 1.4 – Загородження на станції «Норт-Пойнт»

На рис. 1.5 представлено захисне огородження платформи станції лінії «Діснейленд» Гонконзького метрополітену. Рух поїздів на цій лінії здійснюється в повністю автоматизованому режимі без участі машиніста, з інтервалом близько 4 хвилин. Автоматизована система забезпечує керування швидкістю, гальмуванням і зупинкою рухомого складу на станціях.



Рисунок 1.5 – Загородження станції по лінії «Діснейленд»

Подібно до Копенгагенського метрополітену, автоматизована система керування на лінії «Діснейленд» дозволяє експлуатувати поїзди без кабіни машиніста. На станціях цієї лінії також встановлені платформні захисні огородження, робота яких узгоджується з процесами зупинки та відправлення рухомого складу. Це потребує точного регулювання швидкості й гальмування для забезпечення правильного положення поїзда відносно платформи.

У Гонконзькому метрополітені експлуатуються різні типи електропоїздів, які відрізняються конструкцією та технічними характеристиками. За наведеними даними, рухомий склад представлений п'ятьма основними типами, а ширина колії на окремих лініях становить від 1432 до 1435 мм. На лінії «Аеропорт-Експрес» використовуються восьмивагонні поїзди (рис. 1.6), які замінили попередню семивагонну конфігурацію. На лініях колишньої мережі

KRC застосовується система електропостачання напругою 25 кВ змінного струму частотою 50 Гц, тоді як на частині ліній MTR використовується живлення постійним струмом напругою 1,5 кВ. За необхідності на сумісних ділянках може застосовуватися рухомий склад із підтримкою двох систем електроживлення. Відмінності в характеристиках тягового обладнання необхідно враховувати під час розробки методів комп'ютерно-інтегрованого керування, зокрема при визначенні режимів електродинамічного гальмування та узгодженні роботи тягових і гальмівних систем.



Рисунок 1.6 – Восьмивагонний потяг K-Stoc Rotem EMU.

1.3 Огляд Київського метрополітену.

1.3.1 Загальна інформація

Київський метрополітен є однією з основних складових транспортної інфраструктури столиці України та забезпечує швидкісні пасажирські перевезення. Його мережа складається з трьох діючих ліній загальною експлуатаційною довжиною 69,648 км, які об'єднують 52 станції та три пересадкові вузли в центральній частині міста. Офіційне відкриття метрополітену відбулося 6 листопада 1960 року. Однією з характерних особливостей Київського метро є значна різниця глибин залягання окремих станцій. Зокрема, станція «Арсенальна» Святошинсько-Броварської лінії розташована на глибині 105,5 метра та належить до найглибших станцій метрополітену у світі, тоді як сусідня станція «Дніпро» є наземною.

1.3.2 Будівництво ліній та складнощі реалізації проектів.

Червона лінія. Будівництво Київського метрополітену розпочалося у 1949 році. Під час прокладання перших тунелів будівельники зіткнулися зі значними труднощами, пов'язаними зі складним рельєфом місцевості, нестійкими ґрунтами та наявністю пливунів. Додаткові ускладнення виникали через геологічні умови, які не були повністю враховані на етапі проєктування. Унаслідок цього окремі ділянки тунелів мають суттєві перепади висот уздовж перегонів.

Восени 2000 року розпочалося будівництво нової ділянки Святошинсько-Броварської лінії протяжністю 3,3 км у західному напрямку. Одночасно проводилися роботи зі спорудження станцій «Житомирська» та «Академмістечко». Через нестабільне фінансування будівельний процес неодноразово призупинявся. Для виконання необхідних робіт частину проспекту Перемоги перекрили на період із 14 січня 2001 року до 25 грудня

2002 року. Офіційне відкриття нової ділянки з двома станціями відбулося 24 травня 2003 року. Вони стали останніми введеними в експлуатацію станціями найстарішої лінії Київського метрополітену. Після завершення будівництва загальна довжина червоної лінії досягла 22,7 км, а кількість станцій становила 18, із яких 12 розташовані під землею.

Синя лінія. Спорудження другої лінії Київського метрополітену, Оболонсько-Теремківської, розпочалося у 1971 році в центральній частині міста. Будівництво здійснювалося переважно відкритим способом. Улітку 1972 року під час земляних робіт було виявлено залишки давньоруської садиби площею приблизно 600–700 м². Археологічні знахідки вплинули на перебіг будівництва, тому першу ділянку лінії завдовжки 2,32 км вдалося відкрити лише у 1976 році.

У 1980 році було введено в експлуатацію ділянку зі станціями «Тараса Шевченка», «Петрівка» та «Проспект Корнійчука», яка згодом отримала назву «Оболонь». Того ж року на лінії розпочалася експлуатація вагонів серії 81-717/714. Подальше розширення відбулося у 1982 році, коли відкрили станції «Мінська» та «Героїв Дніпра». При цьому «Мінська» стала першою в Київському метрополітені односклепінною станцією мілкого закладення.

У 1984 році мережу поповнили ще дві станції. Однак подальше будівництво у південному напрямку зіткнулося зі значними труднощами. Зокрема, під час проходження ділянки зі складними ґрунтовими умовами поблизу річки Либідь виникли аварійні обставини, що разом з іншими чинниками призвели до тривалого призупинення робіт. Наступний етап розширення лінії відбувся лише через 21 рік.

15 грудня 2010 року було відкрито одразу три станції - «Деміївська», «Голосіївська» та «Васильківська». Роботи на цій ділянці раніше ускладнювалися несприятливими гідрогеологічними умовами. Уже 27 грудня 2011 року відбулося урочисте відкриття 50-ї станції Київського метрополітену - «Виставковий центр». Особливістю її спорудження стали стислі терміни виконання робіт, адже проєктування та будівництво розпочалися у січні того

самого року. Наступною, 25 жовтня 2012 року, відкрили станцію «Іподром». Завершальним етапом розвитку південної частини лінії стало введення в експлуатацію станції «Теремки» 6 листопада 2013 року.

Зелена лінія. Будівництво третьої лінії Київського метрополітену, Сирецько-Печерської, розпочалося у 1981 році. Першу ділянку протяжністю 2,1 км відкрили 31 грудня 1989 року. До її складу увійшли станції «Золоті ворота», «Палац спорту» та «Мечнікова». Попри економічні труднощі, які виникли на початку 1990-х років, розширення лінії продовжувалося. Уже 30 грудня 1991 року пасажирів прийняли станції «Дружби народів» і «Видубичі». Водночас відкриття станції «Печерська», яке спочатку планувалося разом із ними, довелося відкласти через складні геологічні умови.

Наступним етапом стало спорудження ділянки зі станціями «Славутич» та «Осокорки», колії до яких проходять через Південний міст. Початковий проєкт передбачав повне накриття мостового перегону спеціальною конструкцією. Проте використане алюмінієве покриття не забезпечувало належного захисту від атмосферних опадів, унаслідок чого приблизно третина ділянки залишилася відкритою. У 1994 році були введені в експлуатацію станції «Позняки» та «Харківська». Через два роки відкрили станцію «Лук'янівська», тоді як будівництво «Львівської брами» у 1997 році призупинили. У цей період парк рухомого складу почав поповнюватися модернізованими вагонами серії 81-717.5М/714.5М.

Наприкінці 1997 року завершилося будівництво станції «Печерська», після чого розвиток лінії тимчасово сповільнився. Наступну станцію, «Дорогожичі», відкрили в середині 2000 року. У той самий період до електродепо «Оболонь» надійшов експериментальний електропоїзд «Славутич» серії 81-553.1/554.1/555.1, обладнаний асинхронними тяговими електродвигунами та комп'ютеризованою системою керування. Використання такого обладнання стало одним із напрямів технічного оновлення рухомого складу Київського метрополітену.

14 жовтня 2004 року Сирецько-Печерську лінію продовжили в західному напрямку, відкривши станцію «Сирець». Уже 23 серпня 2005 року на східній ділянці запрацювала станція «Бориспільська». У цей період також були представлені перші електровагони українського виробництва серії 81-7021/7022, які згодом запустили в серійне виробництво. У 2006 році відкрилася станція «Вирлиця». Будівництво станції «Червоний хутір», розпочате у 2005 році, супроводжувалося затримками, пов'язаними з організаційними та фінансовими труднощами, тому її введення в експлуатацію відбулося лише у 2008 році.

Станція «Червоний хутір» залишається кінцевою на східній ділянці Сирецько-Печерської лінії. Загальна протяжність зеленої лінії становить приблизно 23,8 км. До її складу входять 18 діючих станцій, дві законсервовані станційні споруди та один конструктивний заділ для можливого будівництва станції в майбутньому.

1.3.3 Стан Київського метрополітену в наші дні

Станом на 2026 рік Київський метрополітен включав 52 станції та три пересадкові вузли, розташовані в центральній частині міста. Переважна більшість станцій є підземними, тоді як шість розміщені на поверхні, зокрема чотири наземні та дві естакадні. Серед підземних станцій 20 належать до глибокого закладення, а 26 - до мілкого. Для забезпечення технологічного сполучення між лініями передбачена службова з'єднувальна гілка в районі станцій «Кловська», «Майдан Незалежності» та «Хрещатик». Система електропостачання метрополітену охоплює розгалужену кабельну мережу, 52 суміщені тягово-понижувальні підстанції, 2 тягові та 14 трансформаторних підстанцій. Контроль їхньої роботи здійснюється через автоматизовані диспетчерські пункти. На всіх трьох лініях застосовуються засоби автоматичного регулювання швидкості руху поїздів.

Загальна експлуатаційна довжина трьох ліній Київського метрополітену, за наведеними даними, становить 67,6 км. Найстарішою є Святошинсько-Броварська лінія, відкрита 6 листопада 1960 року. Її протяжність складає 22,75 км, з яких приблизно 6,7 км припадає на наземні ділянки. Лінія об'єднує 18 станцій, а її наземна частина включає два мостові переходи через Дніпро та Русанівську протоку, а також два шляхопроводи.

Оболонсько-Теремківська лінія є другою за часом відкриття. Її перша ділянка почала працювати 16 грудня 1976 року. Загальна довжина лінії становить 20,95 км, а кількість станцій - 18. Вона забезпечує транспортне сполучення між північними, центральними та південними районами Києва.

Сирецько-Печерська лінія була введена в експлуатацію 31 грудня 1989 року. Її протяжність становить 23,9 км, а до складу входять 16 станцій. Однією з особливостей лінії є проходження колій через Південний міст, який забезпечує сполучення між правобережною та лівобережною частинами столиці.

1.3.4 Інформація про рухомий склад метрополітену

Станом на 2018 рік рухомий склад Київського метрополітену налічував 814 вагонів різних серій та модифікацій. Переважна більшість станцій розрахована на приймання п'ятивагонних поїздів. Винятком є станція «Дніпро», довжина платформи якої становить 124 метри, що дозволяє розміщувати шестивагонні состави. На Оболонсько-Теремківській та Сирецько-Печерській лініях основну частину рухомого складу становили вагони серій 81-717/81-714, тоді як на Святошинсько-Броварській лінії переважно використовувалися поїзди серій Е, Еж та Ем.

На Оболонсько-Теремківській лінії також експлуатувався експериментальний електропоїзд «Славутич» серії 81-553.1/554.1/555.1, розроблений за участю чеської компанії Škoda, російського підприємства ЗАТ «Вагонмаш» та КП «Київський метрополітен». Починаючи з 2009 року, на

Сирецько-Печерській лінії використовуються поїзди, сформовані з вагонів серії 81-7021/7022 виробництва Крюківського вагонобудівного заводу. У липні 2014 року на Святошинсько-Броварській лінії розпочалася експлуатація модернізованих вагонів типу «Е-Км-Гб», виготовлених на цьому ж підприємстві.

Подальші плани розвитку рухомого складу передбачали використання на четвертій та п'ятій лініях метрополітену поїздів нового покоління, розрахованих на формування составів із п'яти або шести вагонів. Розробку такого рухомого складу планувалося здійснювати із залученням Крюківського вагонобудівного заводу.

1.3.4.1 Вагон метро типу 81-7021/7022

Вагони серії 81-7021/7022 були розроблені в Україні на початку XXI століття для експлуатації в Київському метрополітені. Модель 81-7021 використовується як головний вагон, тоді як 81-7022 призначена для проміжних вагонів у складі поїзда. Виробництво рухомого складу цієї серії було організовано на ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод» у місті Кременчук з урахуванням потреб столичного метрополітену. Перший поїзд серії розпочав пасажирську експлуатацію на Сирецько-Печерській лінії 20 січня 2009 року.

Конструкція поїзда (рис. 1.7) розроблялася з урахуванням сучасних технічних вимог до рухомого складу метрополітену, зокрема щодо зниження рівня шуму та підвищення комфорту пасажирів. Окремі конструктивні рішення ходової частини й електрообладнання мають спільні риси з вагонами серій 81-717/714, які виготовлялися підприємствами «Метровагонмаш» і Ленінградським вагонобудівним заводом. Водночас однією з особливостей цієї серії є застосування асинхронного тягового приводу, який дозволяє зменшити потребу в технічному обслуговуванні електродвигунів та підвищити енергетичну ефективність експлуатації рухомого складу.



Рисунок 1.7 Вагон метро 81-7021 в голові та проміжними вагонами 81-7022 виробництва КВБЗ

Маса одного вагона серії 81-7021/7022 становить від 32 до 34 тонн залежно від його модифікації. Довжина вагона складає 18 810 мм, ширина - 2676 мм, а висота - 3660 мм. Максимальна конструкційна швидкість руху досягає 90 км/год, при цьому прискорення становить 1,2 м/с², а уповільнення під час гальмування - 1,15 м/с². Гальмівна система поїзда поєднує електродинамічне та пневматичне гальмування, що дозволяє використовувати різні способи зниження швидкості залежно від умов руху. Заявлена сумарна потужність тягових електродвигунів становить 750 кВт.

1.3.4.2 Вагон метро типу 81-717/714

Вагони серії 81-717/714, які використовуються в Київському метрополітені, виготовлялися на Митищинському та Ленінградському машинобудівних заводах. Вагони моделі 81-717 є головними, а 81-714 - проміжними. Усі вагони цієї серії обладнані тяговими електродвигунами, потужність яких була збільшена порівняно з попередніми моделями. За своїми

конструктивними особливостями цей рухомий склад став перехідним етапом між вагонами типу Е та перспективною на той час серією И.

У модифікації 81-717.5М/714.5М усі вагони залишаються моторними, а їхні колісні пари є ведучими. Конструкція передбачає можливість формування поїздів довжиною до восьми вагонів, причому головні вагони 81-717.5М розташовуються на обох кінцях складу. Рухомий склад обладнаний тяговим електроприводом постійного струму із системою плавного регулювання збудження електродвигунів. Таке технічне рішення забезпечує роботу обладнання як у тяговому режимі, так і під час електродинамічного реостатного гальмування. Застосування цього способу дозволяє здійснювати уповільнення поїзда в діапазоні швидкостей від 90 до 8 км/год із подальшим використанням пневматичної гальмівної системи для остаточної зупинки.

Кожен вагон оснащений чотирма тяговими електродвигунами ДК-117ДМ із самовентиляцією, які встановлюються по два на кожному візку. Номінальна потужність одного електродвигуна становить 114 кВт, а сумарна потужність тягового обладнання вагона досягає 456 кВт.



Рисунок 1.8 – Рухомий склад з вагонами типу 81-717/714

Візки вагонів модифікації 81-717.5М/714.5М мають двовісну конструкцію з опорно-рамним підвішуванням тягових електродвигунів та осьовим підвішуванням редукторів. У вторинному ступені ресорного підвішування застосовуються гідравлічні амортизатори, призначені для зменшення вертикальних і горизонтальних коливань під час руху поїзда. Конструкцією візка також передбачено встановлення двох струмоприймачів та елементів механічної гальмівної системи з пневматичним приводом.

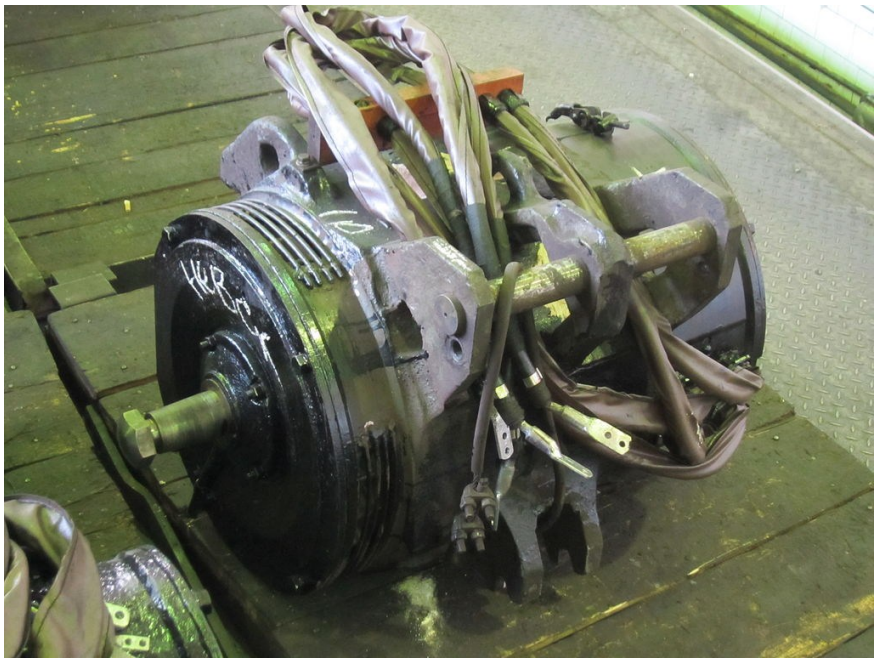


Рисунок 1.9 – Електродвигун ДК-117ДМ потужністю 114 кВт

Маса одного вагона становить 34 тонни. Його габаритні розміри складають 19 206 мм у довжину, 2670 мм у ширину та 3650 мм у висоту. Максимальна конструкційна швидкість досягає 90 км/год, при цьому прискорення становить 1,2 м/с², а уповільнення під час гальмування - 1,1 м/с². Гальмівна система поєднує електродинамічне реостатне та пневматичне гальмування. Сумарна потужність чотирьох тягових електродвигунів одного вагона становить 456 кВт.

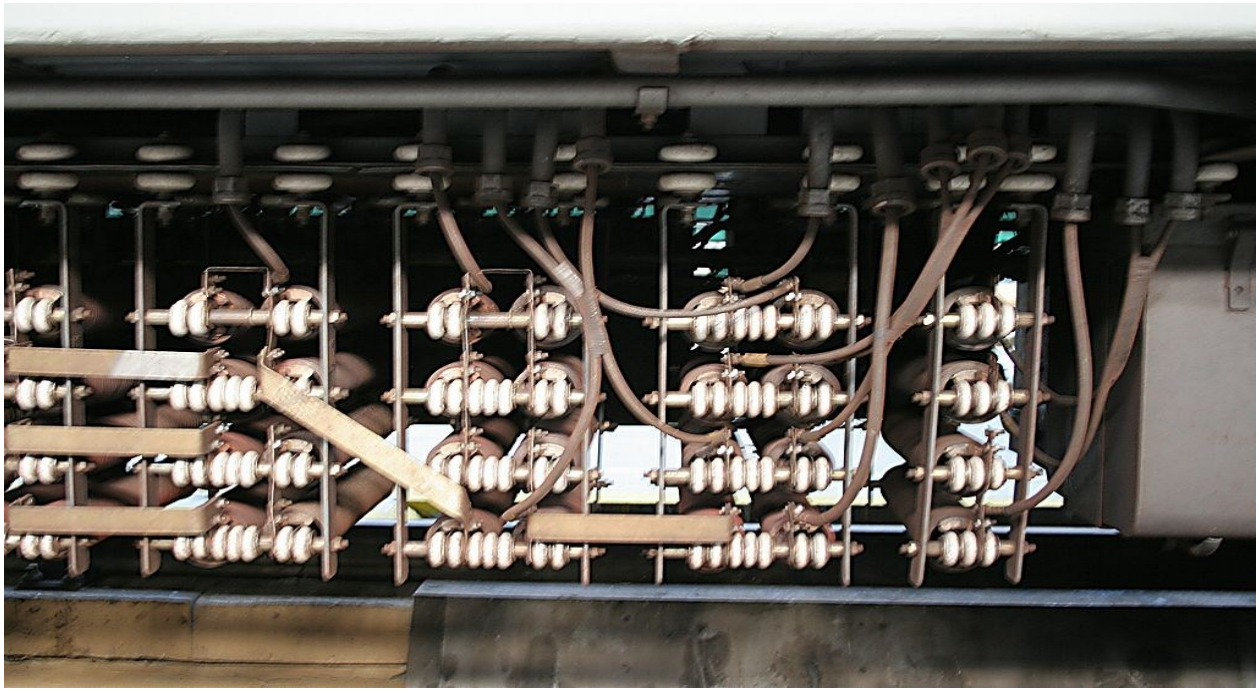


Рисунок 1.10 – Реостати під вагонами метрополітену типу 81-717/714

На вагонах метрополітену також встановлюються блоки живлення власних потреб (БЖВП), до складу яких входять два перетворювачі - первинний і вторинний. Первинний перетворювач, виділений червоною рамкою на рис. 11, призначений для зниження постійної напруги контактної рейки з 750 до 80 В. Основними його елементами є автономний інвертор струму, в якому тиристори VS1 і VS2 перетворюють постійний струм на змінний, понижувальний трансформатор T1 та керований випрямляч із тиристорами VS3 і VS4, що забезпечує зворотне перетворення змінного струму на постійний. Крім того, схема первинного перетворювача містить комутувальні діоди VD1–VD3, дроселі L1–L3, конденсатори C1–C3, резистори, які не відображені на схемі, а також згладжувальний фільтр, утворений дроселем L4 і конденсатором C4.

Вторинний перетворювач, позначений синьою рамкою на рис. 11, використовується для перетворення постійної напруги 80 В на змінну напругу 220 В, необхідну для живлення електричних кіл освітлення вагонів. До його складу входять автономний інвертор напруги на тиристорах VS5 і VS6 та

підвищувальний трансформатор Т2. Інвертори й випрямляч побудовані за схемою з нульовою точкою, завдяки чому зменшується кількість напівпровідникових елементів, необхідних для роботи перетворювачів.

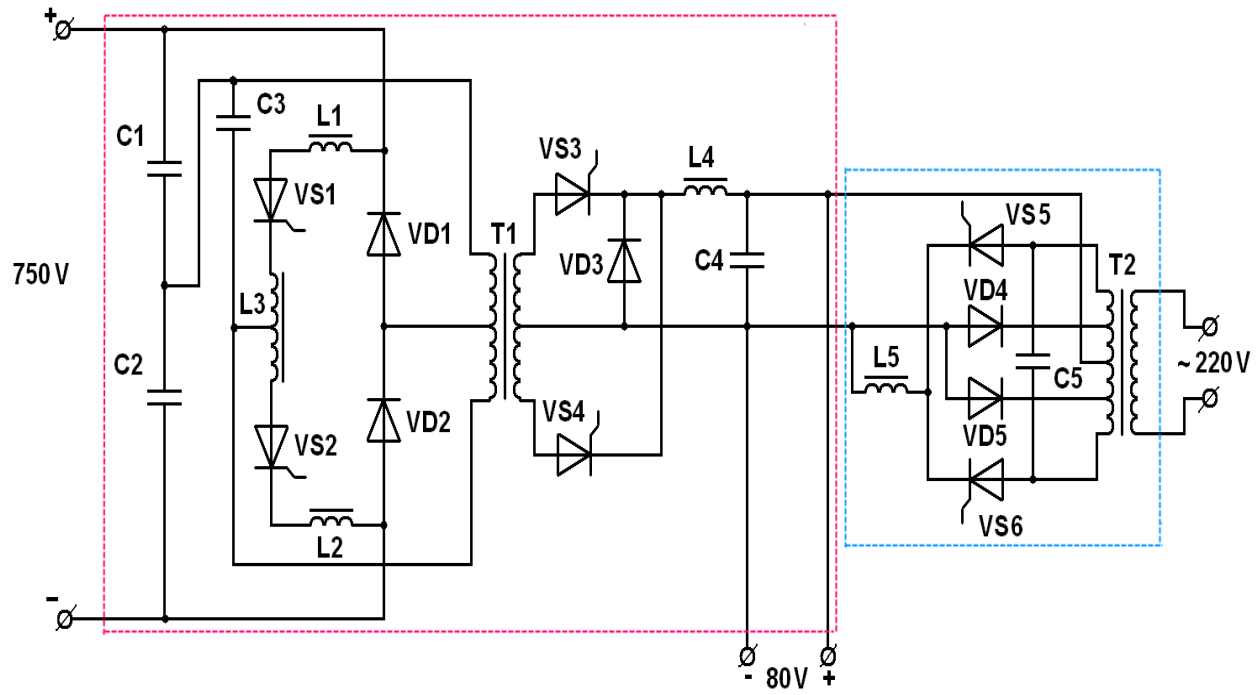


Рисунок 1.11 – Схема електрична принципова системи БЖВП.

1.3.4.3 Вагон метро типу "Ем"

Вагони цього типу виготовлялися на російських вагонобудівних підприємствах і тривалий час експлуатувалися на Святошинсько-Броварській лінії Київського метрополітену. Виробництво найстаріших із розглянутих модифікацій розпочалося у 1966 році. Маса одного вагона становила 32,2 т, довжина - 19 210 мм, ширина - 2700 мм, а висота - 3695 мм. Максимальна конструкційна швидкість досягала 90 км/год, при цьому прискорення становило 1,1 м/с², а уповільнення під час гальмування - 1,2 м/с². Гальмівна система поєднувала електродинамічне реостатне та пневматичне гальмування. Кожен вагон оснащувався чотирма тяговими електродвигунами ДК-108А потужністю 68 кВт кожен, що забезпечувало сумарну потужність 272 кВт.

Електрообладнання було розраховане на живлення від контактної рейки постійного струму напругою 750 В.

Одним із недоліків вагонів типу Е була відсутність обладнання автоведення, необхідного для автоматизованого керування рухом і точного зупинення поїздів на станціях. Для усунення цього обмеження конструкцію вагонів було доопрацьовано, унаслідок чого з'явилися нові модифікації, зокрема головні вагони Ема (81-705) та проміжні вагони Ем (81-706), пристосовані до вимог експлуатації в метрополітені.



Рисунок 1.12 Вагон типу Ем

У результаті модернізації вагони типу Ем отримали 16 додаткових проводів у колах керування, необхідних для роботи системи автоматичного ведення поїзда. Електричну схему було виконано відповідно до креслення № ОТД-354-629. Пневматичне обладнання цих вагонів загалом залишилося

аналогічним до обладнання вагонів типу Е. Основною відмінністю стало встановлення додаткового пристрою авторежиму на головних вагонах.

1.3.4.4 Тиристорний регулятор

Тиристор являє собою напівпровідниковий прилад, який використовується для керування електричним струмом у силових колах. Його перехід у провідний стан відбувається за відповідних умов прикладеної напруги між анодом і катодом або внаслідок подавання керувального імпульсу на електрод керування. За кількістю зовнішніх виводів розрізняють діодні тиристори - диністори з двома виводами, тріодні - триністори з трьома виводами та тетродні тиристори, які мають чотири виводи.

Під час розгону поїзда регулювання струму збудження тягових електродвигунів і відповідно їхнього магнітного потоку здійснюється ступінчасто за допомогою реостатів. Натомість у режимі реостатного гальмування передбачено плавне регулювання збудження, завдяки якому підтримується необхідна гальмівна сила, зокрема в діапазоні швидкостей 55–60 км/год. Для цього застосовується тиристорний регулятор РТ-300/300А, основними складовими якого є силовий блок, блок керування та датчик струму тягових електродвигунів.

Силовий блок регулятора містить два однакові тиристорні ключі, кожен із яких забезпечує керування окремою групою тягових електродвигунів. Окрім тиристорів, до складу ключів входять комутувальні діоди, дроселі, конденсатори та резистори. Обидва ключі об'єднані в одному модулі, розташованому під кузовом вагона. Разом із ними встановлено блок захисту, який у разі виникнення аварійної ситуації забезпечує відключення тиристорного регулятора та перехід від електродинамічного реостатного гальмування до пневматичного.

До складу регулятора РТ-300/300А також входять датчик струму та блок керування БК-13. Датчик здійснює безперервний контроль струму в колі якорів

другої групи тягових електродвигунів, які під час електродинамічного гальмування працюють у генераторному режимі. Отримані вимірювання надходять до блока БК-13, де порівнюються із заданими значеннями. На основі результатів порівняння формується керувальний вплив, який змінює ступінь збудження електродвигунів, забезпечуючи регулювання гальмівного зусилля.

Основні технічні характеристики тиристорного регулятора РТ-300/300А:

- Номінальна вхідна напруга - 300 В.
- Номінальний вихідний струм - 2 × 300 А.
- Максимальний робочий струм у режимі гальмування - 2 × 360 А.
- Коефіцієнт корисної дії - 98 %.

1.4 Електричне гальмування

Реостатне гальмування належить до різновидів електродинамічного гальмування, за якого тягові електродвигуни переходять у генераторний режим, а вироблена ними електрична енергія розсіюється у гальмівних резисторах. У цьому випадку резистори виконують функцію електричного навантаження генераторів. Кінетична енергія рухомого складу перетворюється на електричну, після чого виділяється у вигляді тепла. Регулювання гальмівного зусилля здійснюється шляхом зміни опору гальмівного кола. За інших однакових умов зменшення опору сприяє збільшенню гальмівного струму та відповідного гальмівного моменту, тоді як підвищення опору призводить до їх зниження.

Попри достатню ефективність реостатного гальмування, його суттєвим недоліком є безповоротна втрата електричної енергії у вигляді тепла. З погляду енергозбереження перспективним напрямом модернізації рухомого складу метрополітену є впровадження рекуперативного гальмування. За такого способу енергія, вироблена тяговими електродвигунами, може повертатися до тягової електромережі або накопичуватися в спеціальних пристроях, зокрема акумуляторних батареях чи іоністорах. Одним із можливих рішень є використання суперконденсаторних накопичувачів. За певних умов їх

застосування може забезпечити економію електроенергії до 20 %, оскільки частина енергії гальмування зберігатиметься для подальшого використання під час розгону поїзда або підтримання його швидкості. Фактичний рівень економії залежить від режимів руху, характеристик накопичувача та організації електропостачання.

Іоністор, або суперконденсатор, являє собою електрохімічний накопичувач енергії, принцип роботи якого ґрунтується на утворенні подвійного електричного шару на межі електрода та електроліту. Завдяки малій товщині цього шару та значній площі поверхні електродів іоністори мають набагато більшу електричну ємність порівняно зі звичайними конденсаторами аналогічних розмірів. Для збільшення площі контакту з електролітом використовуються пористі матеріали, зокрема активоване вугілля та спеціальні металеві структури. Об'ємна ємність таких пристроїв може сягати десятків фарад на кубічний сантиметр. Серед їхніх переваг варто відзначити високу швидкість заряджання та розряджання, значний ресурс циклічної роботи, здатність витримувати великі струмові навантаження та коефіцієнт корисної дії, який за відповідних умов може досягати 95 %. Водночас маса й габарити накопичувача залежать від необхідного запасу енергії та робочої напруги.

Електродинамічне гальмування використовується не лише для зниження швидкості поїзда, а й для її підтримання під час руху на затяжних ухилах. Це дозволяє зменшити навантаження на механічні гальма та обмежити їх нагрівання. На рухомому складі метрополітенів України та інших країн пострадянського простору тривалий час широко застосовувалося реостатне гальмування. Водночас електродинамічне гальмування не обмежується лише реостатним способом: сучасні системи тягового електропривода можуть також забезпечувати рекуперацію енергії до контактної мережі за наявності відповідних технічних умов.

На вагонах Київського метрополітену, оснащених традиційними тяговими електроприводами постійного струму, використовується реостатне гальмування. До його недоліків належать додаткова маса гальмівних резисторів

та іншого електрообладнання, необхідність відведення тепла й ускладнення силових електричних кіл. Разом із тим порівняно з використанням лише пневматичних гальм цей спосіб має низку переваг. Насамперед зменшується зношування гальмівних колодок і ймовірність їх перегрівання. Крім того, електричне регулювання дає змогу плавно змінювати гальмівний момент відповідно до заданого режиму уповільнення. Це створює сприятливі умови для впровадження автоматизованих систем керування гальмуванням, які підтримують необхідну швидкість та контролюють інтенсивність її зниження.

Принцип електричного гальмування полягає у використанні тягових електродвигунів як генераторів. Під час переходу до генераторного режиму в електричних машинах виникає електромагнітний момент, спрямований проти обертання колісних пар. Унаслідок цього створюється гальмівне зусилля, яке уповільнює рух поїзда. Ефективність процесу визначається можливістю підтримувати необхідну гальмівну силу в широкому діапазоні швидкостей без перевищення допустимих струмів та обмежень за зчепленням коліс із рейками. Важливе значення мають схема з'єднання тягових електродвигунів, швидкість переходу від тягового режиму до гальмівного, точність регулювання струму та ступінь автоматизації системи керування.

У рухомому складі з кількома тяговими електродвигунами для реалізації реостатного гальмування можуть застосовуватися різні схеми їх електричного з'єднання, зокрема послідовні та групові. Вибір конкретної схеми залежить від конструкції тягового електропривода й способу регулювання гальмівного струму. Якщо в тяговому режимі використовується послідовно-паралельне з'єднання електродвигунів, під час переходу до гальмування може знадобитися відповідне перемикання силових кіл. Для забезпечення необхідного напрямку електромагнітного моменту також передбачається зміна взаємного напрямку струмів в обмотках якоря та збудження. Початок генераторного режиму можливий за наявності магнітного потоку, під дією якого в обмотках якоря індукується електрорушійна сила.

Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто особливості технічного оснащення та організації руху в метрополітенах Копенгагена, Гонконгу та Києва. Встановлено, що використання платформних захисних дверей підвищує безпеку пасажирів, але потребує точного зупинення поїздів. У Копенгагенському метрополітені це забезпечується автоматизованою системою АТС, яка включає підсистеми ATS, ATO та ATP. У Гонконзі для захисту пасажирів було встановлено 2960 елементів платформних огороджень.

Проаналізовано особливості Київського метрополітену, зокрема вплив поздовжнього профілю колії на процес гальмування. Розглянуто характеристики рухомого складу серій 81-717/714, 81-7021/7022 та Е/Еж/Ем, уповільнення яких становить відповідно 1,1, 1,15 та 1,2 м/с². Визначено необхідність урахування цих відмінностей під час розробки автоматизованої системи керування гальмуванням.

На основі проведеного аналізу запропоновано додатковий контур керування гальмуванням із використанням мікроконтролера Arduino Uno та широтно-імпульсної модуляції. Регулювання гальмівного зусилля передбачається здійснювати за часовими інтервалами між спрацюваннями датчиків, а за швидкості 5–8 км/год - формувати команду переходу до пневматичного гальмування. Запропонований підхід є основою для подальшої розробки та дослідження системи на лабораторному макеті.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯМ ПОЇЗДІВ

2.1. Аналіз можливостей мікроконтролерів та мікрокомп’ютерів

Мікроконтролер є одним із ключових елементів комп'ютерно-інтегрованої системи керування. Він забезпечує обробку сигналів, отриманих від датчиків, виконання заданих алгоритмів та формування керувальних сигналів для виконавчих пристроїв. Залежно від призначення системи мікроконтролери можуть використовуватися для керування освітленням, вентиляцією та іншими електричними пристроями. У розроблюваній системі основним завданням мікроконтролера є обробка даних про рух поїзда та формування сигналів керування гальмуванням. Для вибору відповідної апаратної платформи розглянемо кілька поширених моделей мікроконтролерів і одноплатних комп'ютерів.

2.1.1 Arduino

Arduino - це відкрита апаратно-програмна платформа, призначена для розробки електронних пристроїв і систем автоматизованого керування. Її основою є плата з мікроконтролером, цифровими та аналоговими входами й виходами, а також середовище програмування Arduino IDE. Для створення програм використовується мова, заснована на C/C++ із застосуванням бібліотек Arduino. Платформа дозволяє розробляти як автономні пристрої, так і системи, що взаємодіють із програмним забезпеченням персонального комп'ютера, зокрема Processing, Max/MSP, Pure Data та SuperCollider. Завдяки відкритій архітектурі принципові схеми, креслення друкованих плат, специфікації компонентів і програмні засоби доступні для вільного використання, що дає можливість самостійно виготовляти та модифікувати обладнання.

Arduino Uno - одна з найпоширеніших плат цієї платформи, побудована на базі мікроконтролера ATmega328P. Її зовнішній вигляд наведено на рис. 2.1, а основні технічні характеристики подано в таблиці 2.1.

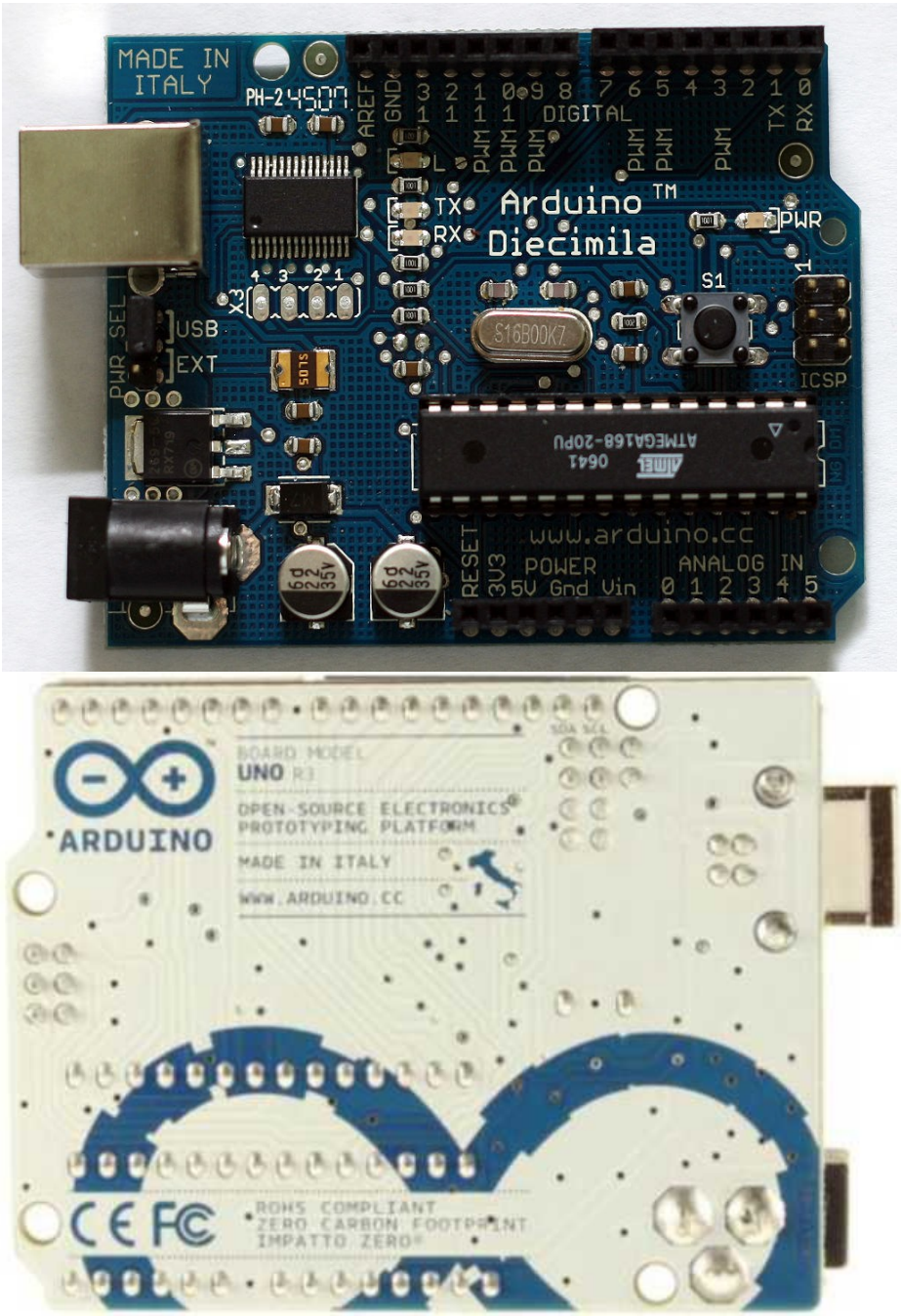


Рисунок 2.1 - Плата Arduino UNO з МК ATMega168 в DIP корпусі.

Плата Arduino базується на мікроконтролері серії Atmel AVR та оснащена необхідними елементами обв’язки для програмування й інтеграції з іншими

пристроями. Багато моделей плат мають вбудовані лінійні стабілізатори напруги +5 В і +3,3 В. Тактова частота формуються кварцовим резонатором на 16 або 8 МГц. Завдяки наявності завантажувача (bootloader) у мікроконтролері, підключення зовнішнього програматора для запису коду не потрібне.

Таблиця 2.1 - Характеристики Arduino UNO

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5В
Вхідна напруга (рекомендований)	7-12В
Вхідна напруга (граничне)	6-20В
Цифрові Входи / Виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися в якості ТТТТМ-
Аналогові входи	6
Постійний струм через вхід / вихід	40 mA
Постійний струм для виведення 3.3 В	50 mA
Флеш-пам'ять	32 КБ з яких 0.5 КБ використовуються завантажувачем
ОЗУ	8 КВ
Незалежна пам'ять	4 КВ
Тактова частота	16 MHz

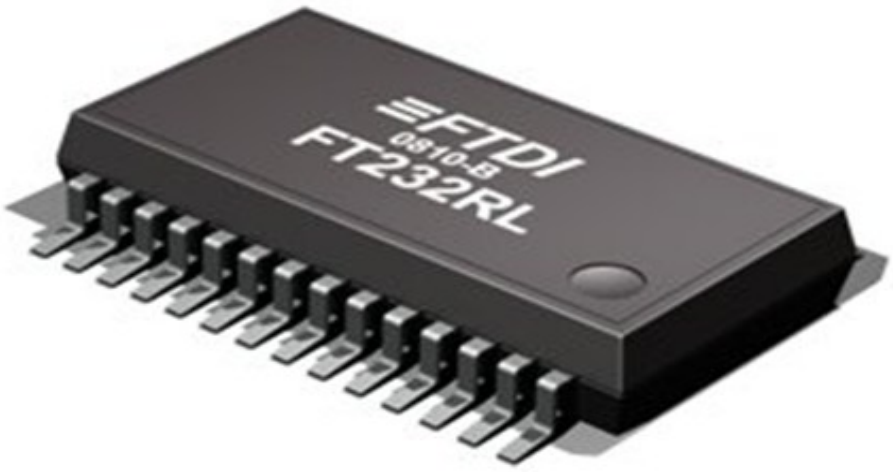


Рисунок 2.2 – Мікросхема FTDI FT232RфЧ

Програмування багатьох плат Arduino здійснюється через USB-інтерфейс із використанням перетворювача USB-to-Serial, зокрема мікросхеми FTDI FT232R. У платі Arduino Uno для обміну даними з комп'ютером застосовується окремий мікроконтролер ATmega8U2 або ATmega16U2 залежно від версії плати. Завдяки можливості перепрограмування його прошивки пристрій може виконувати не лише функції послідовного інтерфейсу, а й визначатися комп'ютером як USB-пристрій іншого класу, наприклад клавіатура, миша або джойстик. Для окремих компактних моделей, зокрема Arduino Mini та Boarduino, програмування потребує використання зовнішнього адаптера USB-to-Serial або відповідного кабелю.

Плати Arduino мають набір контактів для підключення датчиків, виконавчих механізмів та інших електронних компонентів. Вони можуть використовуватися як цифрові входи й виходи, а частина контактів підтримує аналогове вимірювання або формування сигналів широтно-імпульсної модуляції. Наприклад, Arduino Diecimila оснащена 14 цифровими контактами, з яких 6 підтримують ШІМ, а також 6 аналоговими входами. Підключення

зовнішніх пристроїв здійснюється через контактні майданчики або штирові роз'єми.

Для розширення функціональних можливостей Arduino використовуються додаткові модулі, відомі як *shields*. Вони встановлюються безпосередньо на основну плату через роз'єми та можуть забезпечувати додаткові інтерфейси зв'язку, керування електродвигунами або підключення датчиків. Конструкція багатьох таких модулів дозволяє розміщувати їх один над одним, утворюючи компактну багаторівневу систему. Крім стандартних плат, випускаються зменшені модифікації Arduino Nano та LilyPad, а також спеціалізовані рішення, призначені для використання в робототехніці та вбудованих системах керування.

2.2 Огляд та можливості платформи для розробки Arduino UNO

Платформа Arduino підтримує підключення широкого спектра електронних модулів і периферійного обладнання, що дозволяє використовувати її для розв'язання різноманітних завдань автоматизації. Для передавання даних можуть застосовуватися модулі бездротового зв'язку Wi-Fi, Bluetooth і GSM, GPS-приймачі та Ethernet-модулі. Також передбачена можливість підключення підвищувальних і понижувальних перетворювачів напруги, модулів для роботи з SD-картами, дисплеїв різних типів і сервоприводів.

Значну частину сумісного обладнання становлять цифрові та аналогові датчики. До них належать сенсори звуку, температури й вологості, термопари для вимірювання високих температур, фоторезистори та датчики освітленості в різних спектральних діапазонах. Для визначення положення, переміщення й параметрів навколишнього середовища використовуються датчики Холла, атмосферного тиску, акселерометри, гіроскопи, електронні компаси, датчики вібрації, дощу та вологості ґрунту. Крім того, Arduino дозволяє отримувати інформацію від газоаналізаторів, датчиків струму й тиску, пасивних

інфрачервоних датчиків руху (PIR), витратомірів води, мікрофонів і вагових модулів.

До платформи також можна підключати RFID-зчитувачі, модулі годинників реального часу, лазерні випромінювачі, інфрачервоні камери, лазерні далекоміри, сканери відбитків пальців, зчитувачі магнітних ключів і пульсометри. Для введення та відображення інформації використовуються кнопкові й сенсорні клавіатури, джойстики, енкодери, потенціометри, семисегментні індикатори та сенсорні дисплеї. Така різноманітність периферійних пристроїв дає змогу створювати системи збору, обробки й відображення даних відповідно до конкретних технічних вимог.

Окрім отримання інформації від датчиків, Arduino забезпечує керування зовнішніми пристроями. Зокрема, можливе підключення динаміків, адресних світлодіодних стрічок, світлодіодних матриць, крокових двигунів, драйверів електродвигунів, соленоїдів та електромагнітів. Для комутації електричних навантажень використовуються силові транзистори MOSFET, симістори, електромагнітні й твердотілі реле. За допомогою відповідних радіомодулів можна організувати дистанційне керування обладнанням. За сприятливих умов, зокрема за прямої видимості та відсутності значних перешкод, дальність зв'язку окремих модулів може досягати 3 км.

Завдяки можливості поєднувати різні датчики, модулі зв'язку та виконавчі пристрої Arduino використовується в широкому колі технічних проєктів. На її основі створюють системи автоматизованого керування замками, радіокеровані квадрокоптери й літаки, робототехнічні комплекси та різноманітні вимірювальні прилади. Серед прикладів практичного застосування можна виділити далекоміри, хронографи, аналізатори звукового спектра, системи електричного запалювання, металошукачі, тахометри, спідометри, лічильники пройденої відстані та метеостанції. В одному проєкті можуть одночасно використовуватися кілька готових модулів, що скорочує час розробки й полегшує створення багатофункціональних пристроїв. Водночас складність реалізованої системи обмежується обчислювальними ресурсами

мікроконтролера, кількістю доступних інтерфейсів і характеристиками підключеного обладнання.

Програмування Arduino переважно здійснюється мовою C++ із використанням спеціалізованих бібліотек, які спрощують взаємодію з апаратними компонентами. Найпоширенішим середовищем розробки є Arduino IDE, у якому створюються, компілюються та завантажуються програми, що називаються скетчами. Для роботи з платформою також можуть застосовуватися XOD та інші інструменти розробки, а для безпосереднього програмування мікроконтролерів AVR - утиліта AVRDUDE. Наявність різних програмних засобів дозволяє обирати відповідний підхід залежно від складності проєкту та вимог до системи керування.

Arduino Mega 2560 - це плата на основі восьмибітного мікроконтролера ATmega2560, яка відрізняється від Arduino Uno більшою кількістю входів і виходів, а також розширеними можливостями підключення периферійного обладнання. Її зовнішній вигляд наведено на рис. 2.3, а основні технічні характеристики подано в таблиці 2.2 [10].

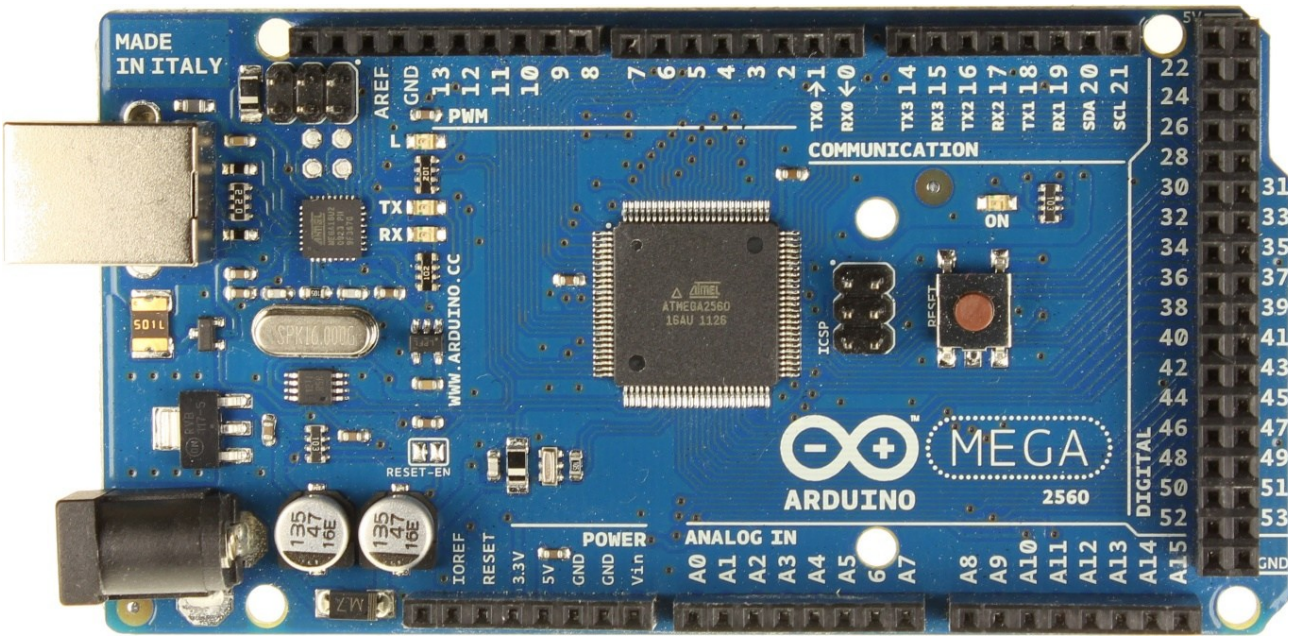


Рисунок 2.3 - Arduino Mega2560 R3 вид зверху [10]

Таблиця 2.2 – Характеристики Arduino Mega2560 R3

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega2560
Робоча напруга	5В
Вхідна напруга (рекомендований)	7-12В
Вхідна напруга (граничне)	6-20В
Цифрові Входи / Виходи	54 (14 з яких можуть работат також як виходи П1ТМ)
Аналогові входи	16
Постійний струм через вхід / вихід	40 mA
Постійний струм для виведення 3.3 В	50 mA
Флеш-пам'ять	256 КВ (з яких 8 КВ використовуються для завантажувача)
ОЗУ	8 КВ
Незалежна пам'ять	4 КВ
Тактова частота	16 MHz

ChipKIT Uno32 - це плата для розробки та прототипування електронних пристроїв, створена на основі концепції платформи Arduino. Її головною особливістю є використання 32-бітного мікроконтролера Microchip PIC32, який забезпечує вищу обчислювальну продуктивність порівняно з традиційними 8-бітними платами Arduino. Зовнішній вигляд плати наведено на рис. 2.4 та 2.5, а основні технічні характеристики представлено в таблиці 2.3 [11].



Рисунок 2.4 - ChipKIT Uno32 вид зверху [11]

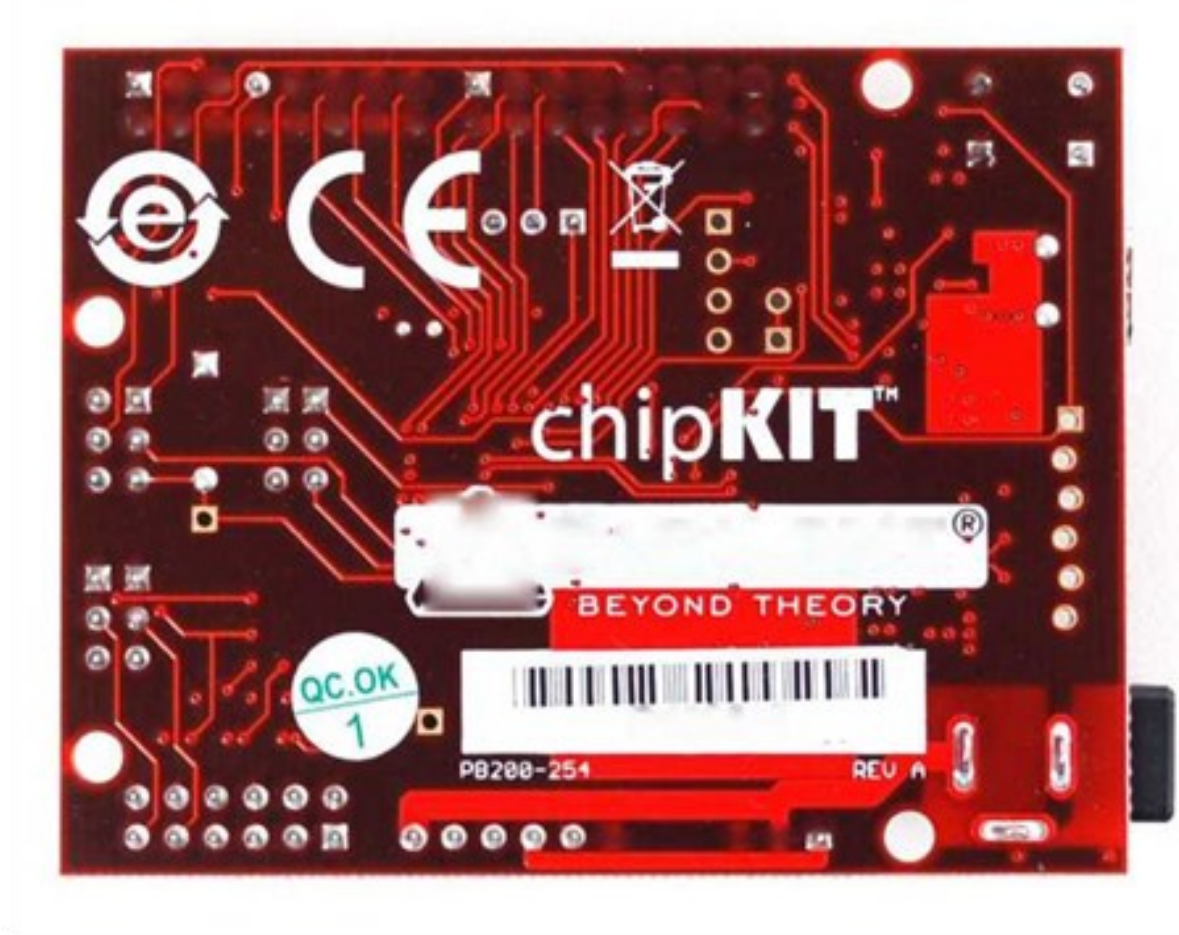


Рисунок 2.5 - ChipKIT Uno32 вид знизу [11]

Таблиця 2.3 - Характеристики ChepKIT Uno32

Параметр	Значення
Мікроконтролер	PIC32MX320F128H
Робоча напруга	3.3В
Вхідна напруга (рекомендований)	7-15В
Вхідна напруга (граничне)	20В
Цифрові Входи / Виходи	42
Аналогові входи	12
Постійний струм через вхід / вихід	75 mA
Флеш-пам'ять	128 KB
ОЗУ	16 KB
Тактова частота	80 MHz

ChipKIT Max32 - це плата для розробки електронних пристроїв, створена на основі архітектурних рішень платформи Arduino. На відміну від традиційних плат із 8-бітними мікроконтролерами, вона оснащена 32-бітним мікроконтролером Microchip PIC32, що забезпечує вищу швидкість обробки даних і розширені обчислювальні можливості. За розмірами та розташуванням основних роз'ємів ChipKIT Max32 відповідає формфактору Arduino Mega. Зовнішній вигляд плати наведено на рис. 2.6 та 2.7, а її основні технічні характеристики подано в таблиці 2.4 [12].

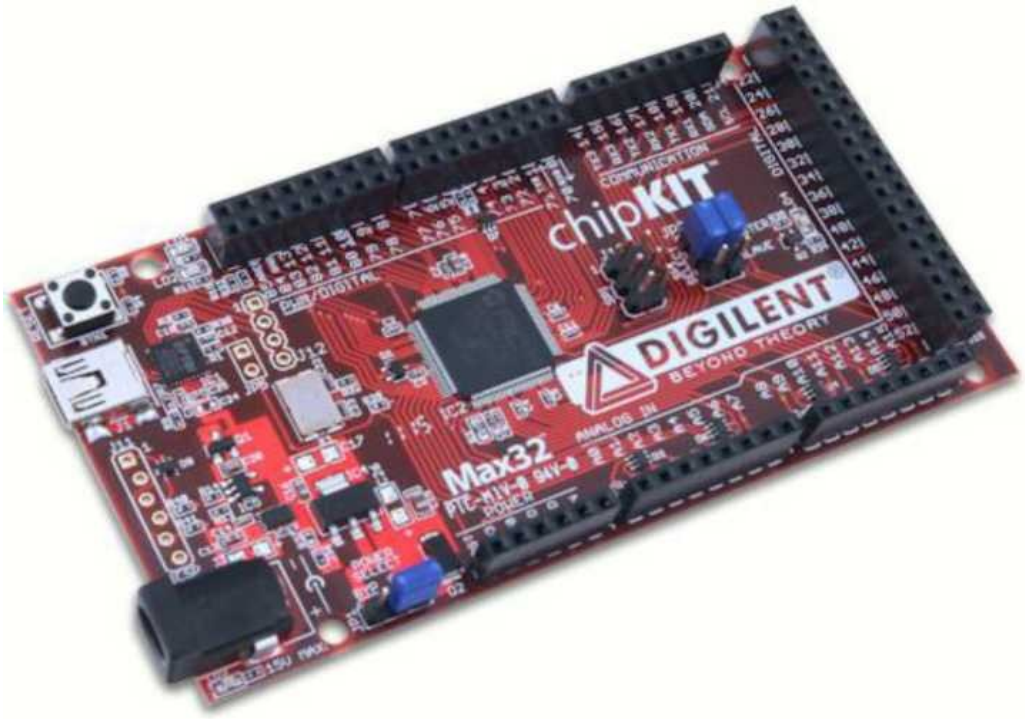


Рисунок 2.6 - ChipKIT Max32 вид зверху [12]



Рисунок 2.7 - ChipKIT Max32 вид знизу

Таблиця 2.4 - Характеристики ChipKIT Max32

Параметр	Значення
Мікроконтролер	PIC32MX795F512L
Робоча напруга	3.3В
Вхідна напруга (рекомендований)	7-15В
Вхідна напруга (граничне)	20В
Цифрові Входи / Виходи	83
Аналогові входи	16
Постійний струм через вхід / вихід	75 mA
Флеш-пам'ять	512 KB
ОЗУ	128 KB
Тактова частота	80 MHz

Raspberry Pi - це компактний одноплатний комп'ютер, розміри якого можна порівняти з банківською карткою. Спочатку його розробляли як доступний за ціною пристрій для навчання основ програмування та інформатики. Проте з часом Raspberry Pi набув значно ширшого застосування, зокрема в робототехніці, автоматизації, системах моніторингу та керування електронним обладнанням, і став популярним далеко за межами освітньої сфери.

Зовнішній вигляд Raspberry Pi Model A+ наведено на рис. 2.8 та 2.9, а основні технічні характеристики представлено в таблиці 2.5 [13].



Рисунок 2.8 - Raspberry PI Model A+ вид зверху [13]



Рисунок 2.9 - Raspberry PI Model A+ вид знизу [13]

Таблиця 2.5 - Характеристики Raspberry PI Model A+

Параметр	Значення
Чіп	Broadcom BCM2835
Архітектура ядра	ARM11
ЦПУ	700 MHz Low Power ARM1176JZFS Applications Processor
ОЗУ	256MB SDRAM
Локальна мережа	-
ОРЮ	40-pin
Живлення	Micro USB socket 5V, 2A

Зображення Raspberry PI Model B+ наведено на рис. 2.10 та рис. 2.11, характеристики у таблиці 2.6 [14].



Рисунок 2.10 - Raspberry PI Model B+ вид зверху [14]



Рисунок. 2.11 - Raspberry PI Model B+ вид знизу [14]

Таблиця 2.6 - Характеристики Raspberry PI Model B+

Параметр	Значення
Чіп	Broadcom BCM2835 SoC
Архітектура ядра	ARM11
ЦПУ	700 MHz Low Power ARM1176JZFS Applications Processor
ОЗУ	512MB SDRAM
Локальна мережа	10/100 BaseT Ethernet socket
ОРЮ	40-pin
Живлення	Micro USB socket 5V, 2A

Зображення Raspberry PI Model 2 наведено на рис. 2.12 та рис. 2.13, характеристики у таблиці 2.5 [15].



Рисунок 2.12 - Raspberry PI Model 2 вид зверху [15]



Рисунок 2.13 - Raspberry PI Model 2 вид знизу [15]

Таблиця 2.7 - Характеристики Raspberry PI Model 2

Параметр	Значення
Чіп	Broadcom BCM2836 SoC
Архітектура ядра	Quad-core ARM Cortex-A7
ЦПУ	900 MHz
ОЗУ	1GB LPDDR2
Локальна мережа	10/100 BaseT Ethernet socket
ОРЮ	40-pin
Живлення	Micro USB socket 5V, 2A

У процесі вибору апаратної платформи було проведено порівняння мікроконтролерних плат та одноплатних комп'ютерів трьох виробників. Плати ChipKIT за своєю вартістю наближаються до одноплатних комп'ютерів, однак не мають вбудованого Ethernet-роз'єму, що знижує економічну доцільність їх використання в розроблюваній системі. Одноплатні комп'ютери Raspberry Pi відзначаються високою обчислювальною продуктивністю, проте найдоступніша з розглянутих моделей коштує приблизно у 2,5 раза дорожче за Arduino Mega 2560 і також не оснащена Ethernet-роз'ємом. Вартість моделей Raspberry Pi із вбудованим Ethernet-інтерфейсом перевищує ціну Arduino Mega 2560 приблизно у 3,3 раза. Arduino Uno є найдешевшою серед розглянутих плат, однак має порівняно невеликий обсяг пам'яті, що може обмежувати можливості реалізації складніших алгоритмів керування та обробки даних.

За результатами порівняння для створення дослідного зразка комп'ютерно-інтегрованої системи керування гальмуванням поїздів метрополітену обрано Arduino Mega 2560. Ця плата забезпечує достатню кількість цифрових та аналогових входів і виходів, має більший обсяг вбудованої пам'яті порівняно з Arduino Uno та характеризується відносно невисокою вартістю. Для реалізації передбачених функцій систему також необхідно доповнити модулями Ethernet-зв'язку та роботи з картами пам'яті, які забезпечуватимуть обмін інформацією й збереження результатів вимірювань.

2.3 Аналіз можливостей периферійних пристроїв

2.3.1 W5100 Ethernet Shield

Для підключення мікроконтролера до локальної мережі передбачено використання плати розширення W5100 Ethernet Shield, яка забезпечує обмін даними через інтерфейс Ethernet. Модуль також оснащений слотом для карт пам'яті microSD, що дозволяє зберігати результати вимірювань та іншу інформацію, отриману під час роботи системи. Зовнішній вигляд плати наведено на рис. 2.14 та 2.15.

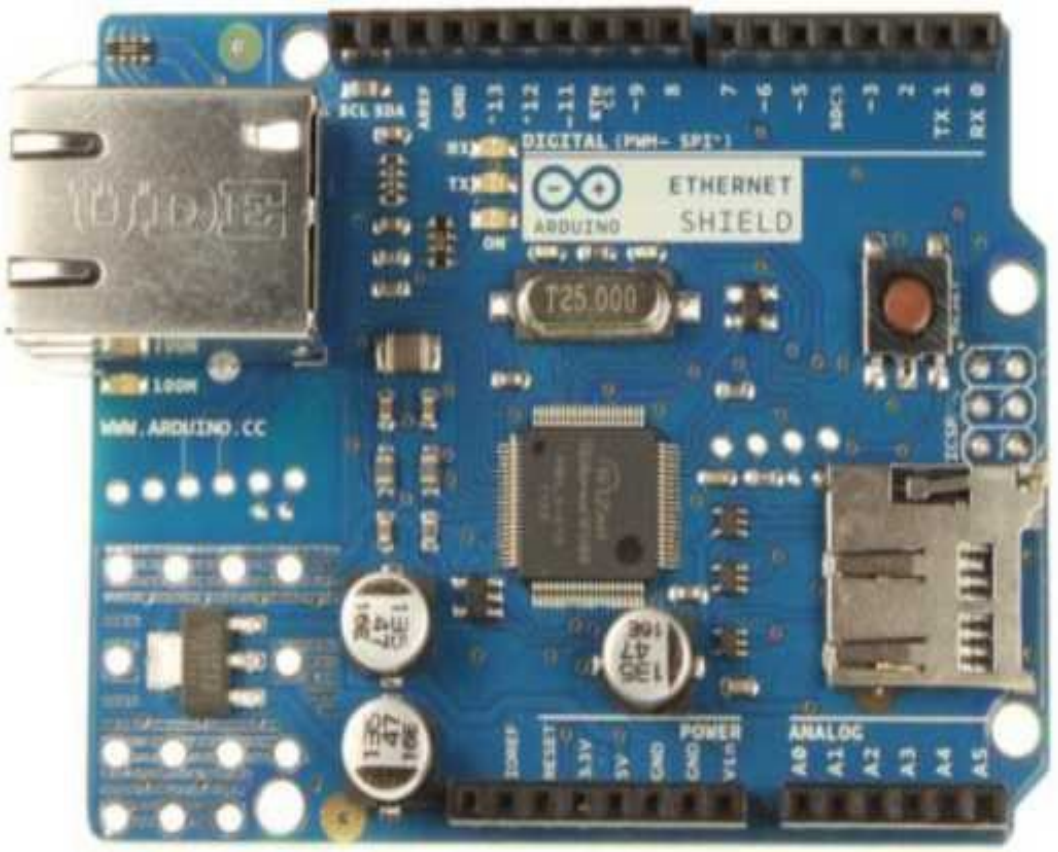


Рисунок 2.14 - Плата розширення W5100 Ethernet Shield вид зверху [16]

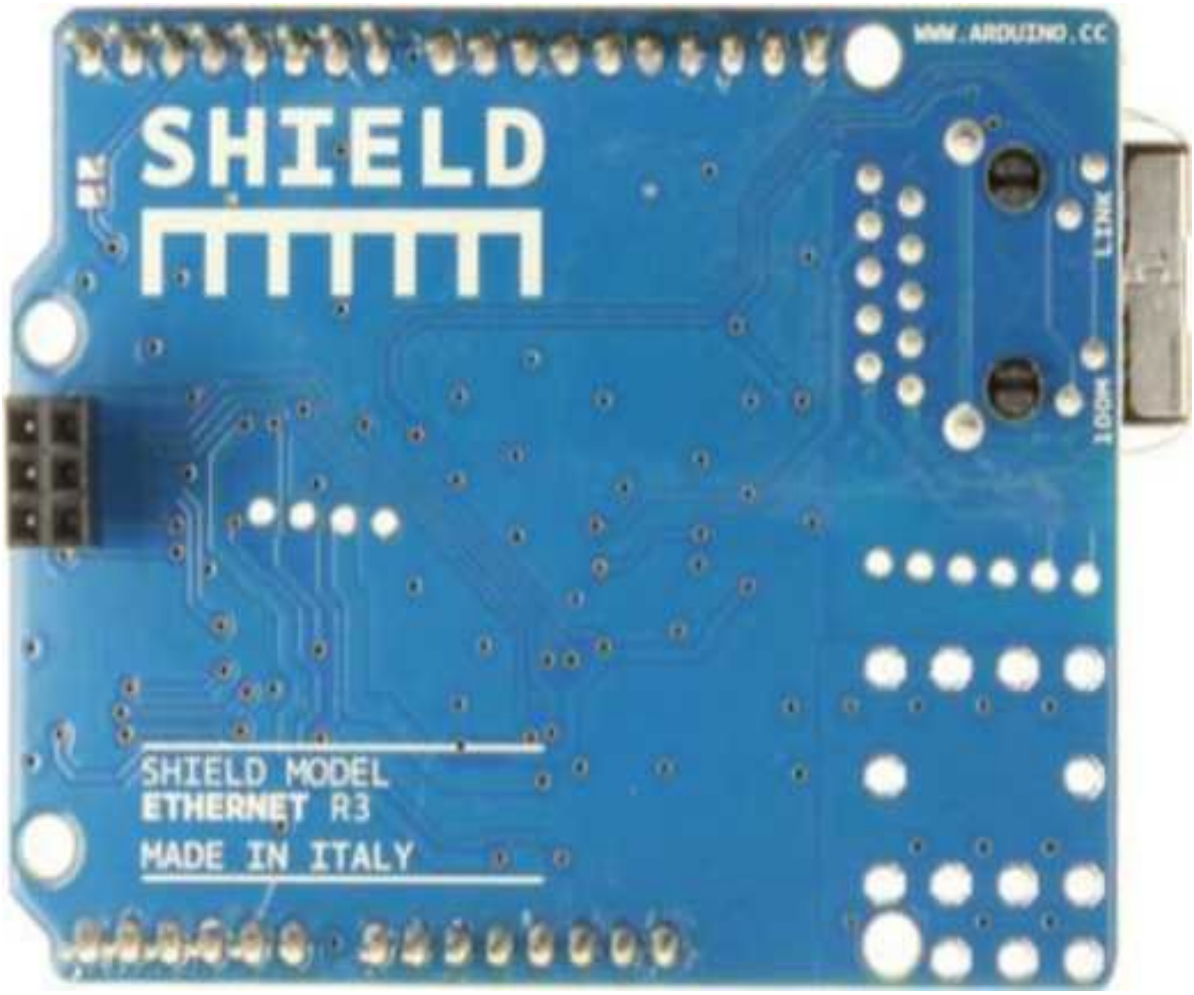


Рисунок 2.15 - Плата розширення W5100 Ethernet Shield вид знизу [16]

Основні технічні характеристики модуля W5100 Ethernet Shield [16]:

- Робоча напруга - 5 В, живлення здійснюється безпосередньо від плати Arduino.
- Ethernet-контролер - W5100 із вбудованою буферною пам'яттю обсягом 16 КБ.
- Швидкість передавання даних через Ethernet - 10/100 Мбіт/с.
- Обмін даними з мікроконтролером Arduino здійснюється через інтерфейс SPI.

Оскільки файли конфігурації та налаштування системи планується зберігати на карті пам'яті SD, необхідно передбачити можливість їх зчитування та запису. Для цього може використовуватися окремий модуль роботи з SD-картами, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 2.16.

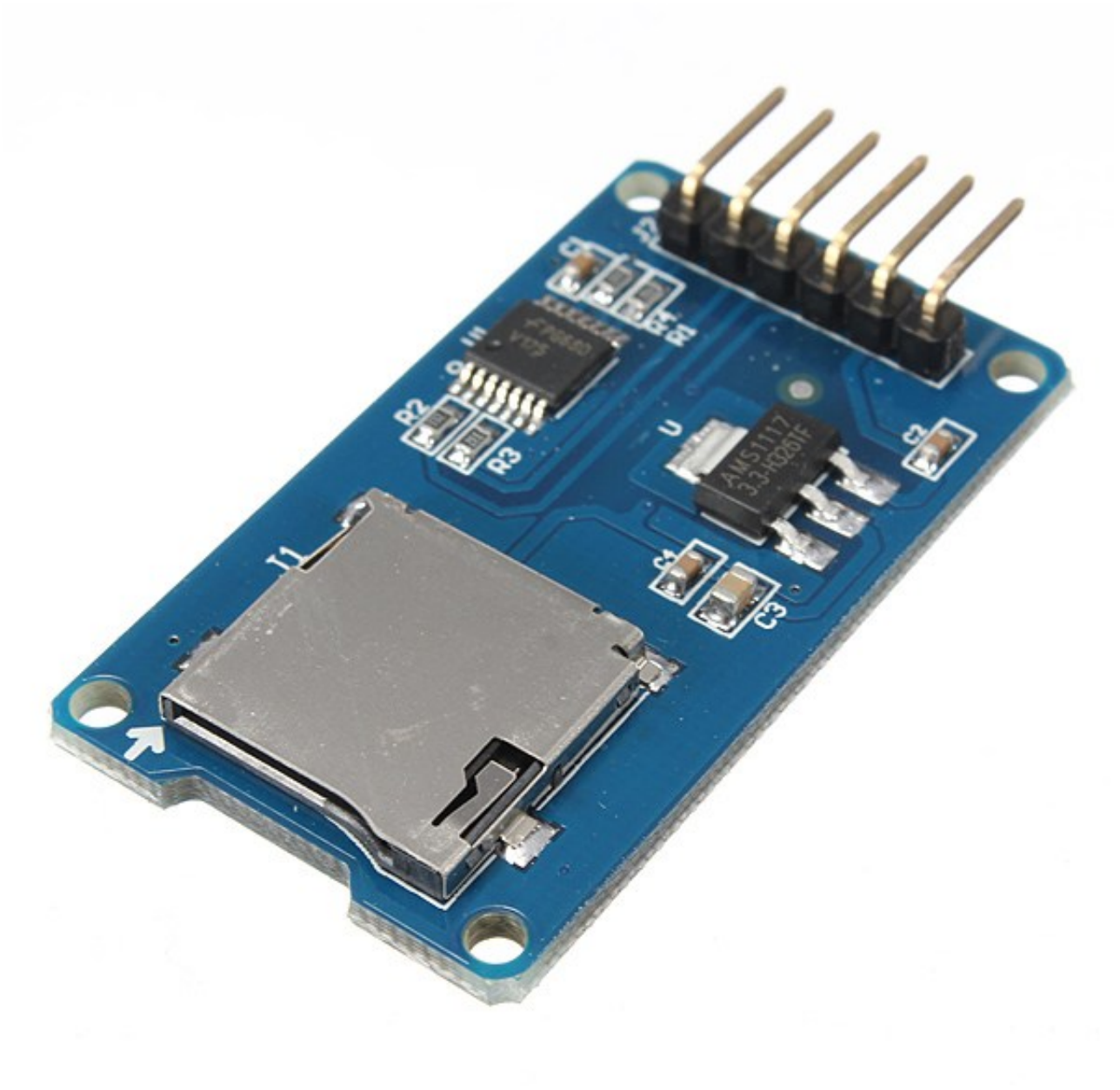


Рисунок 2.16 – SD Card Reader [9]

Обмін даними між мікроконтролером і модулем роботи з картою пам'яті здійснюється через послідовний інтерфейс SPI.

Для комутації електричних кіл у дослідній системі передбачено використання електромагнітного реле з керувальною напругою 5 В. Його контакти розраховані на комутацію навантаження до 10 А за напруги 30 В постійного струму або 250 В змінного струму. Зовнішній вигляд релейного модуля наведено на рис. 2.17 та 2.18.



Рисунок 2.17 – SONGLE SRD-05VDC вид зверху [9]



Рисунок 2.18 – SONGLE SRD-05VDC вид знизу [9]

2.4 Аналіз можливостей датчиків

2.4.1 DS1820/DS18B20/DS18S20

Цифрові датчики температури сімейства DS1820, DS18B20 та DS18S20 призначені для вимірювання температури й передавання отриманих даних до мікроконтролера. Між собою вони відрізняються точністю вимірювань, роздільною здатністю та окремими електричними характеристиками. Водночас усі три моделі використовують інтерфейс 1-Wire і мають аналогічну схему підключення.

Для проведення випробувань розроблюваної системи обрано датчик DS18B20. Його зовнішній вигляд наведено на рис. 2.19, а основні технічні характеристики подано в таблиці 2.8 [17].



Рисунок 2.19 – Датчик DS1820 [17]

Таблиця 2.8 – Характеристики DS1820/DS18B20/DS18S20

Виріб	DS1820	DS18S20	DS18B20
Маркування	DS1820	DS1820	DS18B20
Корпус	PR-35 (подовжений TO-92)	TO-92	TO-92
Розрядність	9-біт	9-біт	9-12біт
Час перетворення	200mS (тип.) 500nS(max)	750nS(max)	750nS(max)
Точність вимірювання ± 0.5% в області температур	0 ,...+70°C	-10 ,...+85°C	-10 ,...+85°C
Напруга живлення для точності вимірювання ± 0.5%	4,3-5 V	3,0-5,5V	3,0-5,5V

Датчики сімейства DHT11, DHT22 та DHT21 призначені для одночасного вимірювання температури й відносної вологості повітря. Основні відмінності між цими моделями полягають у точності вимірювань, робочих діапазонах та особливостях конструктивного виконання. Для проведення випробувань розроблюваної системи обрано датчик DHT22, який забезпечує вищу точність вимірювань порівняно з DHT11. Його зовнішній вигляд наведено на рис. 2.20, а основні технічні характеристики представлено в таблиці 2.9 [18].

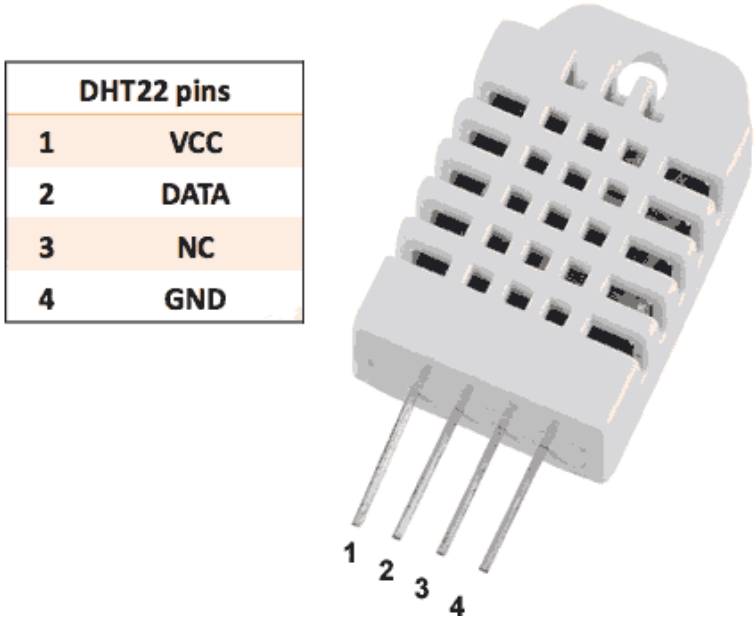


Рисунок 2.20 – Датчик DHT22 [18]

Таблиця 2.9 – Характеристики DHT11/DHT22/DHT21

	DHT11	DHT22	DHT21
Діапазон вимірювання температур	0..60°C, ±2%	-40...+80°C, ±0.5°C	-40...+125°C, ±0.5°C
Діапазон вимірювання вологості	20..90%, ±2%	0-100%, ±2%	0-100%, ±2%
Вага, гр.	1	2.2	11
Округлення результатів	до цілих	до десятих	до десятих
Споживання струму при 5В	0,1	0,14	1,36
Умови використання	в приміщенні	в приміщенні	вулиця

BMP180 - це цифровий датчик тиску та температури. Зовнішній вигляд наведено на рис. 2.21.

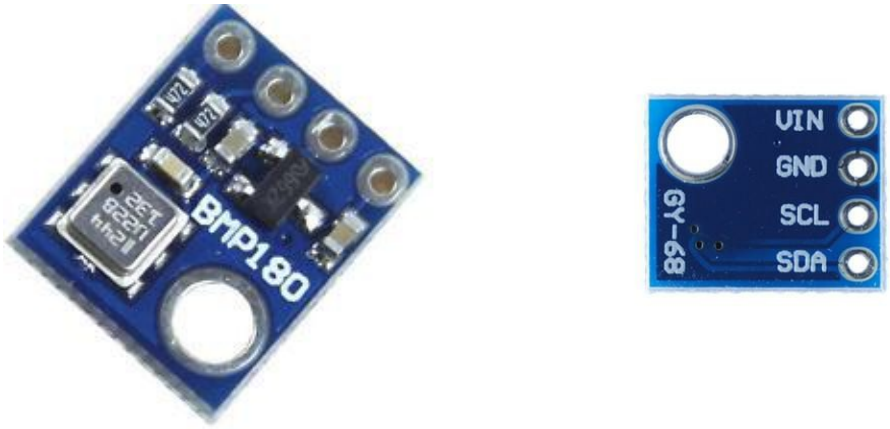


Рисунок 2.21 – Датчик BMP180 [19]

Основні технічні характеристики датчика [19]:

- Діапазон вимірювання атмосферного тиску - від 300 до 1100 гПа, що відповідає приблизному діапазону висот від −500 до 9000 м над рівнем моря.
- Роздільна здатність вимірювання тиску - до 0,03 гПа, що відповідає зміні висоти приблизно на 0,25 м.
- Діапазон вимірювання температури - від −40 до +85 °C.
- Точність вимірювання температури - ±2 °C.

Для визначення рівня освітленості в дослідній системі передбачено використання фоторезистора СФ2-5а, електричний опір якого змінюється залежно від інтенсивності світла. Зовнішній вигляд фоторезистора наведено на рис. 2.22, а його основні технічні характеристики подано в таблиці 2.10 [20].



Рисунок 2.22 – Фоторезистор СФ2-5а

Таблиця 2.10 – Характеристики СФ2-5а

Параметр	Значення
Робоча напруга, В	1,3
Максимальна напруга, В	10
Загальний струм при освітленості 1 лк, мкА	5,0…50
Загальний струм при освітленості 200 лк, мкА, не менше	500

2.5 Схема тестового стенду

Для тестування роботи системи був створений тестовий стенд рис. 2.23.

Під час тестування буди використані наступні компоненти:

- Arduino Mega 2560
- W5100 Ethernet Shield
- SD Card Reader

- BMP180
- DHT22 (2 шт.)
- DS18B20
- Світлодіоди (5 шт)
- Резистори (4.7 кОм)
- Фоторезистор (2 шт.)

Схема підключення наведена на рис. 2.25.

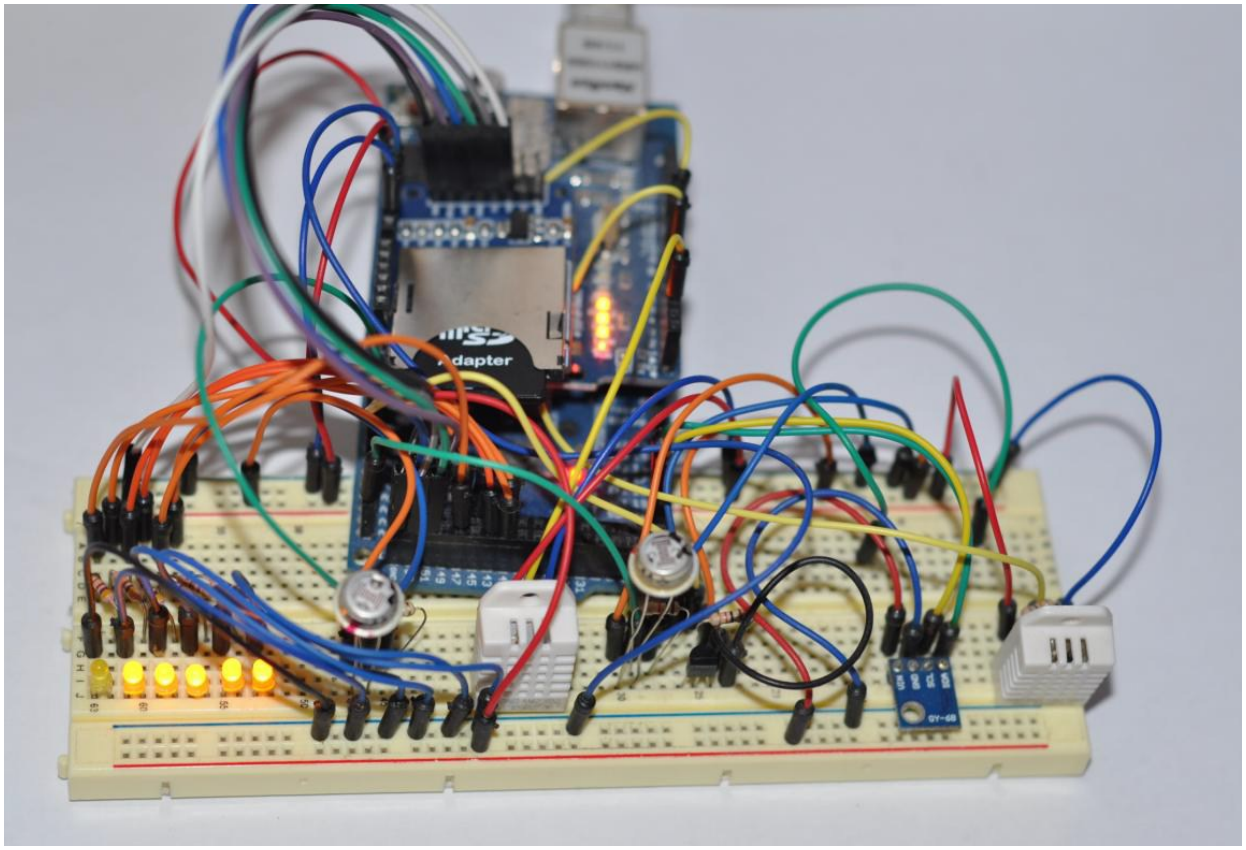


Рисунок 2.23 – Тестовий стенд

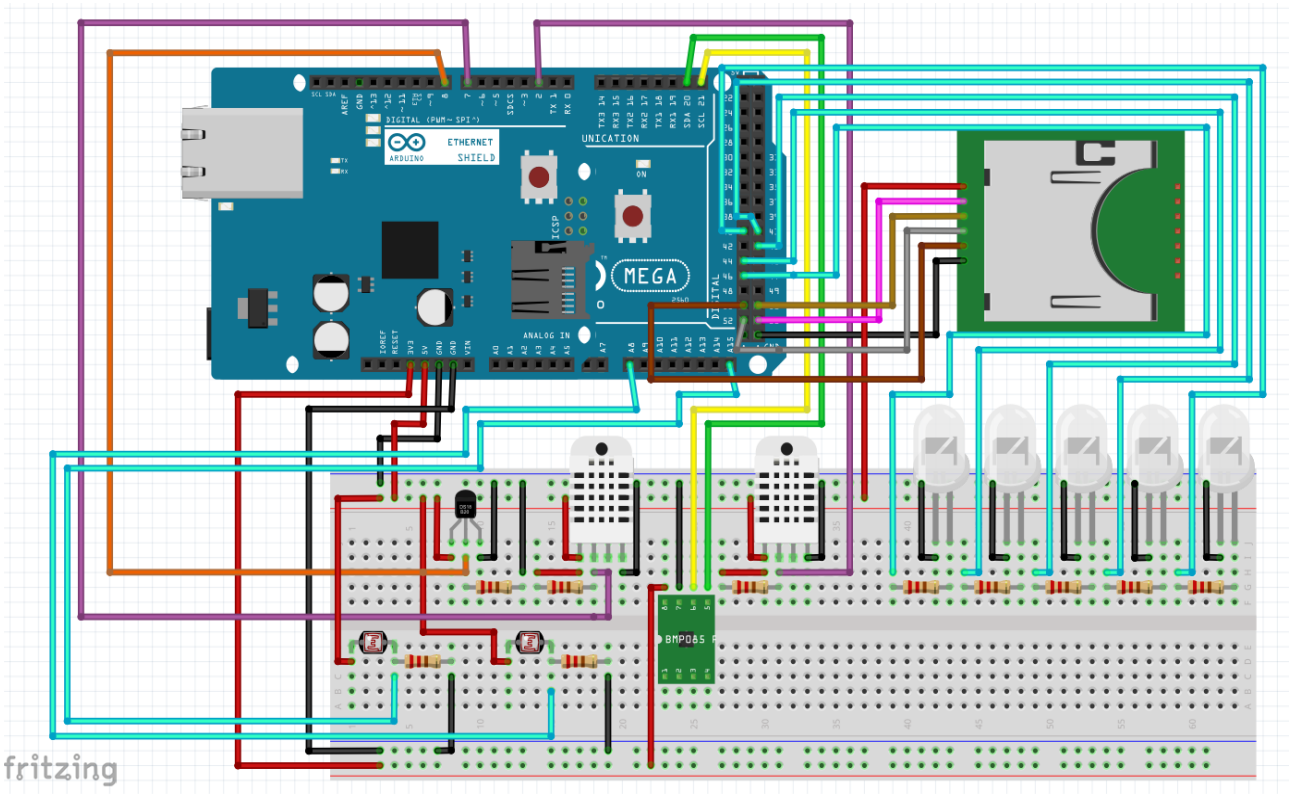


Рисунок 2.24 – Схема підключення

Підключення електронних компонентів дослідної системи до плати Arduino Mega 2560 здійснюється відповідно до призначення цифрових, аналогових та комунікаційних контактів мікроконтролера.

Модуль W5100 Ethernet Shield встановлюється безпосередньо на плату Arduino Mega 2560 через стандартні роз'єми розширення.

Окремий модуль SD Card Reader підключається за такою схемою:

- VCC - до контакту живлення 5 В за умови підтримки такої напруги модулем;
- CS - до цифрового контакту D49;
- MOSI - до цифрового контакту D51;
- SCK - до цифрового контакту D52;
- MISO - до цифрового контакту D50;
- GND - до контакту загального проводу GND.

Датчики температури та вологості DHT22 підключаються до цифрових контактів D2 і D7. Для отримання показників температури від датчика DS18B20 використовується цифровий контакт D8.

Барометричний датчик BMP180 підключається через інтерфейс I²C за такою схемою:

- VIN - до контакту живлення 3,3 В;
- GND - до контакту GND;
- SCL - до цифрового контакту D21;
- SDA - до цифрового контакту D20.

Фоторезистори підключаються до аналогових входів A8 та A15, що дозволяє отримувати сигнали, пропорційні зміні їхнього електричного опору, за умови використання відповідних вимірювальних кіл.

Для світлової індикації станів системи передбачено використання світлодіодів, підключених до цифрових контактів D40, D41, D43, D44 та D46 через струмообмежувальні резистори.

У разі застосування релейних модулів їх підключення здійснюється таким чином:

- GND - до загального проводу GND;
- VCC - до контакту живлення 5 В;
- IN - до відповідного цифрового виходу мікроконтролера.

Така схема забезпечує підключення датчиків, засобів індикації та виконавчих модулів до Arduino Mega 2560 для проведення лабораторних випробувань розроблюваної системи.

2.6 Методи автоматизації функціонування системи управління гальмами

Як було встановлено в першому розділі, рухомий склад метрополітену оснащується електродинамічною, зокрема реостатною, та пневматичною гальмівними системами. Для забезпечення точного зупинення поїзда на станції необхідно враховувати його поточну швидкість, пройдений шлях і зміну умов

руху під час гальмування. З цією метою запропоновано систему, яка передбачає розміщення вздовж ділянки наближення до платформи послідовності датчиків для визначення положення поїзда. Мікроконтролер Arduino реєструє часові інтервали між їх спрацюваннями та використовує отримані дані для формування широтно-імпульсного сигналу, що в дослідному макеті імітує керування інтенсивністю електродинамічного гальмування.

Регулювання гальмівного зусилля здійснюється шляхом зміни коефіцієнта заповнення ШІМ-сигналу відповідно до часу проходження окремої ділянки. Для цього використовується шкала значень від 0 до 255, де нуль відповідає мінімальному керувальному впливу, а 255 - максимальному. Наприклад, якщо на сьомій секції зафіксовано час проходження 1120 мс, керувальному сигналу присвоюється значення 60. Якщо поїзд проходить ту саму секцію за 480 мс, значення збільшується до 100, оскільки менший часовий інтервал свідчить про вищу швидкість руху. Таким чином, система змінює команду гальмування залежно від відхилення фактичного режиму руху від заданого.

На ділянці наближення до станції передбачається встановлення 15 датчиків положення. Для кожної контрольної секції визначено п'ять рівнів ШІМ-регулювання, що в межах запропонованого алгоритму утворює 75 можливих комбінацій положення поїзда та керувального впливу. Для підвищення надійності вимірювань передбачено дублювання датчиків. Якщо один із них виходить із ладу або пошкоджується його електричне з'єднання, інформація може надходити від другого датчика за умови його справності.

Окремо розглянуто ситуацію, коли обидва датчики певної секції не формують сигналу або не спрацьовує відповідний світловий елемент на станції. У такому випадку мікроконтролер не отримує підтвердження проходження контрольної точки, а відлік часу продовжується. Після перевищення встановленого часового обмеження алгоритм дослідного макета передбачає коригування значення ШІМ та збільшення лічильника пройдених секцій на одиницю. Такий підхід дозволяє дослідити реакцію системи на втрату окремого

вимірювального сигналу. Водночас різка зміна керувального впливу може спричинити коливання гальмівного зусилля, які пасажири сприйматимуть як поштовх. Тому для практичного застосування необхідно передбачити обмеження швидкості зміни гальмівної сили та незалежний контроль справності датчиків. Втрата достовірної інформації про положення поїзда не повинна компенсуватися лише розрахунковим збільшенням лічильника секцій.

Після проходження останнього, п'ятнадцятого датчика система переходить до завершального етапу гальмування. У запропонованому алгоритмі передбачено формування команди на застосування пневматичних гальм. Для перевірки точності зупинення використовується світлова смуга, розташована в зоні заданого положення поїзда. Її наявність визначається фоторезистором, сигнал якого обробляється мікроконтролером. Якщо протягом установленого часу необхідний сигнал не надходить, система реєструє відхилення від заданого місця зупинки. Відповідна інформація виводиться на світлодіодний індикатор і передається через послідовний COM-порт для подальшого аналізу.

У дослідній моделі правильність зупинення визначається за перевищенням сигналом фоторезистора порогового значення 600 одиниць аналогово-цифрового перетворювача протягом заданого проміжку часу. За виконання цієї умови формується повідомлення про досягнення контрольного положення, яке відповідає суміщенню дверей поїзда з платформними дверима. Якщо поїзд проходить світлову смугу без належного зупинення, система також фіксує помилку та передає відповідний сигнал на індикатор і в COM-порт.

У випадку неточного зупинення передбачено використання додаткового світлового орієнтира, за яким машиніст може визначити необхідність коригування положення поїзда. У реальних умовах таке коригування допускається лише відповідно до встановленого порядку експлуатації та за наявності підтвердження безпечності маневру. Особливо важливо забезпечити точне суміщення дверних прорізів, оскільки навіть невелике відхилення може ускладнити посадку й висадку пасажирів. Як один із конструктивних варіантів

компенсації можливих відхилень у розташуванні дверей може розглядатися додаткова секція платформного огородження, однак її доцільність потребує окремого технічного обґрунтування.

Після підтвердження правильного положення поїзда мікроконтролер Arduino формує сигнал на електромагнітне реле, яке в дослідному макеті вмикає світловий індикатор. Оптичний датчик, розташований на макеті станції, реєструє цей сигнал і передає інформацію до схеми керування платформними дверима. У межах лабораторного алгоритму передбачено, що двері залишаються відчиненими за наявності відповідного оптичного сигналу та зачиняються після його зникнення або вимкнення індикатора оператором. Для реальної системи така логіка потребує додаткових незалежних перевірок повної зупинки поїзда, дозволу на відчинення дверей і відсутності перешкод у дверному прорізі.

Після подавання команди на відчинення дверей світловий індикатор залишається активним протягом 10 секунд. У цей період оператор може натиснути кнопку продовження часу відкритого стану дверей, якщо для посадки або висадки пасажирів потрібен додатковий час. Після відпускання кнопки та завершення відповідного циклу мікроконтролер виконує скидання робочих змінних алгоритму. За проєктним задумом через 10 мс система переходить у стан готовності до наступного циклу вимірювань, який розпочинається після спрацювання першого датчика на наступній контрольній ділянці.

2.7 Розробка апаратної частини та її макет

На етапі розробки було визначено основні апаратні компоненти, необхідні для перевірки працездатності запропонованої системи керування гальмуванням. Для проведення експериментальних досліджень прийнято рішення створити фізичний макет, який дозволяє відтворити основні принципи

роботи системи, перевірити взаємодію електронних компонентів і налагодити програмне забезпечення. Для його виготовлення використано такі елементи.

Arduino Uno виконує функцію центрального контролера макета. Плата забезпечує обробку сигналів від датчиків, виконання алгоритму керування та формування сигналів для виконавчих пристроїв.

Електромагнітне реле використовується для керування оптичною частиною системи. Після надходження керувального сигналу з цифрового виходу Arduino контакти реле замикаються та подають живлення на оптичний модуль. Таким чином, на макеті реалізовано сигнальну взаємодію між поїздом і станцією, необхідну для імітації відчинення платформних дверей після підтвердження правильного положення поїзда.

Резистори застосовуються для формування вимірювальних кіл та обмеження струму в електронних компонентах. Резистори номіналом 10 кОм разом із фоторезисторами утворюють подільники напруги, які дозволяють отримувати аналоговий сигнал залежно від рівня освітленості. Резистори опором 47 Ом використовуються в колах живлення білої світлодіодної стрічки, що імітує 15 джерел світла станції (ДСС). Для обмеження струму через зелені світлодіодні індикатори стану системи передбачено резистори номіналом 180 Ом.

Фоторезистори встановлюються попарно для підвищення надійності визначення положення поїзда. Вони використовуються для контролю потрапляння рухомого складу в задану зону зупинки на станції.

Інфрачервоні датчики світла (ІЧДС) також розміщуються парами та дублюють один одного. Їхнім основним завданням є реєстрація проходження контрольних світлових міток уздовж станційної ділянки. У макеті роль таких міток виконують окремі ділянки світлодіодної стрічки.

Транзистори застосовуються як електронні ключі, що керують проходженням струму залежно від сигналу, поданого з цифрового виходу Arduino. Вони забезпечують роботу світлодіодних індикаторів і дозволяють відтворити керування зовнішніми електричними колами. У конструкції

використовуються транзисторні збірки, керувальні входи яких можуть підключатися до виходів Arduino Uno з підтримкою ШІМ - D3, D5, D6, D9, D10 та D11. Вихідна частина відповідного кола з'єднується з проводом № 6 макета рухомого складу. Таке рішення призначене для перевірки алгоритму керування на лабораторному обладнанні.

Світлодіоди розміщуються групами по три на коротких відрізках світлодіодної стрічки та використовуються для індикації стану системи. Окрім цього, світлодіодна стрічка відтворює контрольні світлові мітки станції, за якими інфрачервоні датчики визначають проходження поїздом окремих ділянок колії.

Під час виготовлення макета точний масштаб і пропорційне співвідношення розмірів конструктивних елементів не дотримувалися, оскільки основною метою було дослідження принципів роботи електронної системи та перевірка алгоритмів керування, а не відтворення геометричних параметрів реального рухомого складу й станційної інфраструктури.

2.8 Розробка програмної частини

Розробка та налагодження програмного забезпечення мікроконтролера проводилися безпосередньо на фізичному макеті, що дозволило перевірити працездатність системи та правильність взаємодії її основних компонентів. Для написання й завантаження програмного коду використовувалося середовище Arduino IDE версії 1.8.5 від 29 вересня 2017 року. Плата Arduino підключалася до персонального комп'ютера через інтерфейс USB 3.0 з використанням віртуального послідовного порту COM3.

Під час розробки програмного забезпечення використовувалися основні функціональні можливості платформи Arduino. Зокрема, здійснювалося зчитування аналогових сигналів із подальшим перетворенням їх у цифрові значення за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Також реалізовано приймання та обробку цифрових сигналів від датчиків і

формування керувальних сигналів на виходах мікроконтролера. Для моделювання регулювання інтенсивності електродинамічного гальмування застосовувалася широтно-імпульсна модуляція. ШІМ-сигнали формувалися на цифрових контактах D10 і D11 з можливістю програмної зміни коефіцієнта заповнення імпульсів.

Для визначення часових інтервалів між проходженням контрольних секцій використовувалися можливості системи апаратних таймерів мікроконтролера Arduino Uno, яка включає три таймери. З метою зменшення затримки обробки зовнішніх сигналів цифровий датчик світла було підключено до контакту, що підтримує апаратні переривання. Такий підхід дозволяє мікроконтролеру оперативно реагувати на зміну стану датчика без необхідності постійного програмного опитування відповідного входу. Під час виникнення переривання виконання основної програми тимчасово призупиняється, після чого запускається спеціальна процедура обробки сигналу.

Використання переривань дозволило скоротити час реакції системи порівняно з послідовним опитуванням цифрових входів. За результатами попередніх випробувань було відзначено підвищення швидкодії в десятки разів, що створює можливість реєструвати сигнали з інтервалами близько 1 мс і менше за відповідної організації програмного коду. Для вимірювання часу між спрацюваннями датчиків застосовувалася функція millis(), яка повертає кількість мілісекунд від моменту запуску програми. За потреби точнішого визначення часових інтервалів можуть використовуватися функція micros() або безпосередня робота з апаратними таймерами мікроконтролера.

2.9 Розрахунок БЖСП

Для забезпечення роботи розроблюваної системи необхідно передбачити її підключення до електричної мережі рухомого складу Київського метрополітену. Плата Arduino Uno може отримувати живлення від зовнішнього джерела напругою 7–12 В через відповідний роз'єм, при цьому для дослідного

макета доцільно використовувати джерело постійної напруги 12 В. Такий вибір пов'язаний із тим, що світлодіодні індикатори та джерела світла, призначені для взаємодії з датчиками станції, також розраховані на живлення напругою 12 В. Це дозволяє організувати електроживлення компонентів від спільного джерела з використанням необхідних кіл стабілізації та розподілу напруги.

На вагонах метрополітену встановлюються блоки живлення власних потреб (БЖВП), які можуть забезпечувати вихідну змінну напругу 220 В. Для живлення розробленої електронної системи від такої мережі необхідно застосувати перетворювач напруги з 220 В змінного струму на 12 В постійного. Для лабораторного макета може використовуватися стабілізований блок живлення, призначений для світлодіодних стрічок, за умови відповідності його вихідної потужності та електричних характеристик сумарному навантаженню системи. Це забезпечить необхідну напругу живлення мікроконтролера, світлових елементів та допоміжного обладнання.

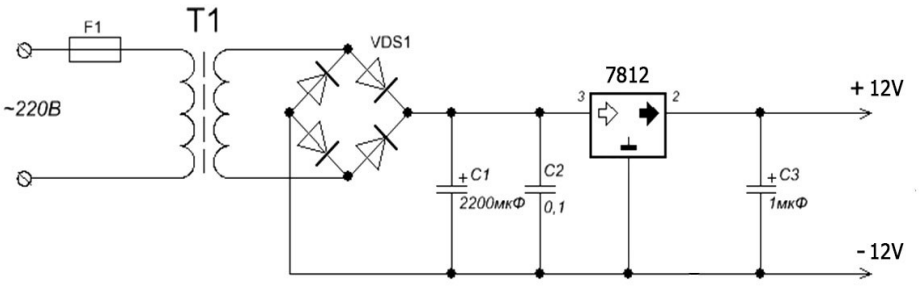


Рис. 2.25 Схема електрична принципова БЖ ~220 В - 12 В

Під час вибору стабілізованого блока живлення постійного струму (БЖСП) необхідно враховувати сумарну потужність усіх підключених компонентів системи. Для забезпечення стабільної роботи обладнання до розрахованого значення доцільно додати запас потужності в межах 5–10 %. Це дозволить уникнути постійної роботи блока живлення на межі його

номінальних можливостей, зменшити теплове навантаження та підвищити надійність і тривалість експлуатації пристрою.

Для підвищення відмовостійкості системи також передбачено резервування електроживлення шляхом встановлення двох БЖСП. У разі несправності основного блока резервне джерело повинно забезпечувати живлення всіх необхідних компонентів до моменту усунення несправності або заміни обладнання. Для реалізації такого рішення необхідно передбачити автоматичне перемикання між джерелами живлення.

Визначимо необхідну потужність БЖСП. Для цього розрахуємо споживану потужність кожного компонента:

- Arduino UNO - до 50мА під навантаженням. 50мА х 12 В = 0.6 Вт
- Індикатори системи - 1 Вт х6 = 6 Вт
- Реле - 3мА в режимі очікування, 70мА при спрацьовуванні = 0.35 Вт, або використати MOSFET транзистори IRF740
- Модулі датчиків - до 2 Вт

Джерело світла на датчик відкриття дверей станції - матриця світлодіодних стрічок відрізками по 2.4 метри в кількості 4х шт. Споживають 14.4 Вт\метр при напрузі в 12 В. (2,4*4)*14,4 = 138.24 Вт

Так як джерел світла буде два, на кожен бік головного вагону, то

138.24*2 = 276,48 Вт

Таким чином, загальне споживання системи в момент спрацьовування джерел світла складає: 285,43 Вт.

При напрузі в 12 В, мінімально необхідний БЖ зі струмовіддачею в 23,8 А. 285,43 (Вт)/12 (В) = 23,7858 А

Так як необхідно дотриматись запасу потужності, додамо до результату споживання 10%. 285,43/100*10 = 28, 543 Вт.

Отже 285,43+28,543 = 313,973 Вт з урахуванням запасу потужності.

Тобто, для нормальної роботи БЖСП, необхідно використовувати БЖ потужність якого не менше 300 Вт.

Максимальне навантаження на БЖСП буде здійснюватись лише на короткий термін, в момент ввімкнення джерел світла для датчиків станції для відчинення дверей, тобто лише за час посадки/висадки пасажирів, тому запасу в 10% буде достатньо.



Рис. 2.26 БЖ потужністю 350 Вт (12 В, 29 А)

Так як для підвищення надійності системи, таких БЖ буде 2, то необхідно з'єднати їх паралельно, таким чином при виході з ладу одного з БЖ його замістить інший, а при одночасній їх роботі, максимальний струм складе 25*2 = 50А, при напрузі 12 В, без її просаджування. Тобто навантаження розподілятиметься одразу на два БЖ, що ще більше підвищить термін їх експлуатації.

2.10 Інтегрування та додаткові вимоги.

Інтеграція розроблюваної системи в інфраструктуру метрополітену передбачає розміщення її основних електронних компонентів на головних вагонах рухомого складу та встановлення допоміжного обладнання на станціях. Плату Arduino планується розташувати всередині головного вагона із застосуванням вібропоглинальних прокладок, які зменшуватимуть вплив механічних коливань під час руху поїзда. З обох боків вагона передбачено встановлення по чотири датчики, з яких два є аналоговими, а

два - цифровими. Крім того, з кожного боку розміщуватимуться по дві матриці світлових джерел, призначених для передавання оптичних сигналів між поїздом і станційним обладнанням.

Для взаємодії машиніста із системою на пульті керування передбачається розміщення додаткових органів керування та індикації. До них належать перемикач увімкнення й вимкнення системи, кнопка з фіксацією для продовження часу перебування платформних дверей у відчиненому стані, а також світлові індикатори, які відображатимуть поточний режим роботи та справність обладнання.

У запропонованій структурі керувальний ШІМ-сигнал, сформований мікроконтролером, надходить до транзисторного каскаду, який забезпечує узгодження рівнів сигналу та керування наступним силовим елементом. Далі сигнал передається на тиристорну збірку, що в межах дослідної моделі імітує перемикання силових ключів гальмівних резисторів. Передбачається, що штатна система керування гальмуванням зберігатиме свою функціональність, а машиніст матиме можливість здійснювати керування поїздом у звичайному режимі. Водночас практичне підключення додаткового контролера до силових кіл рухомого складу потребує окремого технічного обґрунтування та перевірки сумісності зі штатними засобами захисту.

Для моделювання керування пневматичною складовою гальмівної системи розглядається використання електромагнітного реле або транзисторного ключа на основі MOSFET IRF740. У лабораторному макеті ці елементи відтворюють подавання команди на відповідний виконавчий пристрій. При цьому безпосереднє паралельне підключення до штатної кнопки керування пневматичними гальмами не може розглядатися як готове рішення для експлуатації без перевірки алгоритмів безпеки, електричної сумісності та пріоритету команд машиніста.

На станціях передбачається встановлення платформних огороджувальних конструкцій, оснащених оптичними датчиками. Після

реєстрації відповідного світлового сигналу від поїзда інформація надходить до схеми керування, яка в дослідному макеті за допомогою реле або транзисторних ключів імітує активацію механізму відчинення платформних дверей. Для реальної системи дозвіл на відчинення повинен додатково залежати від підтвердження повної зупинки поїзда, правильності його положення та виконання інших необхідних умов безпеки.

З боку тунелю також передбачається встановлення пристроїв ручного керування дверима станції. Їхнє призначення полягає в забезпеченні можливості аварійного виходу людей із відгородженої зони відповідно до встановленого порядку експлуатації та евакуації. Такі пристрої повинні працювати незалежно від основного алгоритму автоматичного керування в межах передбачених режимів безпеки.

Розміщення контрольних джерел світла станції (ДСС) визначається конструктивними особливостями станційної ділянки. Зокрема, ДСС № 6–15 планується встановити на платформних огороджувальних конструкціях із відстанню 10 м між сусідніми джерелами. Перші п'ять джерел світла, ДСС № 1–5, розташовуватимуться в тунелі перед в'їздом поїзда на станцію. Такий розподіл дозволяє розпочинати контроль проходження поїздом заданих ділянок ще до його прибуття до платформи.

Для зменшення ймовірності помилкових спрацювань необхідно враховувати взаємне розташування джерел світла та приймальних датчиків. Зокрема, конструкція тунельних світлових елементів повинна забезпечувати спрямоване потрапляння випромінювання на відповідні датчики поїзда лише в межах визначеної зони реєстрації. Огороджувальні конструкції станції на висоті розташування датчиків рухомого складу передбачається виконати з непрозорою поверхнею. Додатково приймальні датчики оснащуватимуться конусоподібними світлозахисними кожухами, які обмежуватимуть вплив стороннього освітлення та підвищуватимуть вибірковість реєстрації контрольних світлових сигналів.

Висновки до розділу 2

У другому розділі проведено аналіз апаратних засобів для реалізації комп’ютерно-інтегрованої системи керування гальмуванням поїздів метрополітену. За результатами порівняння мікроконтролерів і мікрокомп’ютерів для дослідного стенду обрано Arduino Mega 2560. Розглянуто характеристики датчиків, модулів зв’язку та інших периферійних пристроїв, а також розроблено схему їх підключення.

Для перевірки запропонованих рішень створено лабораторний макет на базі Arduino Uno. Розроблено алгоритм регулювання інтенсивності гальмування за часовими інтервалами проходження 15 контрольних ділянок із п’ятьма режимами керування для кожної. Також передбачено дублювання датчиків, контроль точності зупинення та формування сигналів для керування платформними дверима.

Виконано розрахунок електроживлення системи, за яким необхідна потужність з урахуванням 10 % запасу становить 313,97 Вт. Отримані результати стали основою для подальшої програмної реалізації та експериментального дослідження алгоритмів керування гальмуванням.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯМ ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

3.1 Налаштування програмного забезпечення

Налаштування системи є важливим етапом, від якого залежить точність її роботи з урахуванням особливостей конкретного рухомого складу метрополітену. Гальмівні характеристики поїздів можуть відрізнятися залежно від типу вагонів, їхнього технічного стану, маси та умов експлуатації. Крім того, на процес гальмування впливають поздовжній профіль колії, наявність ухилів і встановлені обмеження швидкості на окремих ділянках лінії. Тому для забезпечення необхідної точності зупинення програмне забезпечення системи потребує налаштування з урахуванням зазначених параметрів.

На початковому етапі програмний код завантажується до мікроконтролера Arduino, який використовується в дослідній системі СПБПМП. Наступним кроком передбачено проведення випробувань для визначення часових характеристик проходження поїздом контрольних ділянок. За запропонованою методикою такі випробування мають виконуватися за відсутності пасажирського навантаження, зі штатним керуванням гальмуванням машиністом та за наявності попередньо встановлених джерел світла станції (ДСС). Проведення подібних випробувань на реальному рухомому складі можливе лише за погодженою програмою та з дотриманням установлених вимог безпеки.

Під час налаштування мікроконтролер підключається до персонального комп'ютера через інтерфейс USB. Для спостереження за роботою системи використовується монітор послідовного порту середовища Arduino IDE, через який здійснюється передавання результатів вимірювань. Зокрема, реєструється час проходження кожної контрольної секції, визначеної розташуванням ДСС уздовж станційної ділянки. Отримані значення дозволяють оцінити характер

зміни швидкості під час гальмування та сформувати початкові параметри алгоритму регулювання гальмівного зусилля.

Для перевірки запропонованого підходу було проведено серію експериментів на розробленому лабораторному макеті. У процесі випробувань зафіксовано часові інтервали між спрацюваннями датчиків, які надалі можуть використовуватися для аналізу роботи алгоритму та коригування керувальних параметрів. За результатами проведених досліджень отримано такі дані:

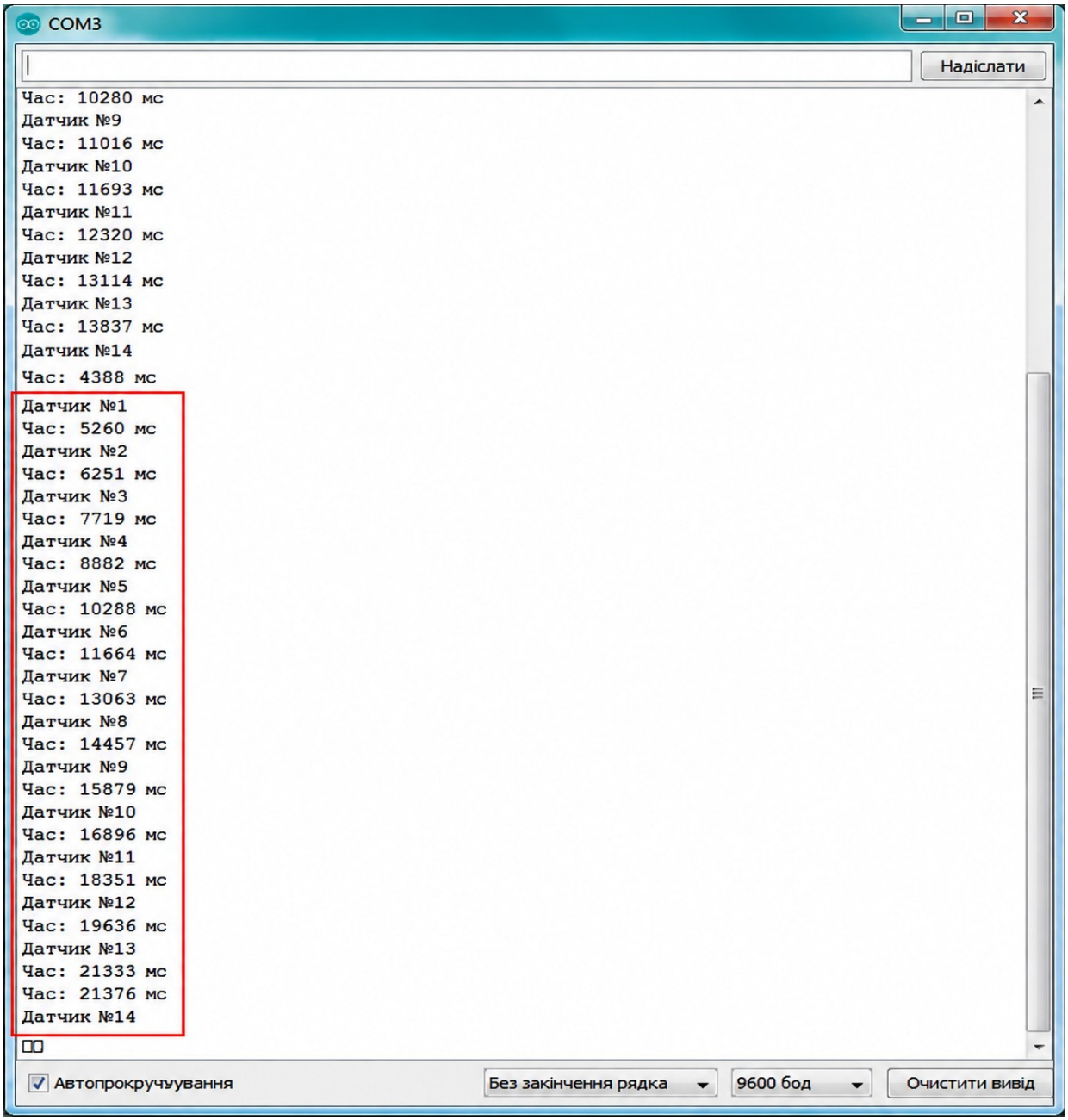


Рисунок 3.1 - Отримана інформація з макету

Отримані під час калібрувальних випробувань дані обробляються в електронній таблиці Microsoft Excel «Налаштування програмного забезпечення». На основі виконаних розрахунків визначаються параметри, які надалі вносяться до програмного коду системи СПБПМП з урахуванням характеристик конкретного рухомого складу. Якщо на одній лінії метрополітену експлуатуються однотипні поїзди з однаковими характеристиками гальмування та параметрами гальмівної шкали (ГШ), результати початкового калібрування можуть використовуватися як базові для налаштування інших поїздів цієї серії. При цьому необхідно враховувати можливі відмінності технічного стану окремих одиниць рухомого складу.

Після завершення калібрувального заїзду отримані результати вносяться до діапазону комірок B24–B38 електронної таблиці. У комірках C24–C38 автоматично обчислюються часові інтервали проходження поїздом ділянок між сусідніми джерелами світла станції (ДСС). Розраховані значення використовуються для заповнення основної таблиці в діапазоні B3–F17, де формуються параметри гальмування для різних варіантів завантаження рухомого складу.

Після автоматичного оновлення розрахунків у стовпцях K та N відображаються значення, які необхідно перенести до відповідного блоку налаштувань програмного коду. Кожен параметр пов'язаний із конкретним ДСС та одним із п'яти передбачених режимів гальмування на відповідній ділянці. Наприклад, у процесі налаштування можуть бути отримані значення b2 = 849 та b22 = 991. Ці параметри визначають часові межі, за якими алгоритм обирає значення змінної value, що використовується для регулювання коефіцієнта заповнення ШІМ-сигналу під час моделювання реостатного гальмування.

Для наочного аналізу результатів праворуч від стовпців K та N розміщено три діаграми. Перша відображає статичну характеристику гальмування в режимі автоматичного коригування, коли система отримує

сигнал лише від першого ДСС. Друга діаграма показує динамічну характеристику, сформовану за результатами калібрувального проходження контрольних ділянок. Третя також відображає динамічну характеристику, проте її вигляд визначається поточним значенням змінної value.

Додатково в електронній таблиці передбачено стовпець Q, у якому наведено розрахункові значення змінної value для відповідного режиму керування ІГ. Якщо під час калібрувального заїзду поїзд зупинився в заданому положенні, але друга та третя діаграми мають суттєві розбіжності, необхідно скоригувати параметри value відповідно до значень стовпця Q. Метою такого налаштування є наближення розрахункової характеристики гальмування до експериментально отриманої.

Стовпець R містить параметри автоматичного коригування змінної value, які передбачено використовувати у випадку пропуску одного або декількох сигналів ДСС через несправність датчиків чи порушення передавання інформації від обладнання поїзда. У дослідному алгоритмі ці значення дозволяють моделювати поведінку системи за неповних вимірювальних даних та оцінювати її реакцію на відмови окремих елементів. Водночас для практичного застосування на рухомому складі втрата достовірної інформації про положення поїзда повинна супроводжуватися переходом до визначеного безпечного режиму, а не лише автоматичною зміною інтенсивності гальмування.

	A	B	C	D	E	F
1	Датчик	АВТООБЧИСЛЕННЯ				
2		Конвертація в ms для Arduino				
3	1	0	0	0	0	0
4	2	991	849	708	566	425
5	3	1468	1258	1049	839	629
6	4	1163	997	831	665	498
7	5	1406	1205	1004	803	603
8	6	1376	1179	983	786	590
9	7	1399	1199	999	799	600
10	8	1394	1195	996	797	597
11	9	1422	1219	1016	813	609
12	10	1017	872	726	581	436
13	11	1455	1247	1039	831	624
14	12	1285	1101	918	734	551
15	13	1740	1491	1243	994	746
16	14	2170	1860	1550	1240	930
17	15	2906	2491	2076	1661	1245
18		3321				
19	всього, мс	21192	18164	15137	12110	9083
20		0%	14,287%	28,5699%	42,855%	57,141%

Рисунок 3.2 - Таблиця з обрахованими часовими діапазонами.

22			
23		ВВІД ДАНИХ, ОТРИМАНИХ З КАЛІБРУЮЧИХ ЗАЇЗДІВ	
24	1	5260	0
25	2	6251	991
26	3	7719	1468
27	4	8882	1163
28	5	10288	1406
29	6	11664	1376
30	7	13063	1399
31	8	14457	1394
32	9	15879	1422
33	10	16896	1017
34	11	18351	1455
35	12	19636	1285
36	13	21376	1740
37	14	23546	2170
38	15	26452	2906
39			

Рисунок 3.3 - Поле для вводу отриманої інформації з заїзду

H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Датчик	Позиція	Timer <	Від	Діапазон	Timer >=	До	Позиція		value	
1	1	Timer <	0	&&	Timer >=	0	11		0	
a	2	Timer <	0	&&	Timer >=	0	22		0	
1	3	Timer <	0	&&	Timer >=	0	33		0	
	4	Timer <	0	&&	Timer >=	0	44		0	
	5	Timer <	0	&&	Timer >=	0	55		0	
										0
2	1	Timer <	991	&&	Timer >=	629	11		0	
b	2	Timer <	849	&&	Timer >=	991	22		5	
2	3	Timer <	708	&&	Timer >=	849	33		10	
	4	Timer <	566	&&	Timer >=	708	44		15	
	5	Timer <	425	&&	Timer >=	566	55		20	
										50
3	1	Timer <	1468	&&	Timer >=	997	11		20	
c	2	Timer <	1258	&&	Timer >=	1468	22		30	
3	3	Timer <	1049	&&	Timer >=	590	33		40	
	4	Timer <	839	&&	Timer >=	603	44		50	
	5	Timer <	629	&&	Timer >=	498	55		60	
										60
4	1	Timer <	1163	&&	Timer >=	983	11		20	
d	2	Timer <	997	&&	Timer >=	1163	22		30	
4	3	Timer <	831	&&	Timer >=	997	33		40	
	4	Timer <	665	&&	Timer >=	831	44		50	
	5	Timer <	498	&&	Timer >=	665	55		60	
										60
5	1	Timer <	1406	&&	Timer >=	999	11		20	
e	2	Timer <	1205	&&	Timer >=	1406	22		30	
5	3	Timer <	1004	&&	Timer >=	1205	33		40	
	4	Timer <	803	&&	Timer >=	1004	44		50	
	5	Timer <	603	&&	Timer >=	803	55		60	
										60
6	1	Timer <	1376	&&	Timer >=	1199	11		40	
f	2	Timer <	1179	&&	Timer >=	1376	22		50	
6	3	Timer <	983	&&	Timer >=	1179	33		60	
	4	Timer <	786	&&	Timer >=	983	44		70	
	5	Timer <	590	&&	Timer >=	786	55		80	
										80
7	1	Timer <	1399	&&	Timer >=	1195	11		60	
g	2	Timer <	1199	&&	Timer >=	1399	22		70	

Рисунок 3.4 - Кінцеві дані для вводу в програмний код



Рисунок 3.5 - Графіки 2 та 3 таблиці налаштування програмного забезпечення.



Рисунок 3.6 - 3D модель станції "Вокзальна" після впровадження проекту

Висновки до розділу 3

У третьому розділі розглянуто налаштування програмного забезпечення комп’ютерно-інтегрованої системи керування гальмуванням поїздів метрополітену. Основну увагу приділено визначенню часових параметрів проходження контрольних ділянок та їх використанню для регулювання інтенсивності гальмування.

Під час випробувань на лабораторному макеті Arduino отримано часові інтервали між спрацюваннями датчиків. За допомогою Microsoft Excel виконано розрахунок параметрів для 15 контрольних ділянок із п’ятьма режимами гальмування для кожної. Отримані значення використано для налаштування програмного алгоритму.

Для аналізу результатів сформовано графічні характеристики гальмування, які дозволяють порівнювати експериментальні та розрахункові дані й коригувати керувальні параметри. Також розглянуто алгоритм реагування системи на втрату сигналів від окремих датчиків.

Отримані результати демонструють можливість налаштування та експериментальної перевірки розробленого алгоритму керування гальмуванням на лабораторному макеті.

РОЗДІЛ 4. ПИТАННЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги безпеки при обслуговуванні електроустановок. Заземлення захисне електроустановок.

Роботи в електроустановках стосовно їх організації поділяються на такі, що виконуються: за нарядом-допуском (далі нарядом), за розпорядженням та в порядку поточної експлуатації.

Організаційними заходами, якими досягається безпека робіт в електроустановках, є:

- затвердження переліку робіт, що виконуються за нарядами, розпорядженнями і в порядку поточної експлуатації;
- призначення осіб, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- оформлення робіт нарядом, розпорядженням або затвердженням переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;
- підготовка робочих місць;
- допуск до робіт;
- нагляд під час виконання робіт;
- переведення на інше робоче місце;
- оформлення перерв в роботі та її закінчення.

Наряд - це завдання на виконання роботи, оформлене на спеціальному бланку установленої форми (додаток L), яке визначає зміст, місце роботи, час її початку і закінчення, умови безпечного проведення роботи та ін.

Розпорядження - це завдання на виконання роботи, яке визначає її зміст, місце, час, заходи безпеки (якщо вони необхідні) і осіб, яким доручене її виконання. Розпорядження може бути передане безпосередньо або за допомогою засобів зв'язку з наступним записом в оперативному журналі.

В оперативному журналі має бути визначено: ким видане розпорядження, зміст і місце роботи, категорія виконання робіт у відношенні заходів безпеки,

перелік технічних і організаційних заходів, час виконання роботи, прізвище та ініціали керівника робіт і членів бригади та їхні групи з електробезпеки.

Поточна експлуатація - це проведення оперативно-ремонтним персоналом самостійно на закріпленій за ним дільниці протягом однієї зміни робіт, на які не потрібно оформлення нарядів чи розпоряджень.

За нарядом проводяться роботи з обслуговування електроустановок, які виконуються:

- із зняттям напруги;

- без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них;

- без зняття напруги віддалік від струмоведучих частин, що перебувають під напругою.

Всі роботи, що проводяться в електроустановках без наряду, виконуються:

- за розпорядженням осіб, уповноважених на це, з оформленням в оперативному журналі;

- в порядку поточної експлуатації з наступним записом в оперативний журнал.

Розпорядження на виконання робіт має разовий характер і діє на протязі робочого дня виконавців. При необхідності повторення або продовження роботи, при зміні умов роботи або складу бригади розпорядження має віддаватися наново з оформленням в оперативному журналі.

За розпорядженням можуть виконуватися:

- робота без зняття напруги віддалік від струмоведучих частин, що перебувають під напругою, тривалістю не більше однієї зміни;

- позапланові роботи, викликані виробничою необхідністю, тривалістю до 1 години;

- роботи зі зняттям напруги в електроустановках напругою до 1000 В, тривалістю не більше однієї зміни.

Перелік робіт, що виконуються в електроустановках за розпорядженням, складається особою, відповідальною за електрогосподарство, стосовно до

обладнання, що підлягає обслуговуванню, і місцевих умов та затверджується керівником дистанції.

Організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт за розпорядженнями в електроустановках, такі самі, як і при роботах за нарядом.

Особа, яка віддає розпорядження, призначає керівника робіт (наглядача), визначає можливість безпечного проведення робіт і вказує необхідні для цього технічні та організаційні заходи.

В процесі роботи зміна складу бригади, що працює за розпорядженням, забороняється.

До початку роботи керівник робіт приймає робоче місце від допускача і розписується в оперативному журналі про прийняття розпорядження до виконання із вказівкою часу початку робіт.

Керівник робіт (наглядач) з моменту одержання дозволу на виконання робіт за розпорядженням здійснює нагляд за особами, які входять до складу бригади, в дотриманні ними правил техніки безпеки.

Після закінчення робіт керівник робіт повинен:

- при виконанні робіт із зняттям напруги або без зняття напруги на струмоведучих частинах і поблизу них вивести бригаду з місця роботи, разом з особою з оперативно-ремонтного персоналу перевірити робоче місце, після чого оформити закінчення роботи підписом в оперативному журналі;

- при виконанні робіт без зняття напруги віддалік від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, оглянути місце роботи, вивести бригаду і доповісти особі з оперативно-ремонтного персоналу про обсяг виконаних робіт і час їх закінчення.

Особа з оперативно-ремонтного персоналу безпосередньо або за допомогою засобів зв'язку повідомляє особі, що віддала розпорядження, про закінчення робіт, виконаних за розпорядженням.

Організаційними заходами, що забезпечують безпеку робіт в порядку поточної експлуатації в електроустановках є:

- складання особою, відповідальною за електрогосподарство підприємства, переліку робіт стосовно устаткування, що підлягає обслуговуванню, і місцевих умов та затвердження його керівником підприємства;

- визначення керівником робіт необхідності виконання конкретної роботи і можливості її безпечного проведення.

Види робіт, які внесені в перелік, є постійно дозволеними і на них не потрібно оформлення нарядів та додаткових розпоряджень.

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, слід вжити у вказаному порядку таких технічних заходів:

- здійснити необхідні відключення і вжити заходів, що перешкоджають помилковому або самочинному ввімкненню комутаційної апаратури;

- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;

- перевірити відсутність напруги на струмоведучих частинах, які слід заземлити для захисту людей від ураження електричним струмом;

- встановити заземлення;

- огородити, за необхідності, робочі місця або струмоведучі частини, що залишилися під напругою, і вивісити на огородженнях плакати безпеки.

Допоміжне електричне з’єднання з землею чи її еквівалентом металевих не струмопровідних частин, що можуть виявитися під напругою має назву захисне заземлення.

Захисне заземлення має за мету знизити напругу дотику між корпусом електроустановки і землею до 42 В, і менше, що виникає в результаті ушкодження чи пробою ізоляції струмопровідних частин. Захисне заземлення варто відокремити від заземлення для захисту від розрядів статичної й атмосферної електрики.

Допоміжне з’єднання з землею нейтральних точок обмоток генераторів, силових і вимірювальних трансформаторів, дугогасних апаратів та інших ланцюгів для забезпечення нормальної роботи електроустановок

називається робочим заземленням. Заземлення для захисту від розрядів статичної й атмосферної електрики здійснюється для відводу цих зарядів у землю. Захисне заземлення електроустановок виконують:

- на всіх електроустановках при напрузі змінного струму 380 В і вище, 440 В і вище – постійного струму;

- в електроустановках, розташованих у приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних і в зовнішніх установках при номінальних напругах вище 42 В змінного струму і вище 110 В постійного струму;

- у вибухонебезпечних приміщеннях – для всіх напруг.

Заземлювачі бувають – штучні, спеціально призначені тільки для заземлення електроустановок, і природні – металеві предмети і конструкції в землі.

Заземлювачі штучні можуть бути вертикальними і горизонтальними. Як вертикальні заземлювачі використовують сталеві стрижні, пруток і кутову сталь довжиною 2,5-3 м, а самостійні горизонтальні заземлювачі і для зв'язку вертикальних – смугову сталь і сталевий пруток. Найменші розміри штучних заземлювачів: діаметр пруткових не оцинкованих – 10 мм, перетин прямокутних заземлювачів 48 мм2; товщина прямокутних заземлювачів (смугова сталь) і полиць кутової сталі – 4 мм.

Заземлювачі вертикальні забивають за допомогою механізмів у попередньо вириті траншеї глибиною 0,7-0.8 м. Сталеві прутки діаметром 10-12 мм, довжиною 4-4,5 м вкручують за допомогою спеціальних пристосувань.

Занурені в землю вертикальні заземлювачі з'єднують смуговою сталлю, приварюючи її до верхнього кінця стрижня ребром нагору для кращого контакту з землею. При використанні смуги, як самостійного заземлювача, її укладають у таку ж траншею ребром нагору і засипають землею з наступним ретельним трамбуванням для поліпшення її контакту з землею.

Розташовують заземлювачі у місцях, де немає підсушування землі від прокладених трубопроводів та інших джерел тепла.

Горизонтальні заземлювачі прокладають у траншеях з однорідним ґрунтом, без щебеню і будівельного сміття.

Коли існує небезпека корозії заземлювачів, тоді:

- збільшують переріз одиночних заземлювачів;

- застосовують оцинковані заземлювачі;

- використовують електричний захист заземлювачів проти корозії.

Як штучні заземлювачі, допускається застосовувати бетон, що проводить електрику. Для заземлювачів можна застосовувати метали, що були уживані, але вони не повинні мати сильних ознак корозії, повинні бути очищені від фарби, олив та ізолюючих речовин.

Штучні пристрої на спорудах, які заземлюють, у районах з великим питомим опором ґрунту рекомендується:

- вертикальні заземлювачі більшої довжини (більше 3 м) застосовувати, якщо на глибині питомий опір ґрунту менший, ніж ближче до поверхні;

- виносні заземлювачі розташовувати в місцях (до 2 км) з меншим питомим опором ґрунту;

-у траншеї навколо заземлювачів, прокладених горизонтально, укладати вологий глинистий ґрунт, який трамбують і засипають щебенем;

- коли застосування інших заходів неефективне, обробляти грунт для зниження його питомого опору.

На практиці у більшості випадків одного заземлювача для забез-

печення встановленої норми заземлення недостатньо. У таких випадках забивають декілька заземлювачів по периметру об'єкта, що захищається, чи під об'єктом, що захищається. Таке заземлення називається контурним.

Природні заземлювачі – це металеві конструкції будинків, споруд та інших об'єктів чи предметів, що мають добрий електричний контакт з землею.

Як природні заземлювачі можуть використовуватися:

- трубопроводи, прокладені в землі (крім трубопроводів для пальних рідин і вибухових газів);

- обсадні труби артезіанських колодязів і шпар;

- арматура залізобетонних конструкцій будинків і споруд, що мають зв’язок з землею;

- свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі;

- заземлювачі опор ліній електропередачі (ЛЕП);

- повітряні ЛЕП, з'єднані з заземлювальним пристроєм електроустановки за допомогою горизонтального троса, якщо він не ізольований від опору лінії;

- нульові проводи повітряних ЛЕП напругою до 1000 В з повторними заземлювачами при кількості ліній не менше двох;

- рейкові шляхи магістральних не електрифікованих залізниць;

- під'їзні колії при наявності допоміжного пристрою перемичок між рейками.

Заземлювачі природні приєднуються до магістралі заземлення не менше, ніж у двох місцях.

Заземлювачі природні мають малий опір відносно розтікання електричного струму, а тому їхнє використання зумовлює економію металу. Природні заземлювачі використовують без штучних заземлювачів, якщо вони забезпечують встановлену в ПУЕ-86 норму опору, і яка залишається незмінною від сезону до сезону.

4.2 Вимоги до працівників, які обслуговують електроустановки

Експлуатацію електроустановок має здійснювати електротехнічний персонал, що підрозділяється на:

–адміністративно-технічний;

–оперативний;

–ремонтний;

–оперативно-ремонтний.

Прирівнюється у правах і обов’язках до електротехнічного персоналу електротехнічний персонал цехів і дільниць, що експлуатує електротехнічні установки та атестований на II-у і вищу групу з електробезпеки.

Установки електротехнологічних процесів (електрозварювання, електроліз, електротермія тощо) та складне енергонасичене виробниче технічне обладнання, що потребує постійного технічного обслуговування, регулювання електрообладнання, повинен обслуговувати електротехнічний персонал з достатніми навичками і знаннями. Технічне керування цим персоналом і нагляд за його роботою мають здійснювати керівники з кваліфікаційною групою не нижчою, ніж у своїх підлеглих.

Керівник підприємства затверджує перелік посад ІТП та електротехнологічного персоналу, яким необхідно мати відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Електротехнічний персонал, що має кваліфікаційну групу з електробезпеки від II-ї до V-ї включно, повинен задовольняти таким вимогам:

–не мати каліцтва, хвороб (стійкої форми) і медичних протипоказань, що заважають виробничій роботі;

–пройти після відповідної теоретичної і практичної підготовки перевірку знань та мати посвідчення на допуск до робіт в електроустановках.

Забороняється допуск до роботи в електроустановках осіб молодше 18 років.

Розпорядженням по підприємству від медичного освідчення звільняється адміністративно-технічний персонал, що безпосередньо не бере участі в оперативних перемиканнях, ремонтних, монтажних і налагоджувальних роботах в електроустановках та їх не організовує.

Перевірка знань ПТЕЕС, ПБЕЕС, інструкцій у електротехнічного персоналу включає:

–первинну перевірку після його навчання і підготовки за новою посадою у разі переведення з іншої роботи (посади) чи іншого підприємства;

–повторні (чергові і позачергові) перевірки.

Первинна перевірка електротехнічного персоналу має проводиться у терміни, встановлені програмами та планами його підготовки.

До призначення або при переході на іншу роботу (посаду), пов’язану із експлуатацією електроустановок, а також у разі перерви у роботі в якості електротехнічного персоналу понад 1 рік, персонал зобов’язаний пройти виробниче навчання на новому місці роботи.

Для цього собою, відповідальною за електрогосподарство, встановлюється термін, достатній для придбання практичних навичок, знайомства з обладнанням, апаратурою та одночасного вивчення у необхідному для даної роботи (посади) обсязі:

–ПТЕ електроустановок споживачів;

–ПБЕ електроустановок споживачів;

–Правил улаштування електроустановок;

–виробничих і посадових інструкцій;

–інструкцій з охорони праці;

–інструкцій з улаштування та безпечної експлуатації електроустановок;

–нормативних та експлуатаційних документів, що діють на даному підприємстві.

Навчання має проводитися за затвердженою програмою під керівництвом досвідченого працівника з електротехнічного персоналу підприємства чи вищестоящої організації (прикріплення за наказом або розпорядженням).

Вказану програму розробляє особа, відповідальна за електрогосподарство, і подає її для затвердження керівникові підприємства чи до вищестоящої організації.

Особа, що навчається може виконувати оперативні перемикання чи інші роботи в електроустановці тільки з дозволу та під наглядом навчаючого, а відповідальність за правильність і дотримання вимог ПТЕЕС, ПБЕЕС є для них спільною.

Після закінчення виробничого навчання особа, що навчається, повинна пройти у кваліфікаційній комісії перевірку знань у наведеному вище обсязі,

після чого їй присвоюється відповідна (I – V) кваліфікаційна група з електробезпеки.

У разі переходу на інше підприємство чи переведення на іншу роботу (посаду) в межах одного підприємства, а також при перерві у роботі особі із електротехнічного персоналу, що успішно пройшла перевірку знань, кваліфікаційна комісія може присвоїти ту групу з електробезпеки, яка була до цього.

Кожен робітник з оперативного та оперативно-ремонтного персоналу після перевірки знань повинен пройти стажування на робочому місці (дублювання) тривалістю не менше 2-х тижнів під керівництвом досвідченого робітника, після чого він може бути допущений до самостійної оперативної роботи.

Як допуск до стажування, так і до роботи здійснюється для ІТП розпорядженням по підприємству, а для робітників – по цеху.

Не потрібне дублювання для ремонтного персоналу.

Періодична перевірка знань ПТЕЕС, правил пожежної безпеки, виробничих і посадових інструкцій персоналу усіх категорій проводиться 1 раз у 3 роки.

Правила встановлюють такі терміни періодичної перевірки знань ПБЕЕС, інструкцій з улаштування та безпечної експлуатації електроустановок:

–1 раз у рік - для електротехнічного персоналу, що обслуговує діючі установки або проводить в них налагоджувальні, електромонтажні, ремонтні роботи чи профілактичні випробування, а також для персоналу, який оформляє розпорядження та організує ці роботи;

–1 раз у 3 роки – для ІТП, що не відноситься до попередньої групи, а також інженерів з техніки безпеки, допущених до інспектування електроустановок.

Якщо дія посвідчення закінчується під час відпустки чи хвороби, допускається продовження терміну його дії на 1 місяць з дня виходу на роботу.

Особи, що порушили ПТЕЕС або ПБЕЕС, підлягають позачерговій перевірці знань.

Позачергова перевірка знань ПТЕЕС і ПБЕЕС проводиться також у таких випадках:

–при незадовільній оцінці знань у терміни, встановлені кваліфікаційною комісією, але не раніше ніж через два тижні;

–при переведенні на іншу роботу;

–при введенні в дію нової редакції ПТЕЕС і ПБЕЕС;

–за вимогою органів Держенергонагляду або Державної служби з питань праці.

Особі, що у зв’язку із отриманням незадовільної оцінки повторно проходить перевірку знань, кваліфікаційною комісією продовжується термін дії посвідчення до терміну, призначеного для другої чи третьої перевірки, якщо не прийнятне спеціальне рішення комісії щодо тимчасового усунення цієї особи від роботи в електроустановках.

Персонал, який втретє отримав незадовільну оцінку при перевірці знань не допускається до роботи в електроустановках і має бути переведений на іншу роботу, що не пов’язана з обслуговуванням електроустановок.

Склад кваліфікаційної комісії з перевірки знань ПТЕЕС і ПБЕЕС (не менше 3-х осіб) залежить від категорії персоналу, що атестується (додаток А).

Перевірка знань осіб, відповідальних за електрогосподарство підприємств, де немає кваліфікованих фахівців до складу комісій проводиться за домовленістю у комісіях, що створюються органами Держенергоналяду чи Держохоронпраці і з участю інспекторів цих органів.

Як правило в роботі таких комісій приймають участь керівники зазначених підприємств або представники організацій.

Перевірку знань осіб, відповідальних за електрогосподарство індивідуальних, селянських (фермерських), малих, спільних підприємств, кооперативів та інших підприємств дозволяється проводити у кваліфікаційних комісіях підприємств-засновників за участю інспекторів Держенергоналяду і Держнаглядохоронпраці.

Перевірка знання Правил кожного працівника проводиться індивідуально, а її результати заносяться до журналу встановленої форми, роздільно оформлюються з ПТЕЕС і ПБЕЕС та підписуються всіма членами комісії.

Персоналу, що успішно пройшов перевірку знань, видається посвідчення встановленої форми, що дає право на обслуговування тих чи інших електроустановок у якості адміністративно-технічного з правилами оперативного, ремонтного, оперативно-технологічного персоналу з групою з електробезпеки II-ї і вище.

У разі, коли працівник одночасно пройшов перевірку знань на право виконання спеціальних робіт, про це робиться відмітка у журналі перевірки знань та у графі посвідчення «Свідоцтво на право проведення спеціальних робіт».

Інженери з техніки безпеки, що контролюють електроустановки, повинні проходити перевірку знань в обсязі IV групи з електробезпеки у тій же комісії, що і особа, відповідальна за електрогосподарство. При цьому їм видається посвідчення на право інспектування електроустановок одного підприємства.

Інженерові з техніки безпеки, що не прошов перевірку знань ПТЕЕС, ПБЕЕС та інструкцій, не дозволяється давати ніяких вказівок електротехнічному персоналові, він також не допускається до інспектування робіт в електроустановках.

Електротехнічному персоналу, заново зарахованому на роботу, якщо він не пройшов перевірку знань або ж має прострочене посвідчення (за винятком

випадків, коли допускається продовження терміну його дії), присвоюється група з електробезпеки I.

Група з електробезпеки I присвоюється також не електротехнічному персоналові, пов'язаному з роботою, при виконанні якої може виникнути небезпека ураження електричним струмом.

Перелік професій вказаного персоналу визначається керівником підприємства спільно з інженером з охорони праці, а коло обов'язків регламентується місцевою інструкцією.

Правила (ПБЕЕС) визначають окремі особливості присвоєння групи з електробезпеки I:

–група присвоюється після щорічної перевірки знань безпечних методів роботи на обслуговуваній установці особою, відповідальною за електрогосподарство чи за його письмовою вказівкою особою з групою з електробезпеки не нижче III; присвоєння групи I оформлюється у спеціальному журналі з підписом кожної із осіб, - що перевіряє знання та тієї, знання якої перевіряється. Посвідчення про перевірку знань при цьому не видається;

–у процесі роботи персонал із групою з електробезпеки I окрім щорічної перевірки знань періодично проходить інструктаж відповідно до вимог стандартів з безпеки праці.

Відповідальність за своєчасну перевірку знань у не електротехнічного персоналу з групою електробезпеки I та електротехнічного персоналу з групою II та вище несуть керівники дільниць, цехів та інших підрозділів підприємства.

Практикантам інститутів, технікумів, професійно-технічних училищ, що не досягли 18-річного віку, дозволяється перебування у діючих електроустановках під постійним наглядом особи з електротехнічного персоналу з групою з електробезпеки:

–не нижче III в установках напругою до 1000 В;

–не нижче IV в установках напругою понад 1000 В.

Допускати до самостійної роботи практикантів, що не досягли 18-річного віку, та присвоювати їм групу з електробезпеки III і вище забороняється.

Систематичну роботу з електротехнічним персоналом зобов’язані організувати та особисто контролювати особи, відповідальні за електрогосподарство.

З цією метою мають бути організовані:

-курсове (групове, індивідуальне) навчання з підвищення кваліфікації;

-вивчення ПУЕ, ПТЕЕС, ПБЕЕС, інструкцій та інших правил, що стосуються роботи даних установок;

-проведення протиаварійних тренувань на робочих місцях для навчання персоналу кращим способам та прийомам швидкого запобігання і ліквідації неполадок та аварій;

-інструктажі електротехнічного персоналу відповідно до вимог стандартів з охорони праці.

4.3 Вплив електроустановок на навколишнє середовище

В сучасному світі електроенергія є необхідною складовою нашого повсякденного життя. Вона використовується для житлових потреб, промислового виробництва, транспорту, освітлення та багатьох інших цілей. Однак, разом зі зростанням використання електроенергії, з'являються й проблеми, пов'язані з впливом електроустановок на навколишнє середовище. В даному рефераті ми розглянемо ці проблеми та можливі шляхи їх вирішення.

Перш за все, електроустановки можуть впливати на навколишнє середовище через емісію шкідливих речовин у процесі електропередачі. Один з основних джерел таких емісій - теплові електростанції, які використовуються для виробництва електроенергії. Вони випускають значну кількість парникових газів, зокрема вуглекислого газу, який є основним

фактором глобального потепління. Це може мати серйозні наслідки для клімату та екології планети.

Крім того, електроустановки можуть спричиняти забруднення ґрунту та води. Під час будівництва та експлуатації електростанцій, ліній електропередачі та інших електрооб'єктів використовуються різноманітні хімічні речовини, які можуть потрапляти в навколишнє середовище. Наприклад, нафта, що використовується для роботи деяких генеруючих установок, може виливатися та забруднювати водні джерела. Крім того, старі або некоректно утилізовані електричні прилади та батареї можуть містити шкідливі речовини, які можуть проникати в ґрунт і забруднювати його. Це може мати негативний вплив на рослинний світ та екосистему.

Окрім цього, електромагнітне випромінювання від електроустановок може мати вплив на здоров'я людей та тварин. Електричні лінії передачі можуть генерувати електромагнітні поля, які можуть бути потенційно шкідливими при тривалому впливі. Дослідження показують, що довготривала експозиція електромагнітному випромінюванню може викликати різні захворювання, включаючи рак, порушення сну та нервово-ендокринну систему.

Для зменшення негативного впливу електроустановок на навколишнє середовище існує кілька шляхів. Один з них - використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячна або вітрова енергія. Це допомагає знизити викиди парникових газів та залежність від паливних ресурсів. Розробка та впровадження більш енергоефективних технологій також є важливим кроком у зменшенні впливу електроустановок на довкілля.

Крім того, необхідно приділяти увагу контролю за витоками та відходами від електроустановок. Використання надійних систем зберігання, переробки та утилізації хімічних речовин та відходів може зменшити забруднення ґрунту та води.

Важливим аспектом є також правильне проектування та будівництво електричних об'єктів з урахуванням охорони навколишнього середовища.

Врахування екологічних аспектів на етапі проектування дозволяє зменшити негативний вплив на природу, наприклад, шляхом встановлення систем очищення викидів та систем енергозбереження.

Популяризація енергоефективних технологій та екологічно чистих практик серед населення також може сприяти зниженню впливу електроустановок на навколишнє середовище. Ініціативи зі зменшення споживання енергії, раціонального використання ресурсів та впровадження відновлювальних джерел енергії можуть стати вагомим внеском у збереження довкілля.

Правильне управління відходами від електроустановок також має велике значення. Розробка ефективних систем утилізації та переробки електронних пристроїв та відпрацьованих батарей може запобігти їх накопиченню на смітниках та забрудненню навколишнього середовища шкідливими речовинами.

Необхідно також враховувати законодавчі норми та стандарти, які регулюють вплив електроустановок на навколишнє середовище. Розвиток та дотримання відповідних правил та регуляцій сприяє зменшенню емісій та забезпеченню безпеки як для довкілля, так і для працівників, які працюють з електроустановками.

Узагальнюючи, електроустановки мають значний вплив на навколишнє середовище через емісію шкідливих речовин, забруднення ґрунту та води, а також електромагнітне випромінювання. Для зменшення цього впливу необхідно використовувати альтернативні джерела енергії, впроваджувати енергоефективні технології, контролювати витоки та відходи, правильно проектувати та будувати електрооб'єкти з урахуванням екологічних аспектів. Популяризація енергоефективних практик серед населення і введення в дію відповідних законодавчих норм також відіграють важливу роль у збереженні навколишнього середовища.

Охорона праці є невід'ємною частиною забезпечення безпеки під час будівництва, експлуатації та обслуговування електроустановок. Врахування

принципів охорони праці дозволяє знизити ризик виникнення нещасних випадків та професійних захворювань серед працівників. Застосування відповідних заходів безпеки, навчання персоналу, контроль технічного стану обладнання та дотримання встановлених правил і процедур створюють безпечні умови праці.

Однак, важливо пам'ятати, що заходи з охорони праці необхідно поєднувати з заходами з охорони навколишнього середовища. Це означає, що вплив електроустановок на довкілля повинен бути врахований при розробці і впровадженні заходів з охорони праці. Забезпечення екологічно безпечного виробництва та раціонального використання ресурсів є важливим аспектом сталого розвитку.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі розглянуто основні вимоги з охорони праці під час експлуатації та обслуговування електроустановок. Проаналізовано організаційні й технічні заходи безпеки, зокрема порядок допуску до робіт, підготовку робочих місць, відключення електроживлення та застосування захисного заземлення для запобігання ураженню електричним струмом.

Визначено основні вимоги до електротехнічного персоналу, включаючи професійну підготовку, присвоєння відповідних груп з електробезпеки, проходження інструктажів і періодичну перевірку знань. Дотримання цих вимог є необхідною умовою безпечного виконання робіт з електрообладнанням.

Також розглянуто вплив електроустановок на навколишнє середовище та способи його зменшення, зокрема впровадження енергоефективних технологій, раціональне використання ресурсів і належну утилізацію електронних відходів.

Отже, дотримання вимог електробезпеки, належна підготовка персоналу та врахування екологічних чинників є важливими умовами безпечної експлуатації й обслуговування електротехнічного обладнання.

ВИСНОВКИ

1. У ході виконання дипломної роботи проведено аналіз гальмівних систем рухомого складу метрополітену та сучасних методів автоматизованого керування рухом поїздів. Розглянуто досвід метрополітенів Копенгагена та Гонконгу, а також можливості застосування подібних технічних рішень у Київському метрополітені.

2. Запропоновано комп’ютерно-інтегровану систему керування гальмуванням поїздів, основним завданням якої є підвищення точності зупинення на станціях. Система передбачає контроль положення поїзда та автоматичне формування керувальних сигналів для регулювання інтенсивності гальмування.

3. Розроблено алгоритм автоматизованого керування гальмуванням, який ґрунтується на визначенні часових інтервалів між проходженням контрольних ділянок. Отримані дані використовуються для оцінювання параметрів руху поїзда та коригування режиму гальмування залежно від його положення.

4. Передбачено контроль правильності зупинення поїзда відносно заданого положення на станції та інформування машиніста про виявлені відхилення. Після підтвердження коректної зупинки система формує сигнал дозволу на відчинення платформних огороджувальних дверей.

5. Для підвищення надійності роботи системи розглянуто можливість дублювання датчиків і обробки ситуацій, пов’язаних із втратою окремих сигналів. Також передбачено перевірку працездатності обладнання та налаштування параметрів гальмування відповідно до характеристик різних типів рухомого складу.

6. Проведено порівняльний аналіз мікроконтролерів і мікрокомп’ютерів, на основі якого обґрунтовано вибір апаратних засобів для дослідної системи. Створено лабораторний макет на базі Arduino, що дозволив дослідити

взаємодію датчиків, виконавчих елементів і програмного алгоритму керування гальмуванням.

7. Використання доступних електронних компонентів дозволяє зменшити вартість виготовлення дослідного зразка та спростити його подальше вдосконалення. Запропонована система передбачає можливість калібрування параметрів керування для різних умов руху, а також взаємодію з платформними огороджувальними дверима для підвищення безпеки пасажирів.

8. Результати проведеного дослідження підтверджують можливість реалізації основних функцій автоматизованого керування гальмуванням на лабораторному макеті. Розроблені алгоритми та технічні рішення можуть бути використані для подальших досліджень, однак їх практичне впровадження потребує додаткових випробувань і перевірки відповідності вимогам безпеки залізничного транспорту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних робіт для студентів усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні інформаційно-керуючі системи» / Укл. Герцій О.А., Голуб Г.М., Кульбовський І.І., Гончарова Л.Л. – К.: ДУІТ, 2023. – 34 с.

2. Василенко О.Б. Розроблення методів комп'ютерно-інтегрованого керування гальмівними системами поїздів метрополітену / Василенко О.Б., Кульбовський І.І. // IV міжнародна науково-практична конференція науковців, викладачів та здобувачів вищої освіти «Сучасні дослідження: Транспортна інфраструктура та інноваційні технології». Тези доповідей. – К: НТУ, ННКІЗТ 2026. – 2с.

3. Київський метрополітен. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Київський_метрополітен (дата звернення: 03.09.2026).

4. Реостатне гальмування. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Реостатне_гальмування (дата звернення: 04.09.2026).

5. AttachInterrupt. URL: https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/external-interrupts/attachInterrupt/ (дата звернення: 25.09.2026).

6. Брязкіт контактів. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Брязкіт_контактів (дата звернення: 07.09.2026).

7. Рухомий склад Київського метрополітену. URL: http://www.mirmetro.net/kyiv/trains (дата звернення: 08.09.2026).

8. Pico Electronics. URL: http://www.picodenshi.com/about-pico-30238.html (дата звернення: 09.09.2026).

9. HomeKit – Apple Developer. URL: https://developer.apple.com/homekit (дата звернення: 10.09.2026).

10. First Look at Microsoft's HoloLens. URL: http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2475581,00.asp (дата звернення: 11.09.2026).

11. Smart Control Allone. URL: http://www.orvibo.com/en_products_view.asp?mid=15&pid=57&id=232 (дата звернення: 14.09.2026).

12. Products – Clipsal by Schneider Electric. URL: https://www.clipsal.com/Home-Owner (дата звернення: 15.09.2026).

13. Arduino Uno. URL: https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/ (дата звернення: 17.09.2026).

14. chipKIT Uno32™ Prototyping Platform. URL: http://www.digilentinc.com/Products/Detail.cfm?Prod=CHIPKIT-UNO32 (дата звернення: 18.09.2026).

15. chipKIT Max32™ Prototyping Platform. URL: http://www.digilentinc.com/Products/Detail.cfm?Prod=CHIPKIT-MAX32 (дата звернення: 21.09.2026).

16. RASPBERRY PI 1 MODEL A+. URL: https://www.raspberrypi.org/products/model-a-plus/ (дата звернення: 23.09.2026).

17. RASPBERRY PI 1 MODEL B+. URL: https://www.raspberrypi.org/products/model-b-plus/ (дата звернення: 24.09.2026).

18. RASPBERRY PI 2 MODEL B. URL: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/ (дата звернення: 28.09.2026).

19. BMP180 Цифровий модуль атмосферного тиску Arduino. URL: http://greenchip.com.ua/23-0-100-0.html (дата звернення: 05.10.2026).

20. SD Library. URL: http://www.arduino.cc/en/Reference/SD (дата звернення: 15.10.2026).

21. Ethernet library. URL: http://www.arduino.cc/en/Reference/Ethernet (дата звернення: 16.10.2026).

22. Android Studio Overview. URL: http://developer.android.com/tools/studio/index.html (дата звернення: 20.10.2026).

23. Java – Thread – Oracle Documentation. URL: https://docs.oracle.com/javase/1.5.0/docs/api/java/lang/Thread.html (дата звернення: 22.10.2026).

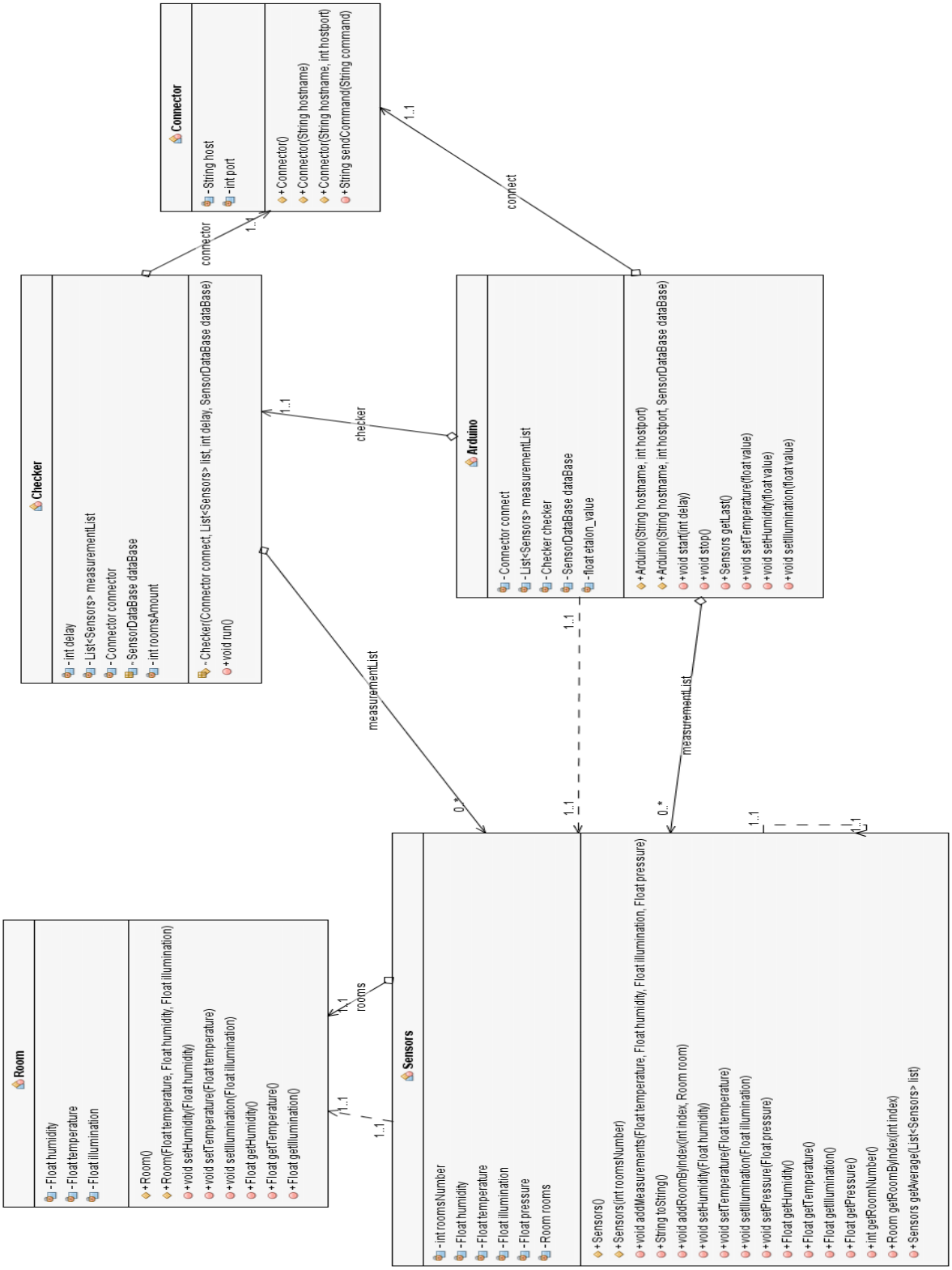
24. Android: SQLite. URL: http://developer.android.com/reference/android/database/sqlite/SQLiteDatabase.html (дата звернення: 26.10.2026).

25. National Technical University of Ukraine Kiev Polytechnic Institute (KPI) – Information Technology – DreamSpark Premium. URL: https://e5.onthehub.com/WebStore/ProductsByMajorVersionList.aspx?ws=0cf64030-16db-e011-b09a-f04da23e67f6&vsro=8 (дата звернення: 29.10.2026).

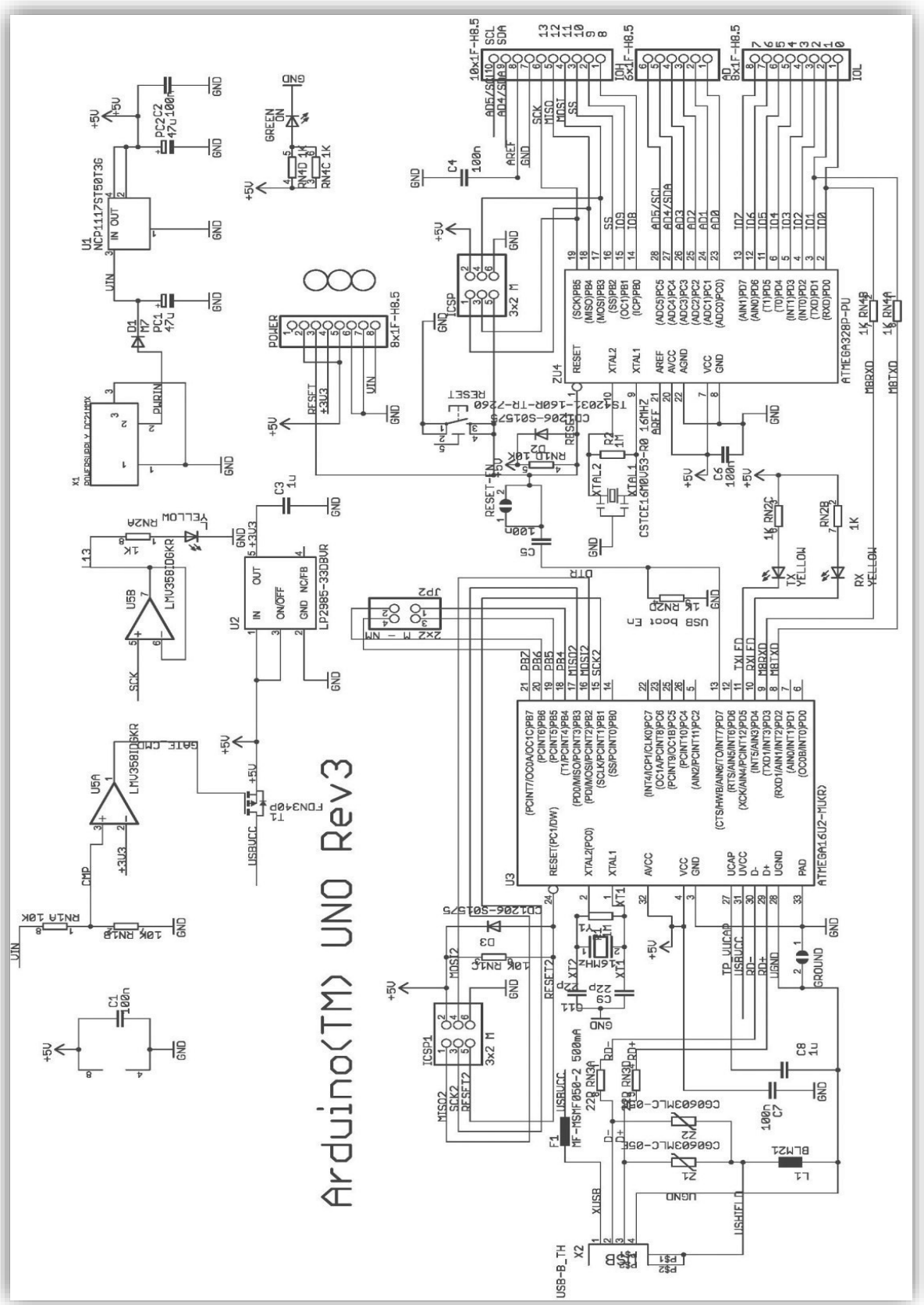
26. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98 / ДНАОП 0.00-1.21-98). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text (дата звернення: 04.11.2026).

ДОДАТКИ

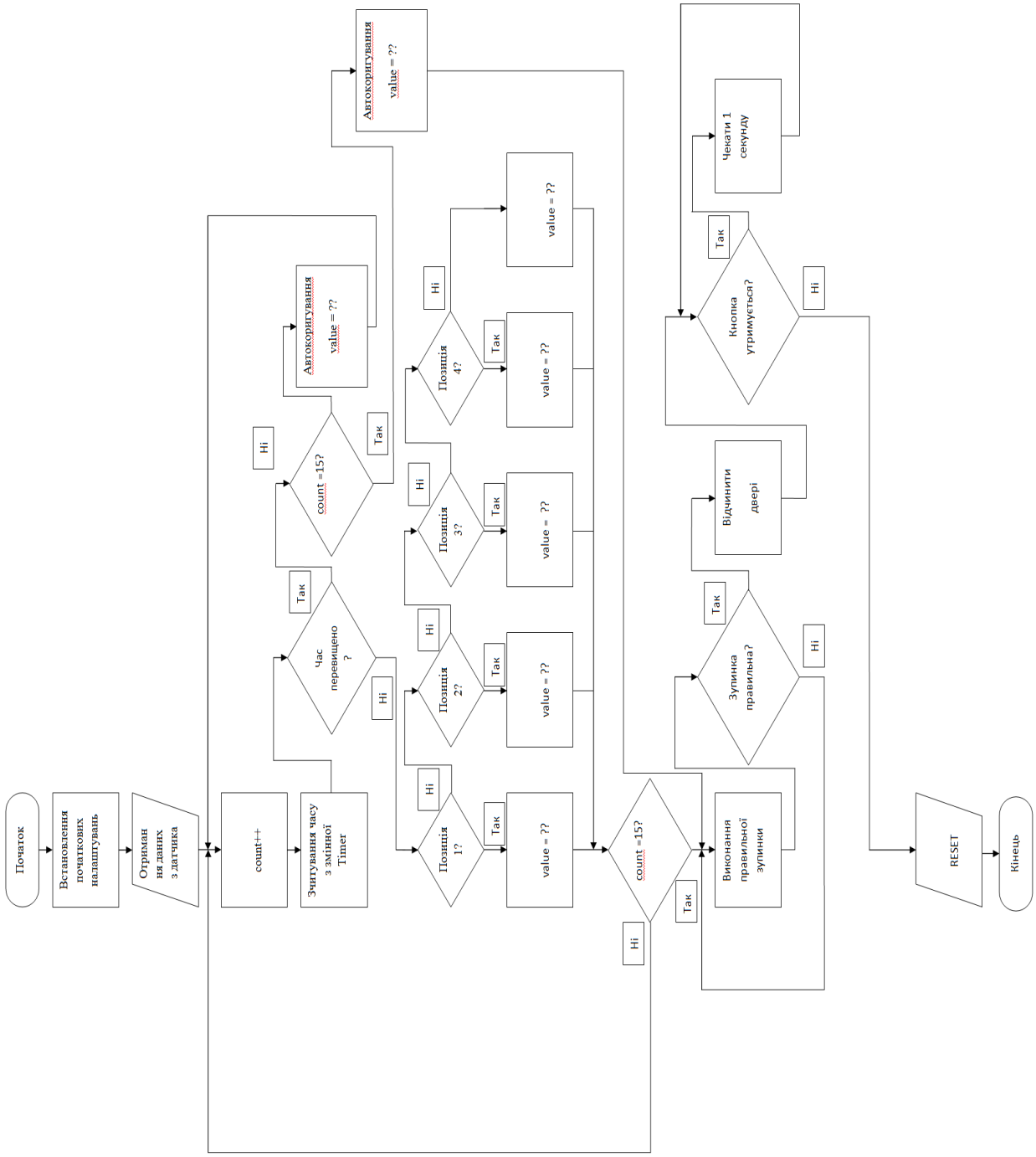
Додаток А. UML діаграма класу ArduinoTelnet



Додаток Б. Схема електрична принципова мікроконтроллера ATMega328P з реалізацією на платі Arduino UNO Rev. 3



Додаток В. Схема алгоритму функціонування програмного забезпечення



Додаток Г Схема електрична принципова системи на рухомому складі та станції

