МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет
Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергоефективності роботи електротранспорту на основі використання інтелектуальних систем

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1413
спеціальності
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

освітньої програми_____
(назва освітньої програми)
спеціалізації
(код і назва спеціалізації)

Шаповал О.Л.
(ініціали та прізвище)
Керівник проф., проф., д.т.н. Артемчук В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент асистент Коваленко І.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

Запорізький національний університет

Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

(повна назва кафедри)

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва)

Спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка

(шифр і назва)

та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц. В.Л. Коваленко

“_01_” __грудня__2024 року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Шаповал Олександр Леонідович

1. Тема роботи: Підвищення енергоефективності роботи електротранспорту на основі використання інтелектуальних систем

Керівник роботи: Артемчук В.В.

затверджені наказом ЗНУ від «_01_»_травня__2024__року №_361-с___

2. Строк подання студентом роботи: 28 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: поточний тариф вартості електроенергії; технічні параметри об’єкту; род струму; система енергопостачання; система рекуперації

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які рекомендовано розробити): вступ; 1) сучасні методи автоматизованого управління; 2) алгоритми управління енергоспоживанням; 3) Інтеграція розумних систем в транспортну систему; висновки

5. Перелік графічного матеріалу: 1) титульна сторінка; 2) огляд сучасних систем управління; 3) електропривод транспортних систем; 4) принципова схема ланки «перетворювач частоти – асинхронний двигун»; 5) висновки

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Артемчук В.В., професор		
Розділ 2	Артемчук В.В., професор		
Розділ 3	Артемчук В.В., професор		
Нормоконтроль	Коваленко І.І., асистент		

7. Дата видачі завдання 01.06.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Сучасні методи автоматизованого управління	01.10.2024	
2	Алгоритми управління енергоспоживанням	01.11.2024	
3	Інтеграція розумних систем в транспортну систему	01.12.2024	

Студент _____ Шаповал О.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник дипломної роботи _____ Артемчук В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтролер _____ Коваленко І.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена підвищенню енергоефективності роботи електротранспорту через впровадження інтелектуальних систем. Проведено аналіз сучасних технологій управління енергоспоживанням, визначено ключові проблеми та шляхи їх вирішення. Розглянуто алгоритми оптимізації енергоспоживання, що базуються на машинному навчанні. Практична реалізація дозволить знизити витрати енергії та покращити екологічні показники транспорту.

Ключові слова: енергоефективність, електротранспорт, інтелектуальні системи, енергоспоживання, оптимізація, екологічність

ANOTATION

The master's thesis is devoted to increasing the energy efficiency of electric transport through the implementation of intelligent systems. An analysis of modern energy management technologies was conducted, key problems and ways to solve them were identified. Algorithms for optimizing energy consumption based on machine learning were considered. Practical implementation will allow reducing energy costs and improving the environmental performance of transport.

Keywords: energy efficiency, electric transport, intelligent systems, energy consumption, optimization, environmental friendliness

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 СУЧАСНІ МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ 8
1.1. Аналіз існуючих систем управління транспортом 9
1.2. Ефективність функціонування транспортних систем 15
1.3. Використання систем підтримки прийняття рішень 19
1.4. Загальні принципи автоматизації транспортних систем 27
2 АЛГОРИТМИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ 30
2.1 Роль автоматизації у транспортних системах 30
2.2 Аналіз існуючих методів енергозбереження 33
2.3 Алгоритми штучного інтелекту для адаптивного управління 42
3 ІНТЕГРАЦІЯ РОЗУМНИХ СИСТЕМ В ТРАНСПОРТНУ СИСТЕМУ 48
3.1 Концептуальні основи інтеграції розумних систем 48
3.2 Підвищення енергоефективності електротранспорту за допомогою інтелектуальних систем 57
3.3 Використання інтелектуальних систем для підвищення енергоефективності електроприводу електротранспорту 61
ВИСНОВКИ 70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 72
ДОДАТКИ 75

ВСТУП

Сучасний розвиток міської інфраструктури значною мірою залежить від використання ефективних і екологічно безпечних транспортних систем. Електротранспорт, завдяки своїй здатності мінімізувати шкідливі викиди та зменшувати залежність від викопних видів палива, є важливим елементом сталого розвитку урбанізованих територій. Проте, для забезпечення високої ефективності електротранспорту необхідно вирішити низку проблем, пов’язаних із оптимізацією енергоспоживання та зменшенням експлуатаційних витрат. Одним із перспективних шляхів розв'язання цих задач є впровадження інтелектуальних систем у роботу транспортної галузі.

Інтелектуальні системи, які використовують технології штучного інтелекту, машинного навчання, Інтернету речей (IoT) та обробки великих даних (Big Data), відкривають нові можливості для моніторингу, аналізу та управління енергоспоживанням. Вони дозволяють автоматизувати процеси прийняття рішень, підвищувати точність прогнозів і знижувати ризики, пов'язані з надмірним споживанням енергії. Застосування таких рішень забезпечує не лише економічну вигоду для експлуатаційних компаній, а й екологічну користь для суспільства загалом.

Актуальність теми дослідження зумовлена кількома чинниками. По-перше, зростання урбанізації створює додаткове навантаження на транспортну інфраструктуру, що вимагає пошуку більш ефективних способів її функціонування. По-друге, сучасні глобальні виклики, пов’язані з кліматичними змінами та енергетичною кризою, вимагають впровадження рішень, які сприяють зниженню викидів парникових газів та ефективнішому використанню енергоресурсів. Нарешті, технологічний прогрес у сфері інформаційних технологій відкриває нові можливості для розвитку інтелектуальних систем, які можна інтегрувати у транспортну інфраструктуру.

Метою даного дослідження є розробка та впровадження методів підвищення енергоефективності роботи електротранспорту на основі

використання інтелектуальних систем. Досягнення цієї мети передбачає виконання таких завдань:

- проведення аналізу сучасних методів енергозбереження в електротранспорті;
- розробка моделей і алгоритмів оптимізації енергоспоживання з використанням інтелектуальних систем;
- тестування розроблених рішень на практиці, зокрема на прикладі міського електротранспорту;
- оцінка економічного та екологічного ефекту від впровадження запропонованих методів.

Наукова новизна роботи полягає в інтеграції новітніх технологій штучного інтелекту для управління енергоспоживанням електротранспорту. Використання цих підходів дозволить досягти не лише зниження енергетичних витрат, але й оптимізації маршрутів, зменшення зносу обладнання та покращення обслуговування пасажирів.

Практична цінність роботи полягає у створенні алгоритмів та інструментів, які можуть бути інтегровані в існуючу транспортну систему. Застосування розроблених рішень дозволить транспортним компаніям ефективніше використовувати ресурси, покращити екологічні показники та знизити загальні витрати.

Таким чином, дана магістерська робота спрямована на вирішення однієї з ключових проблем сучасної транспортної галузі – підвищення енергоефективності електротранспорту.

СУЧАСНІ МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

Автоматизоване управління стало важливим елементом сучасної транспортної галузі, зокрема у сфері електротранспорту. Його основною метою є підвищення ефективності функціонування транспортних систем, зменшення енергоспоживання та забезпечення стабільності роботи. Інтеграція новітніх технологій, таких як штучний інтелект, Інтернет речей (IoT) та обробка великих даних, дозволяє створювати системи, які не тільки реагують на зміни в реальному часі, але й здатні до адаптації та прогнозування.

Одним із ключових напрямків автоматизованого управління є використання систем диспетчеризації, які забезпечують моніторинг і управління рухомим складом. Сучасні диспетчерські системи базуються на аналізі даних, отриманих із датчиків, GPS-модулів та інших пристроїв, встановлених на електротранспорті. Це дозволяє відстежувати місцезнаходження транспорту, його технічний стан, енергоспоживання та інші параметри в реальному часі. Завдяки цим даним можна оперативно реагувати на непередбачувані ситуації, такі як затори, поломки або перевантаження маршрутів.

Інтелектуальні системи управління енергоспоживанням є ще одним важливим компонентом. Ці системи використовують алгоритми машинного навчання для аналізу поведінки транспорту, оптимізації швидкості, маршруту та використання енергії. Наприклад, адаптивні системи регулювання енергоспоживання можуть враховувати умови дороги, прогнозувати зони з високим навантаженням та автоматично налаштовувати режим роботи двигуна для економії енергії [1].

Системи управління маршрутизацією також відіграють значну роль у підвищенні ефективності роботи транспорту. Вони дозволяють автоматично планувати оптимальні маршрути, враховуючи такі фактори, як стан доріг, завантаженість транспортної мережі та час пік. Завдяки цьому можна зменшити час поїздки, витрати енергії та підвищити комфорт для пасажирів.

Крім того, автоматизовані системи використовуються для управління технічним обслуговуванням транспорту. Сучасні методи прогнозного обслуговування дозволяють відстежувати знос деталей і вчасно планувати їх заміну, що значно знижує ризик аварій та збоїв. Збір даних про стан обладнання та їх аналіз у реальному часі забезпечує безперебійну роботу системи та мінімізує витрати на ремонт.

Таким чином, сучасні методи автоматизованого управління спрямовані на інтеграцію технологій, які забезпечують гнучкість, швидкість реагування та ефективність роботи електротранспорту. Їх використання не лише зменшує витрати, а й сприяє сталому розвитку транспортної системи, підвищуючи її безпеку, екологічність та продуктивність.

1.1 Аналіз існуючих систем управління транспортом

Система управління представляє собою сукупність технологічного об'єкта управління (ТОУ) й управляючої системи, дія якої спрямована на підтримку або поліпшення роботи об'єкта управління. Термін «технологічний об’єкт управління» стосується явищ реального світу, які розглядаються шляхом вивчення взаємозв’язків між зовнішніми впливами та характеристиками стану явища. Перший називається входом, а другий – виходом об'єкта. У деяких входах передбачаються керовані збурювання, а в інших – некеровані збурювання. Математична модель об'єкта управління – це формальний опис зв'язку між входами та виходами.

Технологічний об’єкт управління складається з набору основних технологічних інструментів і процедур, за допомогою яких виконується технологічний процес. Наприклад, система управління маршрутом міських пасажирських перевезень є технологічним об’єктом управління, який складається з траси маршруту, транспортних засобів, що працюють на ньому, і інструкцій, які регулюють транспортний процес, таких як «Правила дорожнього руху», Інструкція з експлуатації конкретного виду транспорту та

інші нормативні документи. Структурна схема системи управління наведена на рисунку 1.1.

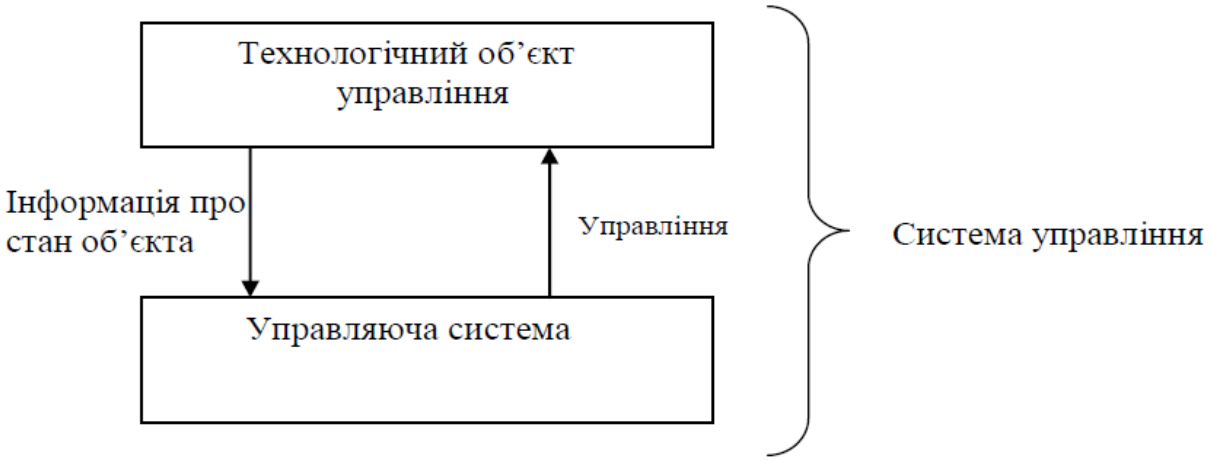


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи управління

Об'єкти управління можна класифікувати як нестійкі, так і стійкі.

Коли нестійкий об'єкт під дією зовнішніх або внутрішніх факторів (збурювань) виходить зі стану рівноваги, його вихідна функція прагне до нуля або до нескінченності. Необхідна система управління, щоб підтримувати нестійкий об'єкт у рівновазі. При закінченні впливу збурювань стійкий об'єкт автоматично повернеться у вихідний стан.

На основі спостережень відомі імовірнісні закономірності, яким вони підкоряються, або діапазон їхньої потенційної зміни. При виборі управляючих впливів слід враховувати невизначеність збурювань, виходячи з найгіршого їхнього поєднання (принцип гарантованого результату) або середнього значення за велику кількість збурювань із урахуванням ймовірності їх появи. Управління реальними виробничими об'єктами, як правило, передбачає, що керівництво може вибирати з широкого спектру можливих впливів. Прийняття рішень і нагляд за їх виконанням є двома аспектами управління. Таким чином, вибір керуючих впливів означає вибір послідовності рішень і методів контролю.

Основні принципи управління включають [3, 4]:

1) Принципи програмного управління. Закон зміни управління в часі є програмою, яка ефективно виконується, якщо властивості об’єкта управління повністю відомі, а ціль управління досяжна. Рішення тут приймаються відразу на весь час виконання завдання, щоб досягти мети.

2) Принцип управління за збурюванням. Управління формується як функція збурювань, якщо збурювання невідомі, але можуть бути відомі та обмірювані до моменту оперативного прийняття рішень.

3) Принцип зворотного зв’язку на основі стану Якщо можна оцінити лише стан об’єкта управління, закон управління можна виправити, отримавши інформацію про його стан. У цьому випадку управління залежить від поточного стану об’єкта, а точніше – від отриманої інформації.

Управління транспортними системами поєднує три принципи. Програма управління складається на основі наближеного опису об’єкта та зовнішньої ситуації, а потім розраховується процес зміни стану об’єкта з часом. Потім програма управління коригується з урахуванням поточної інформації про зовнішні збурювання та зміни реального стану від запланованого. Відповідно до цього розглядаються як оперативне, так і планове управління. Основні функції системи оперативного управління включають збір даних про поточний стан об’єкта управління, аналіз цих даних і визначення наявності порушень у процесі технологічного процесу; розробка команд для керівництва та доведення їх до виконавців; і передача цих команд.

Закон зміни об’єкта управління в часі відомий у детермінованих системах управління. Він може бути представлений у формі аналітичного рівняння, таблиці або графіка.

Стохастичні системи управління відрізняються тим, що їхні параметри змінюються випадково протягом часу. Стохастичні системи значно складніше керувати, ніж детерміновані.

В управлінні транспортними процесами структура системи управління є важливою. Структура системи – це сукупність зв’язків між елементами та елементами, що утворюють її. Залежно від того, як вони структуровані,

системи управління поділяються на централізовані, децентралізовані та змішані. Класифікація систем управління наведено на рисунку 1.2 [5 – 7].

У централізованих системах управління керування об’єктом здійснюється одним центральним диспетчерським пунктом (ЦДП). Це хороша система управління, оскільки вона дозволяє швидко усунути помилки в будь-якій підсистемі або мінімізувати наслідки цих помилок.

Основним недоліком централізованої системи управління є те, що робота всього технологічного об’єкта управління порушується при виході з ладу ЦДП.

У децентралізованих системах один диспетчерський пункт (ДП) керує кожною підсистемою. Хоча децентралізовані системи коштують більше, ніж централізовані, вони є більш надійними.



Рисунок 1.2 – Класифікація систем управління

Блок «Характер функціонування» включає види систем управління [8]:

- детерміновані;
- стохастичні (ймовірнісні).

Блок «Структура системи» включає види систем управління:

- централізовані;
- децентралізовані;
- змішані.

Блок «Функціональне призначення» включає види систем управління:

- системи стабілізації;
- системи, що стежать;
- системи програмного управління

Блок «Складність системи» включає види систем управління:

- прості;
- складні;
- дуже складні.

Блок «Кількість рівнів керування» включає види систем управління:

- однорівневі;
- багаторівневі (ієрархічні).

Блок «Топологія» включає види систем управління:

- зосереджені;
- розосереджені.

Блок «Ступінь автоматизації» включає види систем управління:

- системи диспетчерського управління;
- автоматизовані системи;
- автоматичні.

Якщо технологічний об’єкт управління неможливо повністю розділити на окремі взаємно незалежні підсистеми, використовується змішана структура системи управління.

Управління транспортними процесами здебільшого здійснюється за допомогою централізованих систем управління. Системи управління поділяються на системи стабілізації, системи стеження та системи програмного управління відповідно до їх функціонального призначення.

Системи стабілізації призначені для того, щоб підтримувати вихідні характеристики об’єкта управління на певному рівні, навіть якщо змінюються

вхідні змінні. Системи, що стежать, відстежують поточні значення вихідних характеристик об'єкта управління і повідомляють лише про те, коли ці значення досягають певних меж. Такі системи використовують для управління стійкими об’єктами.

У системах програмного управління формування керуючих дій відбувається відповідно до програми, яка була заздалегідь розрахована. Такою програмою можуть бути, наприклад, графік руху транспортного засобу, наряд на випуск транспортних засобів на маршрутну систему та інші функції.

Складність системи визначається кількістю її елементів. Системи з кількістю елементів до десяти (включно) вважаються простими; системи з кількістю елементів більше десяти і до тисячі вважаються складними, а системи з кількістю елементів більше тисячі вважаються дуже складними. Необхідно відзначити, що такий розподіл є умовним і може бути неправильним у деяких ситуаціях.

Системи управління поділяються на одноріневі та багаторівневі (ієрархічні). Складність системи визначається кількістю рівнів управління. Одноріневі системи є простими, багаторівневі системи є складними та дуже складними. Органи управління вищих рівнів впливають на об’єкт управління через агентів нижчестоящого рівня. Багаторівнева структура також визначає розумний порядок прийняття рішень: більше рішень приймається на нижньому рівні управління, менше – на верхньому [9].

Перехід від централізованих систем до децентралізованих є частиною поточного етапу розвитку систем управління транспортними процесами. Розподілена система управління створюється шляхом топологічної децентралізації об’єкта управління, що означає розподіл процесу або системи на локальні підсистеми на територіальному рівні. Три основні топологічні структури організації взаємодії підсистем у розподілених системах: радіальна, кільцева та магістральна.

1.2 Ефективність функціонування транспортних систем

Системи диспетчерського управління поділяються на автоматичні, автоматизовані та автоматичні за рівнем автоматизації процесів управління. У системах диспетчерського управління оператор відповідає за аналіз стану об’єкта управління та формування команд. Можливості людини з обробки інформації обмежені, тому такі системи не підходять для управління простими системами. Автоматичні системи працюють самостійно. За своїм технічним влаштуванням це найскладніші системи.

Без участі людини управління більшістю транспортних процесів поки неможливе або неефективне. Участь людей на різних рівнях управління неминуче робить завдання управління нездійсненними та повністю автоматизованими. З цієї причини автоматизовані системи управління (АСУ) широко поширені на транспорті. АСУ є людино-машинними системами, які призначені для збору та аналізу інформації про стан об’єкта управління та приведення об’єкта управління в оптимальний стан відповідно до прийнятого критерію оптимізації. Автоматизовані системи управління дорожнім рухом (АСУД) і автоматизовані системи диспетчерського управління міськими пасажирськими перевезеннями (АСДУ) є прикладами таких систем.

У процесі транспортування беруть участь як пасажири, так і транспортні підприємства. Основною метою діяльності підприємств транспорту є повне задоволення потреб у перевезеннях як населення, так і суспільного виробництва.

Послідовне вирішення наступного набору завдань, необхідних для досягнення мети міського пасажирського транспорту:

- зонування території міста;

- створення матриці пасажирських кореспонденцій між цими зонами;

- вибір оптимальних видів транспорту для забезпечення транспортних зв’язків між зонами;

- розробка оптимальних маршрутів і зупиночних пунктів;

- визначення необхідної кількості транспорту для досягнення цієї мети.

Схема взаємодії учасників транспортного процесу наведена на рисунку 1.3 [8].

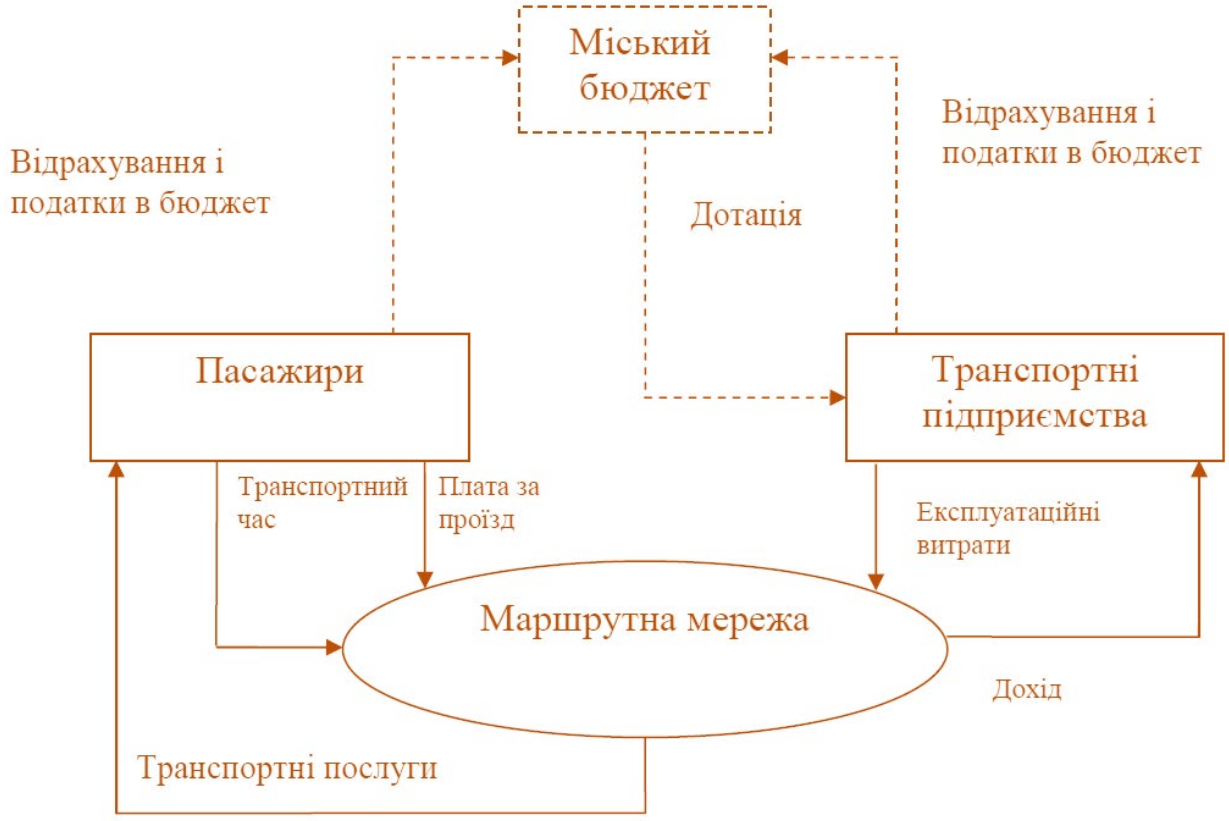


Рисунок 1.3 – Схема взаємодії учасників транспортного процесу [8]

Послуги міського пасажирського транспорту, які виконують великі перевезення, працюють відповідно до графіків руху, які були заздалегідь розроблені. Дії внутрішніх і зовнішніх збурювань на транспортну систему, такі як недовипуск транспортних засобів, несправності в дорожньому і дорожньому господарстві, система енергопостачання та інші причини, можуть призвести до відхилення функціонування системи від плану.

Методи диспетчерського управління спрямовані на точне виконання розкладів руху, щоб запобігти збоям у роботі транспорту та мінімізувати їхні наслідки. Збурювання поділяються на глобальні та локальні за ступенем впливу. Локальні збурення включають відхилення від графіків руху окремих транспортних засобів, короткі затримки руху на вулично-дорожній мережі

через затори та дорожньо-транспортні пригоди (ДТП). Основні параметри функціонування транспортної системи не змінюються, і їх можна компенсувати тими засобами, які зараз перебувають на маршрутах.

Збурювання, які змінюють один або кілька параметрів транспортної системи протягом тривалого періоду, називають глобальними. Прикладами таких збурень є недовипуск транспортних засобів із транспортних підприємств, схід транспортних засобів з лінії через технічні несправності, різкі зміни погоди та закриття окремих ділянок вулично-дорожньої мережі. Такі збурювання вимагають зміни режимів руху та додавання додаткових засобів до маршрутної системи. Зважаючи на те, що глобальні збурювання становлять лише незначну частину загальної кількості збурювань, вони не є більш значущими, ніж локальні збурювання. Локальні збурювання, оскільки вони є дуже поширеними, є основною причиною зниження рівня транспортного обслуговування населення.

Системи управління міського пасажирського транспорту має таку цільову функцію:

$$F = D - R - W$$

де D – дохід транспортних підприємств від надання транспортних послуг;
R – витрати на виконання перевезень;
W – вартісний еквівалент рівня (якості) транспортного обслуговування.

Цільова функція повинна враховувати потреби транспортних компаній і пасажирів. Перевезення та забезпечення високоякісних транспортних послуг є важливими для задоволення потреб пасажирів. Як наслідок, для задоволення потреб перевізників необхідно встановити тариф, який є економічно обґрунтованим, а також створити ефективний спосіб збору коштів від пасажирів за проїзд і виконання перевезень з найменшою затратою. Подібним чином можна продовжити декомпозицію процесу досягнення кінцевої мети до

рівня основних задач, тобто створити дерево цілей для системи управління (рис. 1.4) [10].



Рисунок 1.4 – Цілі системи управління пасажирськими перевезеннями

Тип цільової функції в системах управління транспортом залежить від багатьох факторів, зокрема способу формування її складових. Ці складові можуть суттєво варіюватися залежно від типу транспорту, до якого застосовується система (громадський транспорт, вантажний, легковий, електротранспорт тощо), а також від конкретних потреб і завдань, що стоять перед організаціями, які управляють цим транспортом.

Наприклад, для громадського транспорту цільова функція може включати мінімізацію часу очікування пасажирів, оптимізацію маршрутів і зменшення витрат енергії або палива. Для вантажного транспорту пріоритетними можуть бути мінімізація логістичних витрат, збільшення швидкості доставки вантажів або максимізація завантаження транспортних засобів.

Різні форми власності транспортних компаній також суттєво впливають на формування цільової функції. Приватні компанії зазвичай орієнтуються на максимізацію прибутку, оптимізацію витрат на технічне обслуговування, зменшення енергоспоживання або покращення якості обслуговування

клієнтів, щоб підвищити свою конкурентоспроможність. У той час державні чи муніципальні транспортні підприємства можуть ставити за мету задоволення суспільних потреб, забезпечення доступності транспорту для всіх категорій населення або зменшення впливу транспорту на екологію.

Також варто враховувати географічні та соціально-економічні особливості регіонів, де працюють транспортні компанії. У мегаполісах цільова функція може бути спрямована на зменшення заторів і інтеграцію різних видів транспорту, тоді як у сільських районах пріоритетом може бути забезпечення транспортної доступності для віддалених населених пунктів.

Крім того, вплив мають сучасні технології, які компанії використовують у своїй діяльності. Наприклад, у випадку електротранспорту ключовими складовими цільової функції можуть стати оптимізація енергоспоживання, ефективне використання акумуляторних батарей, впровадження систем рекуперації енергії або автоматизація управління. Для автономного транспорту до цільової функції додаються аспекти безпеки та надійності роботи автономних систем.

Отже, формування цільової функції є складним і багатогранним процесом, який потребує врахування специфіки транспорту, організаційних цілей, умов експлуатації та технологічних можливостей. Це дозволяє адаптувати систему управління до конкретних завдань і досягати високої ефективності роботи транспортних мереж.

1.3 Використання систем підтримки прийняття рішень

Розгалуженість маршрутної системи, кількість транспортних підприємств, кількість транспортних засобів на маршрутну систему та інші фактори визначають кількість рівнів управління.

Водії транспортних засобів, диспетчери транспортних підприємств з випуску, диспетчери кінцевих станцій і проміжні контрольні пункти є лінійним персоналом на нижньому рівні системи управління. На цьому рівні

контролюється випуск на лінію та виконання маршрутних графіків для окремих транспортних засобів.

Маршрутні диспетчери є другим рівнем системи управління, і вони відповідають за виконання планів випуску та графіків руху транспортних засобів на закріплених за ними маршрутах. Маршрутні диспетчери виконують заходи щодо регулювання руху за вказівками вищестоящого рівня, якщо графіки руху порушуються.

Центральні диспетчери транспортних засобів, таких як трамваї, тролейбуси та автобуси, є третім рівнем системи управління. На цьому рівні управління контролюється випуск транспортних засобів різних видів транспорту, виконання графіків руху та, якщо потрібно, координація роботи окремих маршрутів у межах маршрутної системи різних видів транспорту.

Центральні диспетчери видів транспорту знаходяться на четвертому рівні системи управління, якому підпорядковані старші центральні диспетчери. Єдиним розпорядником руху на всій маршрутній системі є старший центральний диспетчер. Він відповідає за виконання планів перевезення пасажирів різними видами транспорту, при необхідності координує свою роботу та підтримує зв’язок з центральними диспетчерами інших комунальних служб міста.

Існує ймовірність того, що ієрархія системи управління буде змінена відповідно до технічного рівня, який використовується в транспортній системі міста. Це може включати об’єднання деяких рівнів управління та перерозподіл обов’язків між рівнями, що залишилися, наприклад. Так, при впровадженні АСДУ на пасажирському транспорті та наявності мовних засобів.

Маршрутні диспетчери та водії першого рівня системи управління можуть бути позбавлені зв’язку, і завдання можуть бути передані маршрутним диспетчерам. Транспортні підприємства працюють під наглядом державних органів, таких як Міністерство транспорту, державні комітети, органи місцевого самоврядування та інші. Ці органи створюють більш високі рівні управління в транспортній галузі.

Транспортні послуги, які отримують пасажири, є результатом транспортного обслуговування населення підприємствами транспорту. Коли мова заходить про якість транспортної послуги, ми маємо на увазі сукупність характеристик послуги, які визначають її здатність задовольняти певні потреби клієнта відповідно до її призначення. Властивість транспортної послуги – це об'єктивна характеристика, яка може проявлятися під час її надання або споживання.

Показник якості транспортної послуги – це кількісна характеристика одного або декількох характеристик транспортної послуги, які складають її якість, розглянута в контексті певних умов надання (споживання).

Ознака транспортної послуги – це кількісна або якісна характеристика будь-якої з її характеристик. Параметр транспортної послуги – це кількісна характеристика будь-якої характеристики транспортної послуги. По суті, система управління транспортним процесом контролює якість транспортних послуг, які надаються населенню міста.

Наприклад, можна використовувати бали з урахуванням вагомості (коефіцієнтів відносної важливості) кожної властивості для визначення кількісного значення інтегральної оцінки якості транспортних послуг. Кількість балів визначає категорії якості транспортного обслуговування.

Регулярність руху є найважливішим показником якості транспортного обслуговування, оскільки вона показує, наскільки готовий пасажирський транспорт до обслуговування пасажирів. Якщо транспортні засоби вчасно прибувають на маршрут і відправляються в рейс, а інтервали руху між транспортними засобами на всіх зупинках відповідають заданим у розкладі, рух міського пасажирського транспорту вважається регулярним.

Навігація залежить від визначення просторово-часових координат транспортного засобу. Транспортні засоби можуть рухатися по вулично-дорожній мережі двома способами: випадково (індивідуальний транспорт, таксі); або за заздалегідь установленими маршрутами.

Фактична регулярність руху маршрутного транспорту визначається на основі даних про час проходження транспортними засобами контрольних пунктів. Контрольний пункт (КП) – це будь-яка точка маршруту, де транспортний засіб має встановлений час прибуття або відправлення. За допомогою засобів зв’язку ЦДП отримує інформацію про прибуття транспортного засобу на КП. Диспетчер на ЦДП (або спеціальний технічний пристрій, наприклад електронна машина) порівнює фактичний і плановий час прибуття транспортного засобу на певний КП. Якщо це відхилення від графіка, диспетчер видає команду, щоб усунути порушення.

Коефіцієнт регулярності руху обчислюють як [9]:

$$Кр = R/100,$$

де R – показник регулярності руху.

Інформаційно-телекомунікаційні рішення (ІТР) стали невід'ємною частиною сучасного управління транспортними підприємствами, оскільки вони дозволяють оптимізувати всі етапи логістичного процесу – від планування маршрутів до моніторингу технічного стану транспортних засобів. Вони інтегрують різні аспекти діяльності підприємств, сприяючи їхній ефективності, безпеці та екологічності (рис. 1.5) [11].

Основні компоненти логістичної схеми застосування ІТР [11]:

1) Планування та оптимізація маршрутів. Використання ІТР для розробки ефективних маршрутів дозволяє враховувати такі фактори, як стан доріг, завантаженість трафіку, погодні умови та потреби клієнтів. Алгоритми маршрутної оптимізації базуються на аналізі великих даних (Big Data) і використовують сучасні технології, такі як штучний інтелект і машинне навчання. Це дозволяє мінімізувати витрати пального чи енергії, скоротити час доставки та покращити обслуговування клієнтів.

2) Моніторинг транспортних засобів. Інформаційно-телекомунікаційні системи забезпечують реальний контроль над станом транспортних засобів за допомогою GPS-трекерів, датчиків та Інтернету речей (IoT). Такі рішення дозволяють у реальному часі відстежувати місцезнаходження транспорту, рівень палива, стан двигунів і акумуляторів, а також отримувати оперативні дані для ухвалення рішень.

3) Системи диспетчеризації. ІТР значно покращують координацію руху завдяки інтегрованим диспетчерським системам. Вони об'єднують усі елементи логістики в єдину платформу, забезпечуючи взаємодію між різними видами транспорту, а також між транспортними засобами й інфраструктурою. Це дозволяє уникати перевантажень маршрутів, швидко реагувати на позаштатні ситуації та підвищувати ефективність роботи підприємств.

4) Управління складськими операціями та вантажами. Завдяки ІТР підприємства можуть автоматизувати облік вантажів, планувати складування й ефективно використовувати складські площі. Інформаційні системи дозволяють вести облік у режимі реального часу, стежити за переміщенням вантажів і забезпечувати їхню своєчасну доставку.

5) Прогнозне технічне обслуговування. Інтеграція телекомунікаційних рішень з системами моніторингу технічного стану транспортних засобів дозволяє впроваджувати прогнозне обслуговування. За допомогою датчиків і алгоритмів аналітики можна виявляти потенційні несправності та планувати ремонт завчасно, знижуючи ризик збоїв і простоїв.

6) Автоматизація документообігу. Використання цифрових платформ для автоматизації облікових і юридичних процесів значно спрощує управління логістикою. Інформаційні системи дозволяють зменшити обсяг паперової роботи, забезпечуючи прозорість і точність документації.

7) Інтеграція з клієнтськими системами. Інформаційно-телекомунікаційні рішення дозволяють створювати клієнтські портали та мобільні додатки, через які замовники можуть відстежувати стан доставки, отримувати інформацію про послуги та взаємодіяти з транспортним

підприємством. Це підвищує задоволеність клієнтів і зміцнює конкурентоспроможність компаній.

8) Підтримка прийняття рішень. Інтелектуальні інформаційні системи можуть забезпечувати автоматизовану аналітику, прогнозування та рекомендації для ухвалення рішень. Це дозволяє керівникам підприємств швидко адаптувати стратегії управління до змін ринку та умов роботи.

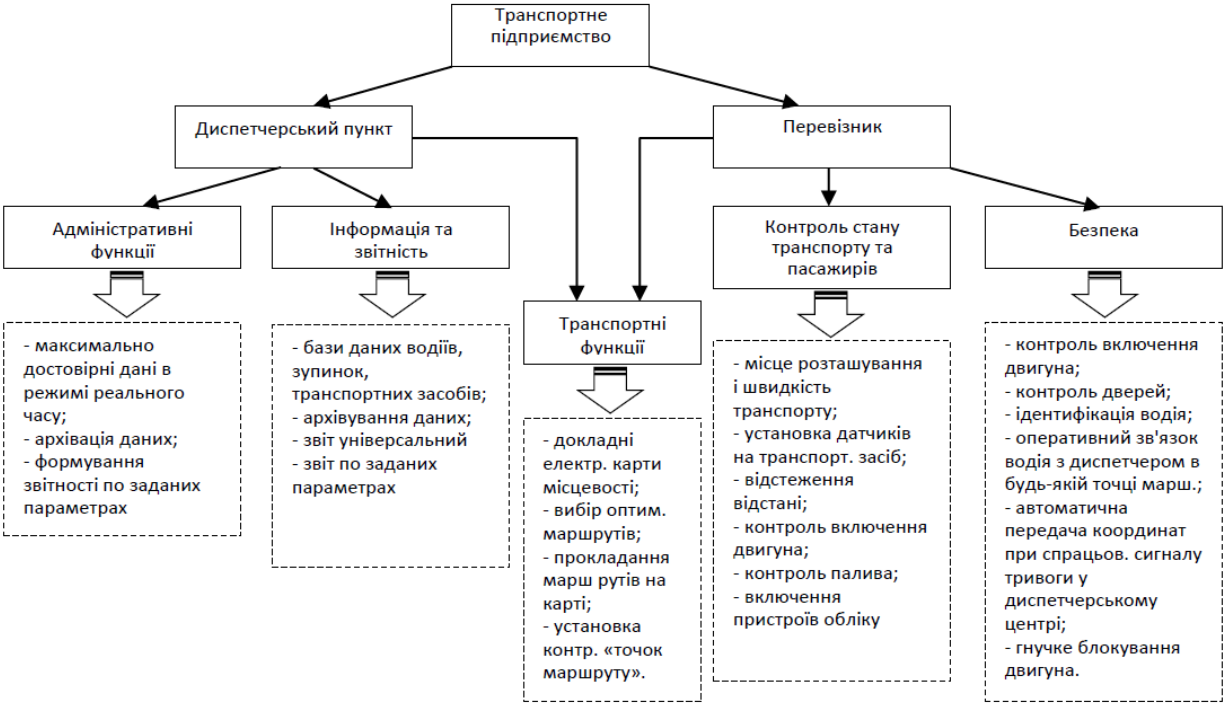


Рисунок 1.5 – Структурна схема основних можливостей застосування інформаційно-телекомунікаційних рішень [11]

Застосування інформаційно-телекомунікаційних рішень сприяє зниженню витрат на паливо, енергію, технічне обслуговування та логістичні операції. Крім того, впровадження ІТР дозволяє мінімізувати викиди шкідливих речовин, сприяючи сталому розвитку транспортної галузі.

ІТР створюють єдину інтегровану систему управління, яка включає всі рівні діяльності транспортних підприємств. Ключовими вузлами взаємодії є:

- транспортні засоби (оснащені датчиками й трекерами);
- інфраструктура (розумні зупинки, зарядні станції тощо);
- диспетчерські центри (координують рух і операції).

Клієнти та партнери (отримують доступ до інформації через цифрові платформи). Таким чином, інформаційно-телекомунікаційні рішення є ключовим інструментом для підвищення ефективності, безпеки та якості послуг транспортних підприємств. Їхнє впровадження дозволяє оптимізувати всі аспекти діяльності, забезпечуючи конкурентні переваги на ринку.

Одним із ефективних сучасних інструментів є використання різноманітних систем управління транспортом, наприклад система TMS. Програмне забезпечення під назвою система управління транспортом (TMS) допомагає компаніям керувати потребами в транспорті та логістиці. Воно забезпечує єдиний огляд логістики компанії, щоб оптимізувати розподіл товарів, гарантувати своєчасну доставку та забезпечувати відстеження кожного відправлення.

До основних функцій TMS можна віднести панель керування, управління тарифами, калькулятор вартості доставки, комерційні пропозиції, бронювання, відстеження.

Панель керування консолідує всю інформацію про вантажоперевезення в одному вікні, забезпечуючи повну видимість кожного відправлення, незалежно від способу доставки чи перевізника.

Управління тарифами дозволяє керувати всіма тарифами на вантажоперевезення через одну систему, спрощуючи процеси та економлячи час.

Калькулятор вартості доставки розраховує ціну та час транзиту для різних перевізників та способів доставки, допомагаючи обрати найкращий варіант.

Комерційні пропозиції дозволяє надсилати запити на перевезення різним перевізникам для отримання онлайн-цін та часу транзиту, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень.

Бронювання надає можливість розміщувати замовлення на перевезення безпосередньо з програмного забезпечення, інтегруючись з електронними системами перевізників.

Відстеження забезпечує огляд місцезнаходження відправлення в режимі реального часу, підвищуючи прозорість та контроль.

У роботі [11] запропоновано функціональну схему систему підтримки прийняття рішень (рис. 1.6).

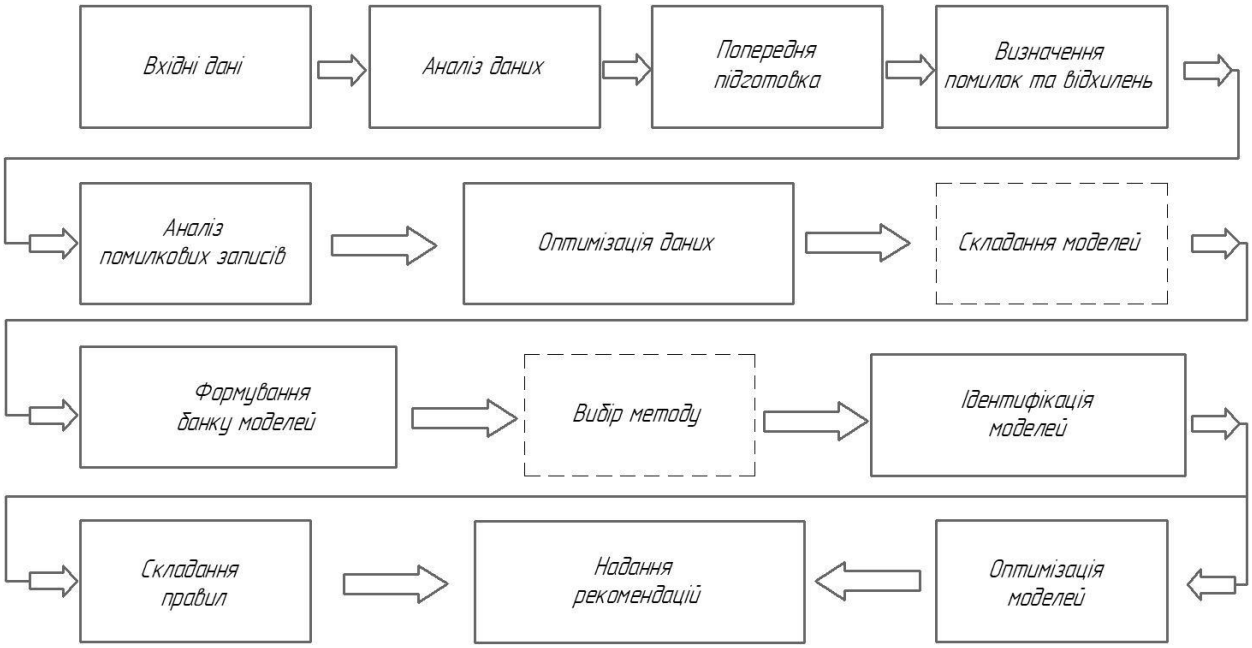


Рисунок 1.6 – Функціональна схема розробленої системи підтримки прийняття рішень [9]

Алгоритмізація інтелектуальних методів і створення на їх основі системи підтримки прийняття рішень можуть бути використані для систематизації завдань, вирішення яких веде до розв’язання проблеми автоматизації пасажироперевезень.

Отже, в розділі вперше розробляється інтелектуальна система підтримки прийняття рішень для автоматизації пасажирських перевезень. Основним призначенням цієї системи є прогнозування та швидка автоматична стабілізація надзвичайних ситуацій (аварійних, стресових) у громадському транспорті, а також верифікація методів відновлення даних для цієї системи. Цей тип інтелектуальної СППР використовує нейро-нечіткі мережеві методи. Алгоритм TSK (Takagi-Sugeno-Kanga), який має нечітке логічне виведення, рекомендується для навчання такої нейромережі. Він використовується для

пошуку узагальнень для правил, які не мають аналогів у базі знань СППР. Перевагами цього алгоритму є менша похибка апроксимації функції порівняно з іншими алгоритмами, його простіше використовувати та його значно менший час обчислення.

Таким чином, удосконалення інформаційної системи підтримки прийняття рішень дозволяє автоматизувати процес прийняття рішень щодо міського пасажироперевезення, враховуючи думку групи експертів. Це підвищило безпеку руху та якість обслуговування пасажирів. Дану систему можна використовувати на транспортних підприємствах з перевезення пасажирів і легко автоматизувати для виконання всіх завдань, необхідних для підтримки прийняття рішень у ситуаційних центрах.

1.4 Загальні принципи автоматизації транспортних систем

Автоматизація транспортних систем базується на впровадженні технологій, які забезпечують ефективне управління ресурсами, зниження витрат, підвищення безпеки та мінімізацію впливу на навколишнє середовище. Загальні принципи автоматизації формують концептуальну основу для побудови систем, які інтегрують усі рівні управління транспортом.

Основні елементи автоматизованих транспортних систем включають різні елементи. Розглянемо їх.

Датчики та пристрої збору даних є фундаментальним елементом автоматизованих систем. Вони забезпечують збір даних про транспортні засоби (швидкість, місцезнаходження, стан двигуна), стан дорожньої інфраструктури (якість покриття, трафік) і зовнішні умови (погода, завантаженість маршрутів). Ці дані надходять до центральних систем управління для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Автоматизовані системи включають центральні платформи, які обробляють великі обсяги даних у режимі реального часу. Ці платформи базуються на використанні хмарних технологій, великих даних (Big Data) та

штучного інтелекту. Вони забезпечують координацію роботи транспортних засобів, аналіз трафіку та інтеграцію з іншими системами міської інфраструктури.

Алгоритми управління та прогнозування є основою автоматизованих систем, які дозволяють аналізувати дані та прогнозувати ситуації. Наприклад, вони можуть визначати оптимальні маршрути, прогнозувати затори або оцінювати технічний стан транспортного засобу. Адаптивність алгоритмів, які використовують машинне навчання, дозволяє системам удосконалювати свої функції на основі накопиченого досвіду.

Інтерфейси для користувачів та операторів. Інформація, яку генерують автоматизовані системи, надається операторам через зручні інтерфейси. Це можуть бути панелі диспетчерів, мобільні додатки для водіїв або інструменти для пасажирів, які дозволяють відстежувати транспорт у реальному часі. Ефективна комунікація між системою та користувачами є критичним аспектом автоматизації.

Загальні принципи роботи автоматизованих транспортних систем побудовані таким чином [12].

Автоматизовані системи базуються на інтеграції даних із різних джерел. Це дозволяє створювати комплексну картину стану транспортної мережі, включаючи інформацію про транспортні засоби, дороги та зовнішнє середовище. Інтеграція даних дозволяє приймати зважені рішення, спрямовані на оптимізацію транспортних процесів.

Оперативність і адаптивність – системи автоматизації працюють у режимі реального часу, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в умовах роботи транспорту. Наприклад, при виникненні заторів система може перенаправити транспортні потоки, щоб уникнути затримок. Адаптивність дозволяє системам навчатися на основі нових даних і вдосконалювати свої функції.

Системність та масштабованість – автоматизовані системи побудовані таким чином, щоб вони могли інтегрувати різні компоненти транспортної

інфраструктури в єдину мережу. Вони також є масштабованими, тобто можуть адаптуватися до змінних потреб, таких як зростання обсягу транспорту або впровадження нових видів транспорту.

Автоматизовані системи забезпечують прозорість роботи транспортних підприємств. Завдяки автоматичному збору даних про всі операції можна здійснювати точний моніторинг та звітність. Це сприяє підвищенню довіри до систем з боку користувачів і регулюючих органів.

Впровадження загальних принципів автоматизації суттєво впливає на ефективність і якість роботи транспортних систем. Вони дозволяють зменшити витрати енергії та ресурсів завдяки оптимізації операцій; підвищити безпеку руху через точний моніторинг і управління; забезпечити комфорт пасажирам завдяки зручним інструментам взаємодії з системами; підвищити екологічність транспортної галузі через зниження викидів.

Попри численні переваги, реалізація загальних принципів автоматизації стикається з низкою викликів:

Загальні принципи автоматизації транспортних систем формують фундамент для розробки та впровадження інноваційних технологій, які сприяють підвищенню ефективності, безпеки та екологічності транспорту. Їх застосування дозволяє створити інтегровану, адаптивну й надійну транспортну інфраструктуру, яка відповідає сучасним вимогам та викликам.

2 АЛГОРИТМИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

2.1 Роль автоматизації у транспортних системах

Автоматизація транспортних систем є одним із ключових чинників, які визначають ефективність, безпеку та стійкість сучасних транспортних мереж. Її роль особливо важлива в умовах глобалізації, урбанізації та зростання попиту на екологічно чисті види транспорту. Завдяки впровадженню автоматизації стало можливим значно підвищити ефективність управління транспортними потоками, скоротити витрати ресурсів і зменшити негативний вплив транспорту на навколишнє середовище.

У цьому контексті автоматизація включає впровадження сучасних технологій, таких як штучний інтелект (ШІ), Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data) та цифрові системи управління. Вони дозволяють оптимізувати не лише транспортні процеси, а й взаємодію між різними видами транспорту, що особливо важливо для електротранспорту як екологічно орієнтованого виду перевезень [13].

Основні напрямки автоматизації у транспорті можна розділити на такі: управління рухом транспортних засобів, оптимізація енергоспоживання, інтелектуальні транспортні системи, автоматизоване обслуговування і ремонт, Безпека транспорту. Розглянемо їх окремо.

Управління рухом транспортних засобів. Одним із ключових напрямків автоматизації є управління рухом транспортних засобів. Сучасні системи диспетчеризації дозволяють відстежувати місцезнаходження транспортних засобів у реальному часі, аналізувати їхні маршрути та оптимізувати розклади. Це сприяє зниженню заторів, скороченню часу поїздок і покращенню пасажирського обслуговування.

Оптимізація енергоспоживання. У випадку електротранспорту автоматизація сприяє значному зменшенню витрат енергії. Системи, які аналізують поведінку транспорту та прогнозують споживання енергії,

допомагають мінімізувати втрати. Використання рекуперації енергії та адаптивного управління потужністю двигунів є яскравим прикладом автоматизованих рішень.

Інтелектуальні транспортні системи (ITC). ITC об'єднують різні аспекти автоматизації, включаючи моніторинг доріг, управління світлофорами та координацію роботи громадського транспорту. Такі системи використовують великі дані для аналізу транспортних потоків та виявлення можливих перешкод, що дозволяє швидко реагувати на зміну умов руху.

Автоматизоване обслуговування і ремонт. Прогнозне обслуговування є важливим аспектом автоматизації. Збір даних про технічний стан транспортних засобів дозволяє своєчасно виявляти можливі проблеми та запобігати аварійним ситуаціям. Це знижує витрати на ремонт і підвищує надійність транспортних систем.

Безпека транспорту. Автоматизація сприяє підвищенню безпеки як для пасажирів, так і для пішоходів. Впровадження систем, що попереджають зіткнення або автоматично регулюють швидкість, дозволяє знизити кількість аварійних ситуацій.

Автоматизація транспортних систем базується на впровадженні інноваційних технологій, які змінюють підхід до управління транспортом. Серед ключових технологій варто виділити наступні [14]:

- штучний інтелект (ШІ). ШІ використовується для аналізу складних транспортних потоків, прогнозування заторів і розробки оптимальних маршрутів. Завдяки машинному навчанню транспортні системи можуть адаптуватися до змін у реальному часі, забезпечуючи більш ефективне управління;
- інтернет речей (IoT). Технології IoT дозволяють підключати транспортні засоби до єдиної мережі, де вони можуть обмінюватися даними про стан дороги, погоду або трафік. Це створює умови для більш точного планування руху та підвищення безпеки;

- великі дані (Big Data). Аналіз великих обсягів даних сприяє прогнозуванню транспортних потреб, управлінню ресурсами та оцінці ефективності роботи систем. Використання Big Data у транспорті дозволяє виявляти слабкі місця та оптимізувати всі аспекти роботи транспортної мережі;
- автономні транспортні засоби. Автономні автомобілі та інші види транспорту є прикладом повної автоматизації. Вони можуть функціонувати без участі людини, використовуючи датчики, камери та алгоритми штучного інтелекту;
- цифрові платформи. Цифрові платформи дозволяють об'єднати управління різними видами транспорту, включаючи громадський, комерційний та індивідуальний. Це сприяє більшій узгодженості роботи транспортної мережі.

Розглянемо переваги автоматизації на транспорті:

1) Скорочення витрат часу, енергії та ресурсів;

2) Зменшення викидів парникових газів;

3) Підвищення рівня безпеки.

4) Зручність для користувачів. Автоматизація забезпечує кращу координацію руху транспорту, що позитивно впливає на комфорт пасажирів.

Для електротранспорту автоматизація має особливе значення. Вона сприяє більш ефективному використанню енергоресурсів, інтеграції з іншими видами транспорту та підвищенню зручності для пасажирів. Наприклад, автоматизовані системи управління можуть враховувати особливості маршруту та рівень заряду батарей, оптимізуючи роботу електротранспорту. Крім того, автоматизація сприяє інтеграції рекуперативних систем, які дозволяють відновлювати енергію під час гальмування.

До недоліків автоматизації можна віднести:

1) Більш висока вартість об’єктів;

2) Складність інтеграції різних систем та потреба у кваліфікованому персоналі;

3) Необхідність забезпечення кібербезпеки.

Отже, роль автоматизації у транспортних системах є вирішальною для їхнього подальшого розвитку. Завдяки інтеграції інноваційних технологій стає можливим не лише покращення ефективності роботи транспорту, а й зниження негативного впливу на довкілля. Особливо це актуально для електротранспорту, де автоматизація дозволяє максимізувати його екологічні та економічні переваги. Хоча впровадження автоматизації супроводжується певними труднощами, її перспективи є надзвичайно багатообіцяючими, адже вона сприяє створенню стійких, безпечних і зручних транспортних систем майбутнього.

2.2 Аналіз існуючих методів енергозбереження

Енергозбереження є одним із ключових завдань у сучасних транспортних системах, адже воно впливає на економічну ефективність, екологічність і тривалість експлуатації транспортних засобів. Аналіз існуючих методів енергозбереження дозволяє оцінити їхню ефективність, визначити переваги та недоліки, а також знайти можливості для вдосконалення.

Основні методи енергозбереження в транспорті. Одним із найпоширеніших методів енергозбереження є оптимізація маршрутів і графіків руху. Використання алгоритмів, які враховують дорожні умови, інтенсивність руху, погодні фактори та тип транспортного засобу, дозволяє мінімізувати витрати енергії. Це особливо актуально для громадського транспорту, де оптимізація маршрутів знижує витрати на перевезення пасажирів та зменшує кількість порожніх рейсів [15].

Основні аспекти оптимізації маршрутів включає аналіз дорожніх умов, врахування інтенсивності руху, погодні умови, тип транспортного засобу.

Оптимізація маршрутів враховує стан дорожньої інфраструктури, завантаженість доріг і наявність заторів. Завдяки використанню даних у реальному часі, транспортні засоби можуть уникати заторів або дорожніх

ремонтів, що дозволяє заощаджувати енергію, яка витрачається на часті зупинки і розгони. Застосування таких систем особливо актуальне для міських маршрутів, де інтенсивність руху значно варіюється протягом дня.

Оптимізація графіків і маршрутів базується на аналізі пасажиропотоків, щоб забезпечити найбільш раціональне використання транспорту. Наприклад, у години пік графіки можуть передбачати збільшення кількості рейсів, щоб уникнути переповнення транспортних засобів, тоді як у періоди низької завантаженості частота рейсів зменшується для зниження витрат енергії.

Алгоритми оптимізації враховують погодні умови, які можуть впливати на швидкість руху та енергоспоживання. Наприклад, у дощову або снігову погоду транспортні засоби можуть працювати в енергозберігаючому режимі з регулюванням швидкості для уникнення надмірного зношення або додаткових витрат пального/енергії.

Важливим фактором є врахування характеристик транспортного засобу: його енергоспоживання, потужності двигуна, рівня завантаженості. Наприклад, електробуси можуть спрямовуватися на маршрути з меншими перепадами висот, щоб уникати додаткових витрат енергії на підйом, тоді як дизельні автобуси можуть використовуватися на більш енерговитратних маршрутах.

Серед технологій, що застосовуються для оптимізації графіків і маршрутів можна назвати такі.

Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS). Сучасні системи GPS дозволяють точно визначати місцезнаходження транспортних засобів та оптимізувати їх маршрути в реальному часі. Дані про дорожню ситуацію надходять до диспетчерських центрів, які координують рух транспорту [16].

Використання штучного інтелекту дозволяє аналізувати великі обсяги даних про транспортні потоки, погодні умови, поведінку пасажирів та інші змінні. На основі цих даних системи прогнозують найбільш ефективні маршрути та графіки.

Інтелектуальні диспетчерські системи координують роботу транспорту, враховуючи реальні умови руху. Вони дозволяють оперативно змінювати маршрут або розклад у разі виникнення надзвичайних ситуацій, таких як аварії або несприятливі погодні умови.

Аналіз великих даних дозволяє моделювати транспортні потоки та виявляти вузькі місця в системі. Ці дані використовуються для стратегічного планування та побудови довгострокових оптимізованих маршрутів.

Скорочення відстані, яку долають транспортні засоби, та уникнення заторів дозволяє мінімізувати витрати пального чи електроенергії. Це забезпечує економію ресурсів і знижує операційні витрати.

Вивчення попиту на перевезення дозволяє уникати рейсів із низьким завантаженням. Це досягається через оптимальне планування часу відправлення транспорту та маршрутів.

Оптимізація маршрутів дозволяє зменшити час очікування пасажирів, скоротити тривалість поїздок і забезпечити комфортність пересування. Це стимулює використання громадського транспорту, що зменшує навантаження на особисті автомобілі та знижує затори.

Зниження витрат енергії зменшує викиди шкідливих речовин у атмосферу, що позитивно впливає на екологічний стан міст.

У той же час ефективність оптимізації залежить від якості та актуальності даних про транспортну мережу, пасажиропотоки та дорожні умови, зміну попиту на перевезення, динамічність поведінки пасажирів.

Отже, оптимізація маршрутів і графіків руху є потужним інструментом для енергозбереження в транспортних системах. Завдяки інтеграції сучасних технологій вона дозволяє не лише економити енергію, а й підвищувати якість послуг для пасажирів, сприяючи сталому розвитку міської транспортної інфраструктури.

Рекуперація – це процес відновлення частини енергії, яка зазвичай втрачається під час гальмування транспортного засобу. У випадку електротранспорту, такого як трамваї, електробуси або електропоїзди,

рекуперація дозволяє перетворити кінетичну енергію у електричну, яка потім зберігається в акумуляторах або повертається до електромережі. Це значно підвищує енергоефективність систем.

Рекуперація енергії є різновидом електричного гальмування і являє собою процес перетворення кінетичної енергії транспортного засобу на електричну, яку можна використовувати повторно або зберігати для подальшого використання. Вона є ключовим механізмом для підвищення енергоефективності, особливо у транспортних засобах з електроприводом, таких як трамваї, електробуси, і електропоїзди.

Як відомо, кінетична енергія транспортного засобу визначається як:

$$E_к = \frac{1}{2} m v^2$$

де:

m – маса транспортного засобу (кг);

v – швидкість транспортного засобу (м/с).

Під час гальмування кінетична енергія, яка зазвичай втрачається у вигляді тепла, у системах рекуперації перетворюється на електричну енергію.

Ефективність системи визначається коефіцієнтом η, який характеризує частку кінетичної енергії, що перетворюється на електричну:

$$E_{відн} = \eta \cdot E_k$$

де:

$E_{відн}$ – відновлена енергія, Дж;

η – коефіцієнт ефективності. Зазвичай η приймається на рівні 70…90 %.

На графіку (рис. 2.1) показано залежність кінетичної енергії від швидкості та обсяг енергії, яка може бути відновлена за умови 80 % ефективності системи.

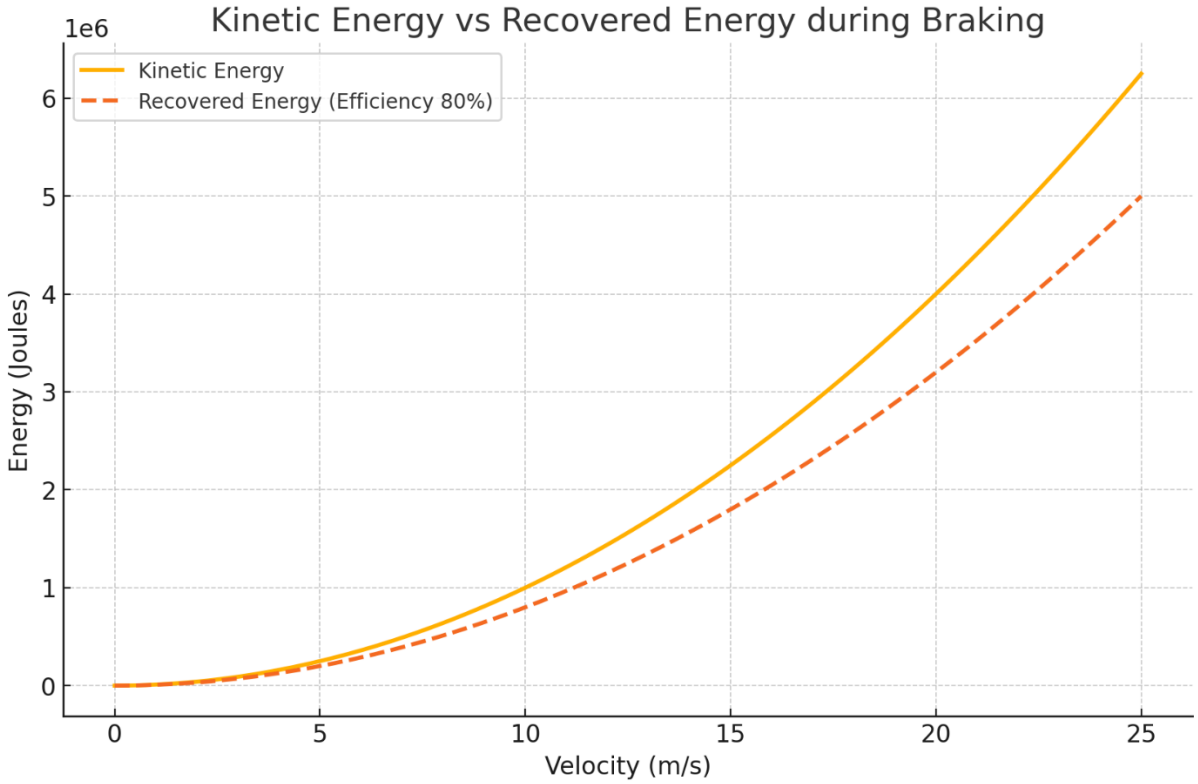


Рисунок 2.1 – Залежність кінетичної енергії від швидкості

Розглянемо приклад.

Для трамвая масою 20000 кг при швидкості 20 м/с кінетична енергія становить:

$$E_к = \frac{1}{2} \cdot 20000 \cdot 20^2 = 4000 \text{ кДж}$$

Відновлена енергія (при $\eta = 0.8$):

$$E_{відн} = 0{,}8 \cdot 4000 = 3200 \text{ кДж}$$

Використання енергії від рекуперації може йти двома шляхами, а саме зберігання в акумуляторних батареях або повернення енергії в контактну мережу. Енергія може використовуватися для прискорення транспорту після зупинки. У системах з живленням від контактної мережі відновлена енергія

повертається до електромережі для використання іншими транспортними засобами. Перший варіант (заряд акумуляторів від енергії рекуперації) притаманний для електромобілів, а повернення електричної енергії в контактну мережу – для електричного транспорту із зовнішнім живленням, наприклад, електровози, електропоїзди, електрорухомий склад метрополітену, трамваї, тролейбуси.

Але слід враховувати, що рекуперація можлива за умови виконання двох умов [17]:

1) напруга від електромашини має бути вище ніж на затискачах акумуляторів/контактної мережі;
2) має бути споживач електричної енергії. Це означає, що якщо, припустимо, акумуляторна батарея повністю заряджена, то рекуперація відбуватися не буде. Те ж саме стосується електротранспорту із зовнішнім живленням. Для забезпечення режиму рекуперації необхідно, щоб на даній блокділянці був інший електрорухомий склад, причому у режимі тяги. Це є недоліком даної системи. Але сучасні системи пропонують вирішення даної проблеми шляхом встановлення паралельно з акумуляторними батареями або у якості окремих блоків суперконденсаторів, які дозволяють швидко накопичувати електроенергію і в подальшому її використовувати або для заряду акумуляторів або для створення тяги.

Застосування енергоефективних двигунів. Використання сучасних двигунів із підвищеним коефіцієнтом корисної дії (ККД) сприяє зниженню енергоспоживання. Електродвигуни нового покоління, такі як синхронні двигуни з постійними магнітами або асинхронні двигуни з частотним управлінням, забезпечують більшу продуктивність при меншій витраті енергії. У традиційному транспорті також впроваджуються двигуни внутрішнього згоряння із технологіями економії пального.

Використання сучасних двигунів із підвищеним коефіцієнтом корисної дії (ККД) є ключовим аспектом підвищення енергоефективності транспортних

засобів. Розвиток технологій дозволяє створювати двигуни, які забезпечують оптимальне співвідношення між витратами енергії та продуктивністю, мінімізуючи енергетичні втрати. Це особливо важливо як для електротранспорту, так і для транспортних засобів із традиційними двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Синхронні двигуни з постійними магнітами (PMSM) використовуються у сучасних електромобілях, електробусах і поїздах завдяки їхньому високому ККД, який може досягати 95 %. Основними перевагами цих двигунів є:

- високий ККД за рахунок використання магнітного поля, яке створюється постійними магнітами, що зменшує електричні втрати;
- кращі маса-габаритних характеристики;
- забезпечення потужного крутного моменту навіть на низьких швидкостях, що підвищує продуктивність транспорту в міських умовах.

Асинхронні двигуни (ACIM) із частотним управлінням залишаються популярним вибором завдяки їхній надійності, довговічності та простоті обслуговування. Частотне управління дозволяє змінювати швидкість і момент двигуна залежно від умов руху, що значно знижує енергоспоживання. Їхні переваги:

- ефективне управління енергоспоживанням, є можливість адаптувати швидкість обертання до потреб транспорту;
- довговічність та надійність завдяки відсутності колекторного вузла;
- асинхронні двигуни зазвичай дешевші у виробництві та обслуговуванні порівняно з PMSM.

Також зараз розробляються двигуни із супрапровідними обмотками або використанням інноваційних матеріалів, які знижують втрати енергії до мінімуму. Такі технології ще перебувають у стадії тестування, але вони є перспективними для застосування на електротранспорті.

Попри зростаючу популярність електротранспорту, двигуни внутрішнього згоряння залишаються актуальними в багатьох сферах, зокрема

у вантажному та міжміському транспорті. Нові розробки спрямовані на підвищення їхньої енергоефективності за рахунок впровадження таких технологій як: турбонаддув, система старт-стоп, пряме впорскування пального, гібридні системи.

Турбонаддув використовує турбокомпресори, що дозволяє збільшити потужність двигуна без суттєвого збільшення об'єму циліндрів. Це забезпечує економію пального і зниження викидів CO_2.

Система старт-стоп у міських умовах автоматично вимикає двигун під час зупинок (наприклад, на світлофорах) і запускає його, коли водій натискає на педаль газу. Це знижує споживання пального в умовах інтенсивного руху.

Система прямого впорскування забезпечує точну подачу пального безпосередньо до камери згоряння, що підвищує ефективність роботи двигуна і зменшує витрати.

Гібридні системи поєднують ДВЗ з електродвигунами, що дозволяє використовувати переваги обох типів. Електродвигуни забезпечують економію пального під час повільного руху, а ДВЗ – потужність на великих швидкостях або тривалих дистанціях.

Підвищення ККД двигунів дозволяє значно знизити загальне енергоспоживання транспортного засобу. Наприклад, для електродвигуна з ККД 95% втрати енергії становлять лише 5%, тоді як у традиційних ДВЗ втрати сягають 60…70 %.

Отже, застосування енергоефективних двигунів є важливим кроком до створення стійкої транспортної системи. Інноваційні розробки, такі як синхронні двигуни з постійними магнітами, асинхронні двигуни з частотним управлінням та вдосконалені ДВЗ, сприяють зменшенню енергоспоживання, покращенню екологічних показників і підвищенню економічності транспортних засобів. Подальший розвиток технологій забезпечить ще більшу ефективність та ширше застосування таких рішень у транспортній галузі.

Аеродинамічні вдосконалення. Для зменшення енергоспоживання на швидкісних трасах важливим є зниження опору повітря. Застосування

аеродинамічних покращень, таких як обтічники, дифузори та спойлери, дозволяє зменшити витрати енергії на подолання аеродинамічного опору.

Зниження ваги транспортних засобів. Легкі матеріали, такі як алюмінієві сплави, композити або вуглепластик, використовуються для зменшення ваги транспортних засобів. Менша вага сприяє зниженню витрат енергії на пересування, особливо в електротранспорті, де зниження маси дозволяє збільшити запас ходу. Але це питання не є однозначним, оскільки питання маси транспортного засобу пов’язане і з іншими показниками, наприклад, з безпекою, стійкості руху тощо. Або для електровозів маса має вирішальне значення для забезпечення необхідної сили зчеплення колеса з рейкою.

Енергоефективне управління кліматичними системами. Системи кондиціювання та обігріву в транспортних засобах можуть споживати значну кількість енергії. Застосування адаптивних кліматичних систем, які регулюють температуру на основі поточних умов, дозволяє скоротити енергоспоживання. Крім того, використовуються теплові насоси, які є більш енергоефективними порівняно з традиційними системами.

Використання альтернативних джерел енергії. Перехід на поновлювані джерела енергії, такі як сонячна чи вітрова енергія, сприяє зниженню споживання традиційних енергоресурсів. У транспорті дедалі частіше використовуються фотоелектричні панелі для живлення допоміжних систем або зарядні станції, що працюють від поновлюваних джерел.

Інтеграція інтелектуальних систем управління дозволяє значно підвищити ефективність використання енергії у транспорті. До основних рішень належать (будуть розглянуті далі).

Існуючі методи енергозбереження пропонують широкий спектр рішень для оптимізації витрат енергії у транспорті. Їх ефективність значною мірою залежить від рівня технологічної інтеграції, готовності інфраструктури та доступності ресурсів. Аналіз цих методів дозволяє визначити найбільш перспективні напрями розвитку, які забезпечать подальше підвищення енергоефективності та зниження екологічного впливу транспортних систем.

2.3 Алгоритми штучного інтелекту для адаптивного управління

Штучний інтелект (ШІ) є основою сучасних систем управління транспортом. Алгоритми ШІ забезпечують адаптивне управління, що дозволяє транспортним системам швидко реагувати на змінні умови роботи, такі як завантаженість доріг, погодні фактори або технічний стан транспортних засобів. Завдяки використанню машинного навчання, аналізу великих даних (Big Data) та інших технологій, адаптивне управління забезпечує ефективність, безпеку і зниження витрат енергії.

Основні типи алгоритмів штучного інтелекту для адаптивного управління

Машинне навчання (Machine Learning) дозволяє системам аналізувати великі обсяги даних, знаходити закономірності та вдосконалювати свої моделі управління на основі нової інформації. Основні підходи [15 – 17]:

- супервізоване навчання використовується для створення моделей, що прогнозують ситуації на основі історичних даних, наприклад, прогноз заторів;
- ненаглядне навчання дозволяє системам знаходити нові шаблони в даних, наприклад, класифікація типів транспортних потоків;
- рекомендоване навчання (Reinforcement Learning). Системи навчаються через взаємодію з середовищем, удосконалюючи управління в реальному часі, наприклад, оптимізація світлофорів для мінімізації заторів;
- глибокі нейронні мережі (Deep Neural Networks) дозволяють вирішувати складніші завдання адаптивного управління. Вони використовуються для розпізнавання образів (наприклад, розпізнавання номерних знаків чи дорожніх знаків), прогнозування транспортних потоків і моделювання змін у реальному часі, автоматизації управління автономними транспортними засобами.

Обробка природної мови (Natural Language Processing, NLP) використовується для взаємодії між системами управління та операторами. Наприклад, системи можуть отримувати голосові команди від диспетчерів або пасажирів і адаптувати маршрут або розклад руху.

Еволюційні алгоритми (Genetic Algorithms) використовуються для оптимізації складних багатофакторних процесів, таких як розподіл ресурсів між транспортними засобами або планування маршрутів у великих транспортних системах.

Розглянемо основні функції адаптивного управління, які забезпечуються ШІ [18]:

- оптимізація маршрутів і графіків. Алгоритми ШІ аналізують дорожні умови, пасажиропотоки, погодні фактори та інші змінні в реальному часі, забезпечуючи найкоротші й найефективніші маршрути. Це знижує витрати енергії та часу;
- прогнозування завантаженості транспортної мережі. ШІ може прогнозувати затори на основі історичних даних та поточних умов, що дозволяє завчасно перенаправляти транспортні потоки. Наприклад, система може запропонувати альтернативні маршрути для автобусів у години пік;
- адаптивне управління світлофорами. Використання алгоритмів ШІ дозволяє адаптувати режими роботи світлофорів залежно від інтенсивності руху на кожному перехресті. Це зменшує час очікування і оптимізує потоки транспорту;
- управління енергоспоживанням. Інтелектуальні алгоритми адаптують режим роботи двигунів або електросистем транспортних засобів залежно від маршруту, завантаженості або стану дороги. Наприклад, зменшення потужності двигуна на спусках або використання рекуперативного гальмування;
- діагностика і прогнозування технічного стану. Системи ШІ аналізують дані з датчиків транспортного засобу, прогнозуючи

можливі поломки і запобігаючи аварійним ситуаціям. Це дозволяє планувати технічне обслуговування і знижувати витрати на ремонт;

- управління автономними транспортними засобами. Автономні транспортні засоби використовують алгоритми ШІ для виявлення перешкод, розпізнавання дорожніх знаків, взаємодії з іншими учасниками руху і прийняття рішень у реальному часі.

Для реалізації алгоритмів ШІ використовують такі технологічні інструменти [18]:

- хмарні обчислення використовуються для зберігання та обробки великих обсягів даних. Хмарні платформи дозволяють забезпечувати швидкий доступ до аналітики в реальному часі;
- інтеграція інтернет речей (IoT) з алгоритмами ШІ дозволяє збирати дані з датчиків, встановлених на транспортних засобах, дорогах або світлофорах. Ці дані є основою для адаптивного управління;
- обробка великих даних (Big Data Analytics). Аналіз великих даних дозволяє знаходити закономірності у транспортних потоках, прогнозувати їхні зміни та приймати оптимальні рішення;
- реалізація вбудованих систем. Вбудовані системи (Embedded Systems) встановлюються на транспортні засоби для виконання алгоритмів ШІ локально, з мінімальними затримками.

Розглянемо приклади реалізації адаптивного управління за допомогою ШІ.

Система управління трафіком в Барселоні (CityBrain). Алгоритми аналізують дані про транспортні потоки, оптимізуючи роботу світлофорів і маршрутів громадського транспорту. Це дозволило знизити затори на 20 %.

Автономні автомобілі Tesla. Автопілот Tesla використовує глибоке навчання для виявлення перешкод, динамічного управління швидкістю і прогнозування поведінки інших учасників руху.

Системи прогнозування пасажиропотоків у метро Токіо. Алгоритми аналізують дані про поведінку пасажирів, забезпечуючи адаптивний розклад руху потягів для уникнення перевантаження платформ.

Таким чином, алгоритми штучного інтелекту для адаптивного управління стають основою сучасних транспортних систем. Вони дозволяють підвищувати ефективність використання ресурсів, забезпечувати стабільність і безпеку транспорту, а також адаптувати системи до швидкозмінних умов. Подальший розвиток технологій ШІ обіцяє революційні зміни у сфері транспорту.

Глибинне навчання – це підмножина машинного навчання, яка по суті є нейронною мережею з трьома або більше рівнями. Хоча їхні можливості значно відрізняються від людського мозку, ці нейронні мережі намагаються наслідувати поведінку людського мозку, дозволяючи йому «навчатися» на великих кількостях даних. Нейронні мережі з одним шаром все ще можуть робити приблизні прогнози, але додаткові приховані шари можуть покращити точність і оптимізацію.

Багато додатків і послуг штучного інтелекту (AI) керуються глибинним навчанням, яке дозволяє автоматизувати фізичні та аналітичні завдання без втручання людини. Цифрові помічники, пульти дистанційного керування телевізором із голосовою підтримкою та виявлення шахрайства з кредитними картками – це приклади повсякденних товарів і послуг, які ґрунтуються на технологіях глибокого навчання. Це також стосується нових технологій, таких як безпілотні автомобілі [10].

Алгоритми глибинного навчання, які є найпоширенішими, включають [18]:

- згорткові нейронні мережі (CNN) є типом нейронних мереж, який широко використовується для розв’язання задач комп’ютерного зору, головним чином для обробки зображень і розпізнавання об’єктів на них;

- рекурентні нейронні мережі (RNN) можуть працювати з послідовностями даних, такими як мовні дані, часові ряди та музичні композиції;

- Deep Belief Networks (DBNs) – це багатошарові нейронні мережі, які використовуються для вирішення задач обробки даних і розпізнавання образів. DBNs можна використовувати для аналізу траєкторій руху автомобілів і прогнозування їхнього майбутнього руху;

- генеративні конкурентні мережі (GAN) – це тип нейронних мереж, які використовуються для створення нових даних на основі навчального набору даних. GANs можна використовувати для створення симуляційних моделей транспортного потоку; вони допоможуть вам аналізувати різні сценарії та планувати найкращі методи управління транспортним потоком.

Глибоке навчання може бути корисним у управлінні транспортними потоками. Згорткові нейронні мережі, наприклад, можуть бути використані для автоматичного розпізнавання автомобілів на зображеннях камер дорожнього спостереження. На основі даних з датчиків руху конкурентні нейронні мережі можуть прогнозувати трафік у режимі реального часу.

Існує багато моделей прогнозування дорожнього руху, з яких найбільш відомими є наступні [17]:

- XGBoost (Extreme Gradient Boosting) — це алгоритм машинного навчання, який прогнозує багато речей, включаючи трафік на дорогах. XGBoost може бути використаний для прогнозування трафіку на дорогах, які мають різні вимоги до транспортного потоку та різні типи доріг;

- ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) – це статистична модель, яка використовується для вимірювання попередніх значень часового ряду. Для прогнозування значень у майбутньому. ARIMA є корисним інструментом для прогнозування трафіку на дорогах з середньою та низькою щільністю;

- пророк – це досить нова бібліотека прогнозування часових рядів, створена Facebook. Він базується на моделі аддитивної регресії зі складовими,

яка враховує зміни, які відбуваються протягом року, тижня та дня. Пророк може прогнозувати трафик на дорогах з великою кількістю циклічних змін;

- рекурентна нейронна мережа LSTM (Long Short-Term Memory) добре прогнозує складні часові ряди з довготривалими залежностями. Для прогнозування трафіку на дорогах з високою щільністю, де багато факторів впливають на рух транспорту, LSTM може бути корисним.

Системи моніторингу та управління транспортними потоками (СМУТП) складаються з багатьох різних інструментів, які використовуються для спостереження, аналізу та управління дорожнім рухом. Вони можуть використовувати різні підходи та технології, такі як обробка зображень, машинне навчання та геоінформаційні системи.

Забезпечити безпеку та комфортність руху транспорту на дорогах є одним із головних завдань СМУТП. Це досягається за допомогою аналізу потоків, прогнозування руху, виявлення аварійних ситуацій та інших методів. Крім того, системи моніторингу та управління транспортними потоками можуть мати функції для управління заторами та оптимізації дорожньої мережі. Наприклад, вони можуть розраховувати найкращі маршрути для транспортних засобів, визначати найкращі часи для переходу світлофорів та інші функції.

Налаштування систем моніторингу транспортних потоків вимагає виконання наступних кроків:

- підключення до мережі, яка дозволяє збирати, передавати та аналізувати дані;

- вибір та встановлення обладнання, яке буде допомагати збирати інформацію про транспортні потоки;

- аналіз даних;

- прийняття рішень;

- підтримка системи.

3 ІНТЕГРАЦІЯ РОЗУМНИХ СИСТЕМ В ТРАНСПОРТНУ СИСТЕМУ

3.1 Концептуальні основи інтеграції розумних систем

Архітектура IoT складається з чотирьох рівнів функціональності [11]. Найнижчий рівень (рівень сенсорів і сенсорних пристроїв) складається з об’єктів, інтегрованих із сенсорами, які забезпечують збір і обробку даних у режимі реального часу. Наступний рівень, який також називають мережами та шлюзами, складається з конвергентної мережевої інфраструктури, яка створюється шляхом об’єднання різних мереж у одну мережеву платформу. Сервісні послуги автоматизують багато технологічних і господарських операцій. Типи додатків, які використовуються в різних промислових областях і сферах діяльності, складають четвертий рівень архітектури Інтернету речей (рис. 3.1) [13].



Рисунок 3.1 – Структурна схема рівнів архітектури IoT

У своїй рекомендації Y.2060 Міжнародний союз електрозв’язку (МСЕ-Т) запропонував стандартну модель Інтернету речей. Цей тип моделі відрізняється від більшості інших еталонних і архітектурних моделей, описаних у літературі, оскільки він детально описує фізичні частини екосистеми Інтернету речей. Це корисно, оскільки це уточнення зосереджується на компонентах екосистеми Інтернету речей, які потрібно з’єднувати, інтегрувати, керувати та забезпечувати додатки. Специфікація екосистеми описує можливості Інтернету речей.

Ця модель підкреслює, що Інтернет речей насправді не є мережею фізичних об’єктів. Це швидше мережа пристроїв, які фізично пов’язані між собою, а також прикладні платформи, такі як комп’ютери, планшети та смартфони, які дозволяють цим пристроям взаємодіяти один з одним. Отже, огляд моделі МСЕ-Т слід розпочати з визначення поняття пристроїв (рис. 3.2). Мережа зв’язку, також відома як «мережа зв’язку», є інфраструктурною мережею, яка з’єднує пристрої та додатки, наприклад, мережа, яка базується на стеку протоколів IP або Інтернет [13].



Рисунок 3.2 – Модель МСЕ-Т

Річ – це предмет, який можна визначити та інтегрувати в мережі зв’язку, який знаходиться в фізичному світі (фізичні речі) або інформаційному світі (віртуальні речі). Пристрій – це частина обладнання, яка має можливості зв’язку, а також можливості вимірювання, спрацьовування, введення, зберігання та обробки даних. Пристрій переносу даних – це пристрій, який підключає фізичну річ і непрямим чином з’єднує її з мережами зв’язку. Активні мітки RFID є одним із прикладів.

Пристрій збору даних – це пристрій, який зчитує та записує інформацію та може взаємодіяти з фізичними предметами. Непрямим чином взаємодія може відбуватися за допомогою пристроїв перенесення даних або безпосередньо за допомогою носіїв даних, підключених до фізичних речей.

Носій даних, також відомий як носій даних, є безбатарейним об’єктом перенесення даних, який підключений до фізичної речі та має здатність передавати інформацію тому пристрою збору даних, який його використовуватиме. Штрихкоди та QR-коди, наклеєні на фізичні предмети, входять до цієї категорії [12].

Пристрої, що здатні виявляти або вимірювати навколишню інформацію та перетворювати її на цифрові електричні сигнали називають сенсорними пристроями.

Пристроєм, який може реагувати на цифрові електричні сигнали, які надходять від інформаційних мереж є виконавчим пристроєм. Пристрій загального призначення, також відомий як пристрій загального призначення, має вбудовані функції обробки та зв’язку, і він може обмінюватися даними з мережами зв’язку за допомогою дротових або бездротових технологій. Пристрої загального призначення включають пристрої та обладнання, які використовуються в різних галузях застосування Інтернету речей (IoT), наприклад, смартфони, верстати та побутові електроприлади.

Одним із компонентів Інтернету речей є шлюз, який з’єднує пристрої з мережами зв’язку. Він транслює протоколи між пристроями та мережами

зв’язку. Інтернет речей (IoT) очевидно відрізняється від інших мережевих систем кількістю фізичних речей і пристроїв. Це відрізняє його від обчислювальних пристроїв і пристроїв обробки даних [13].

Всесвітній форум IoT також розробив еталонну модель. Цей щорічний форум збирає представників бізнесу, урядових установ і академічного середовища, щоб допомогти розвитку та впровадженню IoT на ринку. У жовтні 2014 року Комітет з архітектури Всесвітнього форуму IoT, який складається з лідерів галузі, таких як IBM, Intel і Cisco, опублікував еталонну модель Інтернету речей. Для прискорення впровадження Інтернету речей у бізнесі ця модель є загальною структурою.

Модель створена для того, щоб людям було легше працювати разом і створювати повторювані моделі впровадження. Цей зразок є корисним доповненням до MCE-T. Документи MCE-T надають загальні описи верхніх рівнів, зосереджуючись на рівнях пристрою та шлюзу. Наприклад, Рекомендація Y.2060 обмежує опис рівня додатку однією фразою. Серія рекомендацій Y.206x приділяє особливу увагу визначенню ідеї, спрямованої на створення стандартів взаємодії з пристроями IoT.

Відповідно до документального опису моделі IWF, опублікованого Cisco, модель відрізняється наступними характеристиками: спрощення: допомагає розбити складні системи на окремі частини, щоб зробити кожну з цих частин більш зрозумілою; прояснення: надає додаткову інформацію для точної ідентифікації рівнів IoT і створення загальної термінології; ідентифікація: визначає, як різні типи обробки оптимізовані в різних частинах системи; стандарт.

На даний час найбільш розповсюдженим серед спеціалістів, що беруть участь у створенні «розумних міст» є люди з різних сфер, наприклад IT-спеціалісти, громадські активісти, підприємці та вчені. Це запобігає зупинці реформ і сприяє розвитку творчої культури в місті. На рівні міських індустрій інноваційні технології можуть інтегрувати економіку міста в природну ресурсну екосистему. Таким чином, економіка «розумного міста» базується на

наукових знаннях і прагне до постійного технологічного розвитку, циклічності та екологічності. Крім того, міжнародні стандарти рекомендують використання восьми основних технологій для створення «розумних міст». Такі як Інтернет речей в інфраструктурі міста, цифровий двійник, цифрова копія послуг і об’єктів міста в Інтернеті, геоінформаційні технології, «розумні» вуличні камери, відкриті дані, «розумна енергія», «розумні будинки», та середовище безпечного обміну даними в Інтернеті між інформаційними системами.

Інтернет речей охоплює широкий спектр наших товарів, включаючи вбудовані датчики, програмне забезпечення та інші технології, які дозволяють нам підключатися до Інтернету та обмінюватися даними з різними системами та пристроями. Інтернет речей включає «розумні» ліфти, датчики, які відстежують стан речей у будинках і контейнерах для сміття.

Також, ми маємо місто в Інтернеті, його віртуальний аналог. Це модель або цифрова копія фізичного об’єкта або послуги міста. Цифрові моделі дозволяють точно моделювати розвиток міста, функціонування комунальних систем, транспорт, безпеку та вплив клімату та екології на місто. Ця віртуальна модель дозволяє керувати кожною системою відповідно до стратегії розвитку міста та прогнозувати наслідки запропонованих змін. Вона є потужним інструментом для оптимізації міського планування. Сінгапур, Стокгольм, Антверпен, Гельсінкі та Бостон – це деякі відомі міста, які можна побачити або побачити в Інтернеті. Наприклад, Стокгольм використовує платформу OpenCities Planner для потокової передачі моделей територій, які містять велику кількість даних, щоб зробити швидкий і простий обмін даними. Симуляції дозволяють віртуальному двійнику прогнозувати та візуалізувати різноманітні сценарії поведінки великої кількості людей на масових міських заходах. Це дозволяє оптимізувати організацію входів і виходів у районах, де найбільше людей, що забезпечує більшу безпеку.

Геоінформаційні системи є третім компонентом. Це системи, які збирають, зберігають, аналізують і візуалізують просторові (географічні) дані,

а також пов’язані з ними дані. Такі системи можуть включати просторові бази даних, бази даних дистанційного зондування Землі, редактори графіки (векторні та растрові), а також різні інструменти для просторового аналізу даних. Картографія, геологія, метеорологія, землеустрій, екологія, міське планування, транспорт, економіка, оборона та інші галузі використовують геоінформаційні системи.

Використання комп’ютерних та інформаційних технологій у військовій діяльності, особливо в контексті війни Росії в Україні, відкриває нові можливості для командування. Автоматизація процесів управління з використанням навігаційної інформації дозволяє скоротити час, необхідний для координації та синхронізації дій військ у умовах швидко змінюючоїся обстановки, високого рівня бойових дій і застосування високоточної зброї. Впровадження геоінформаційних систем (ГІС) у процес управління не тільки автоматизує процеси управління військами, але й надає органам прийняття рішень візуальну, просторову та додаткову інформацію про місцевість та розташовані на ній об’єкти за допомогою різних пристроїв відображення [14 – 17].

«Інтелектуальні» камери на вулиці є четвертим компонентом. Це пристрої, які використовуються для нагляду за порядком, виявлення злочинів на вулиці та технічного обслуговування доріг. Ці «розумні» камери можна використовувати для оцінки точності доріг шляхом виявлення вибоїн, пошкоджень дорожнього покриття та неточностей у вуличній розмітці. Вони беруть участь у перетворенні міста на «розумне місто» або «місто майбутнього».

П'ятим елементом є сховища даних з відкритим доступом. У складній екосистемі всі члени обмінюються інформацією, а контекстуальні дані оцінюються в режимі реального часу. Цей метод дозволяє керівництву приймати розумні рішення. Але важливою передумовою є забезпечення відкритості та захищеності даних, які неможливо фальсифікувати або приховати від громадян. Багато країн вже зробили кроки в напрямі створення

банків або сховищ відкритих даних. Наприклад, для освітньої галузі створено 366 відкритих баз даних, які постійно оновлюються. Фільтри можна використовувати для відбору потрібних файлів, які вільно завантажуються у форматах xls, dat, csv тощо. Крім того, можна працювати з даними за допомогою метаданих. Їх вивчення може принести прибуток і збільшити надходження до бюджету як для себе, так і для всієї країни.

Що стосується шостого аспекту, це поняття «розумної» енергії. Це передбачає використання інтелектуального енергетичного ланцюга, який повністю ґрунтується на енергії відновлюваних джерел, таких як вітрова та сонячна енергія. За допомогою інтелектуальної цифрової інфраструктури ця система передає децентралізовану, екологічно чисту та стійку енергію в міські райони. Україна особливо потребує розвитку цієї частини, оскільки до конфлікту на Сході країна не звертала уваги на програми, дорожні карти та джерела фінансування для впровадження Індустрії 4.0. Інновації, наука, освіта та цифровізація промислових підприємств потребують державного впливу. Для цього необхідно, щоб підприємства, центральні органи виконавчої влади, регіональні та місцеві органи самоврядування співпрацювали.

Сьомий компонент включає «розумні» будівлі, які створюють інтелектуальне середовище за допомогою автоматичних процедур. Автоматичне освітлення, технологічне обладнання, сенсорна сантехніка, системи контролю доступу, цифрові вивіски, системи навігації та безпеки є частиною цих будівель. Високотехнологічні будівельні рішення можуть зменшити споживання ресурсів, покращити енергоефективність, спростити технічне обслуговування та зменшити витрати на експлуатацію.

The Edge в Амстердамі є одним із інноваційних прикладів «розумних» будівель. Згідно з даними Bloomberg, The Edge має найвищий рейтинг екологічності 98,4 % і вважається найбільш розумною будівлею у світі. У будівлі встановлено близько 28000 датчиків, і за допомогою мобільного додатку кожен відвідувач може підключитися до них. Смарт-пристрої надають

відвідувачам інструкції щодо навігації в будівлі, щоб кожен міг досягти своєї цілі в потрібний момент [16].

Восьмий розділ розглядає умови, за допомогою яких інформаційні системи можуть безпечно обмінюватися даними через Інтернет. Це система обміну даними на національному рівні, яка контролюється державними структурами та дозволяє зв'язувати всі існуючі системи. Естонська X-Road, основа електронної інфраструктури країни, є одним із прикладів такої системи. Він дозволяє приватним і державним інформаційним системам електронних послуг зв'язуватися та добре працювати разом.

«Розумне місто» розглядається як цілісний організм, заснований на взаємодії та сумісності перелічених технологій, який створює комфортні умови життя та максимальну безпеку для мешканців і відвідувачів. З цієї причини в період швидкого розвитку цифрового суспільства були випробувані два підходи: інформаційно-центричний і клієнто-орієнтований. Ці методи стали основою для створення та впровадження стандартів і рішень для «розумних міст». Але цифрові можливості, які сьогодні вважаються галузевими рішеннями, можуть вичерпатися на певному етапі розвитку міст. Кожне місто проходить цей етап окремо. Наразі такі технології включають інформаційне моделювання в будівництві та інтелектуальні транспортні системи.

Хоча системи Інтернету речей (IoT) можуть бути розроблені різними способами, очевидно, що в більшості застосунків будуть присутні датчики, пускачі та блоки контролерів. Для реалізації цих елементів можуть бути використані вбудовані апаратні платформи, які доступні на ринку.

З багатьох причин платформи з відкритим кодом стають все більш популярними серед доступних варіантів, і на даний момент варто вибрати кілька надійних платформ. Тим не менш, велика кількість комерційних і дослідницьких проектів використовує різні платформи, що свідчить про те, які платформи є найпопулярнішими.

При виборі платформи з відкритим кодом для додатка Інтернету речей потрібно враховувати кілька функцій. Низька вартість масштабного розгортання та обчислювальні можливості, тобто платформа повинна мати достатню обчислювальну потужність, щоб виконувати складні завдання, такі як візуальна обробка даних і управління розподіленими вузлами, залежно від її функціональних можливостей. Обробка та ресурси пам’яті безпосередньо впливають на обчислювальні можливості платформи.

Програмування, а саме доступність мов програмування та бібліотек є важливою, і це не обов’язково залежить від апаратних можливостей, але від активної розробницької спільноти, пов’язаної з платформою. Вхідні та вихідні інтерфейси, тобто додатки розумного міста можуть використовувати різні електронні пристрої, такі як датчики, екранні панелі, сирени, світлодіоди, камери та інші, щоб надавати відповідні дані або виконувати певні дії. Вибір платформи залежить від типу та кількості інтерфейсів введення-виведення.

Дана технологія впливає на енергоефективність, маса-габаритні параметри, надійність, зв’язок, зберігання тощо [14].

Вбудовані апаратні платформи мають низьке споживання енергії, оскільки вони можуть працювати від акумуляторів. Крім використання батарей, енергоефективність має вирішальне значення для створення більш енергоефективних платформ у сучасних містах. Зазначене покращує енергоефективність.

Маса-габаритні параметри відіграють роль при виборі розташування об’єктів, виходячи з місцевих умов, потреб і можливостей.

Платформи з відкритим кодом повинні працювати стабільно протягом тривалого періоду часу, уникаючи відмов обладнання або перегріву. Це пов’язано з очікуваними функціями та місцем розгортання, таким як дорожні світлофори, ліхтарні стовпи та транзитні таблички. Це особливо важливо, якщо вони розташовані на відкритих майданчиках. Тобто такі системи повинні бути надійними і довговічними.

Платформи можуть мати багато вбудованих комунікаційних технологій, таких як Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet, LoRa та стандарти 4G/5G, що полегшує зв’язок між вузлами.

У багатьох ситуаціях є корисним наявність вбудованого постійного сховища. Додаткові ресурси: світлодіоди, кнопки, RFID (ідентифікація радіочастот) та джерело живлення (напруга/струм) – це лише кілька додаткових ресурсів, які можуть вплинути на вибір платформи. Деякі платформи можуть не підтримувати зберігання карт пам’яті. Багато електронних платформ з відкритим кодом доступні для покупки, але лише деякі з них використовуються для створення додатків Інтернету речей.

3.2 Підвищення енергоефективності електротранспорту за допомогою інтелектуальних систем

У 1994 році термін «Інтелектуальні транспортні системи» (ITC) включав «Інтелектуальні транспортні системи». ITC – це система, пов’язана з мобільністю, яка зросла завдяки IT. Питання, пов’язані з підвищенням енергоефективності транспортної системи було вже розглянуто у попередніх розділах. Проте, важливо розглянути безпосередній зв’язок між електротранспортом і інструментами інтелектуальних систем.

Зараз інтелектуальними транспортними системами (ITC) називають системи, які надають інформацію про учасників руху для підвищення безпеки та ефективності дорожніх транспортних систем шляхом інтеграції комп’ютерних, електронних і комунікаційних технологій і стратегій управління. У підрозділі розглядаються користувацькі послуги ITC, а також архітектура та планування ITC. ITC створила вісім груп послуг користувачів. Короткий опис фізичної та логічної архітектури ITC, зосереджуючись на їх загальних основах для планування, визначення та інтеграції інтелектуальних транспортних систем.

Інтелектуальні транспортні системи поєднують досягнення у галузі комп'ютерів, інформаційних технологій і телекомунікацій, спрямованих на автомобільну та транспортну галузі. Передові розробки в цих галузях є основою для технологій ІТС. Таким чином, ІТС використовує комп'ютерні, інформаційні і комунікаційні технології для управління мережами та транспортними засобами в реальному часі, включаючи переміщення людей і вантажів.

Інтелектуальні транспортні системи є найкращим способом вирішення проблем. Безпека є основним двигуном прогресу, розвитку, стандартизації та впровадження систем ІТС. За допомогою інтеграції сучасних комунікаційних технологій у транспортну інфраструктуру та транспортні засоби, ІТС покращує безпеку транспорту та мобільність, а також полегшує зв'язок по всьому світу. Інтелектуальні транспортні системи покращують управління трафіком і максимізують використання існуючої транспортної інфраструктури за допомогою різноманітних інформаційних та електронних технологій, які базуються на бездротовій та дротовій комунікації. Це покращує досвід водіння, дорожні системи та безпеку, розвантаження доріг, підвищення ефективності транспорту та зменшення забруднення навколишнього середовища.

Національний план програми ІТС включає 33 користувацькі послуги. З часом кількість цих послуг збільшується, оскільки додаються нові. Всі послуги були розділені на вісім груп відповідно до того, наскільки легко організувати та використовувати технічні функції разом.

Наступний список включає вісім груп:

1) Використання громадського транспорту;
2) Удосконалення систем безпеки та керування транспортними засобами;
3) Подорожі та управління транспортом;
4) Електронні гроші;
5) Менеджмент інформації;

6) Операції з комерційними автомобілями;
7) Технічне обслуговування та управління будівництвом;
8) Управління аварійними ситуаціями.

Ця група послуг надає актуальну інформацію про стан транспортної системи в режимі реального часу, щоб підвищити ефективність, продуктивність і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Цей клас користувальницьких послуг поділяється на десять категорій.

До початку поїздки ця послуга надає інформацію про транспортну систему, щоб користувачі могли приймати кращі рішення щодо часу відправлення, режиму використання та шляху до пункту призначення. Використовуючи комп'ютерні або телефонні системи вдома, на роботі або в громадських місцях, туристи можуть отримати доступ до цієї інформації. Крім того, можна отримати поточну інформацію про подорож на своїх мобільних телефонах. VMS показує різні маршрути та тривалість руху (рис. 3.3) [17].

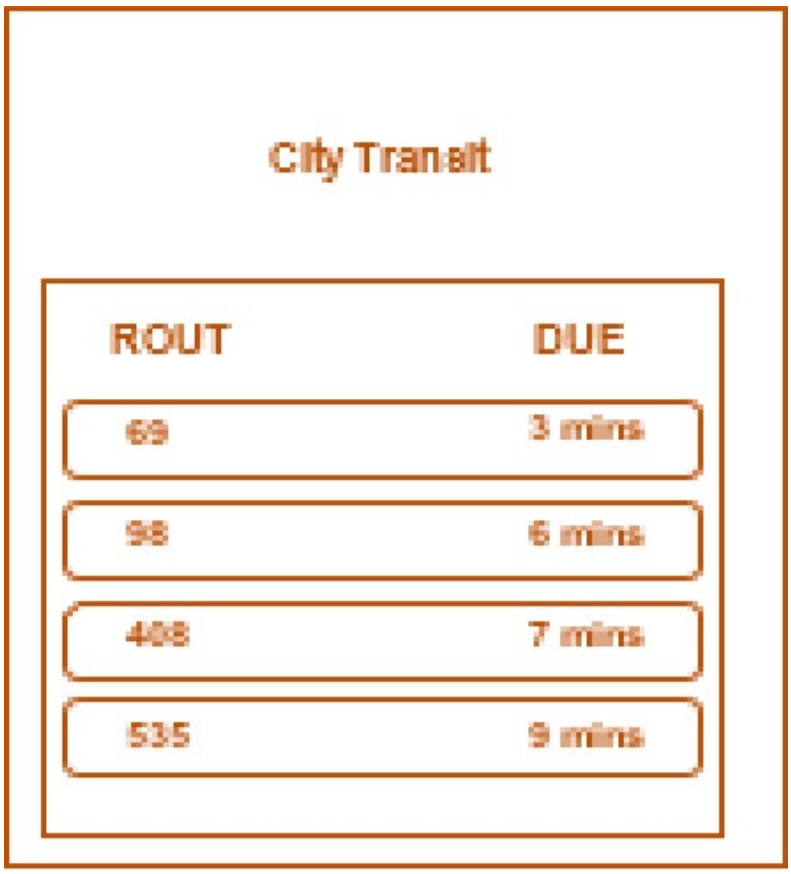


Рисунок 3.3 – Приклад застосування блоку послуг

Інформація у цьому блоці включає поточний стан транспортного потоку, інформацію про будівництво та обслуговування доріг, транзитні маршрути, графіки, тарифи, трансфери та доступні місця для паркування, а також інформацію про реальні події та запропоновані альтернативні маршрути.

Показана послуга надає пасажирам інформацію про подорожі після початку поїздки. Змінні знаки повідомлення (VMS), автомобільне радіо та портативні комунікаційні пристрої можуть бути використані для передачі даних. На екрані відображаються різні шляхи, які показують ступінь навантаження або відсутність навантаження.

Це допомагає людям використовувати існуючу інфраструктуру краще, змінюючи маршрути та уникаючи перевантажень. Крім того, він відображає дорожні знаки, такі як зупинкові знаки, гострі повороти та знижені рекомендації швидкості, а також відображає інформацію про вологі дороги на автомобільних дисплеях, щоб покращити безпеку водіння. Крім того, інформацію можна передавати у вигляді голосових повідомлень.

Послуга «Напрямок маршруту» надає мандрівникам прості інструкції щодо подальших поворотів і маневрів, а також інформацію про запропонований шлях для досягнення певного місця призначення. Крім того, вона надає інформацію про транспортну систему в режимі реального часу, яка включає умови руху, дорожні обмеження, стан та розклад транзитних систем. Ця послуга зменшує затримки та стрес для водіїв, особливо в незнайомих місцях.

Послуга «Моніторинг і бронювання поїздок» надає мандрівникам інформацію про подорож у режимі реального часу, дозволяючи їм отримати її вдома, в офісах або в будь-якому іншому місці. Крім того, вона допомагає постачальникам транспортних послуг у плануванні та призначенні транспортних засобів.

Це лише невелика частина можливостей, яку може надати інтелектуальні система. Сама по собі вона є адаптивною, здатна швидко

реагувати на вхідну інформацію, налаштовувати пристрої і все це окрім багатьох інших речей дозволяє у значній мірі економити енергію. Дана система дозволяє використовувати електромобілі навіть у якості накопичувачів енергії для згладжувань коливань, особливо при пікових навантаженнях. При цьому, власнику електромобіля вигідним є надання свого авто для таких цілей, оскільки енергетичні компанії мають надавати дельту між придбанням і продажем електроенергії. Звичайно при цьому має бути достатньо зарядних пристроїв, щоб працювала така система енергообміну. Окремим і перспективним напрямком є поєднання мережі зарядних станцій з джерелами відновлювальної енергії. У даному контексті інтелектуальні системи дозволяють оптимізувати роботу електричних мереж, регулювати ступінь накопичення енергії в пристроях ВДЕ і її віддачу для енергоспоживання приймачами електроенергії. Це з одного боку є складною системою, а з іншого дозволяє більш ефективно використовувати накопичувачі енергії, мінімізувати втрати енергії та зменшити втрати від простою зарядних станцій.

3.3 Використання інтелектуальних систем для підвищення енергоефективності електроприводу електротранспорту

Енергоефективність електроприводу електротранспорту є ключовим фактором для зниження експлуатаційних витрат, підвищення екологічності та збільшення дальності пробігу. Інтелектуальні системи, які базуються на алгоритмах штучного інтелекту, машинному навчанні та адаптивному управлінні, дозволяють оптимізувати роботу тягових двигунів та забезпечувати ефективне використання енергетичних ресурсів.

В електротранспорті застосовують різноманітні електричні машини. Не дивлячись на паралельний розвиток машин постійного струму і асинхронних машин, історично склалося так, що найбільше розповсюдження отримали машини постійного струму. Це пов’язано з тим, що машини постійного струму

потребують відносно простої системи керування, а також їх значно простіше переводити в режим рекуперації. Але з розвитком силових напівпровідникових пристроїв все більше електроприводів розробляється з використанням асинхронних машин. Це пов’язано з більш простою і дешевою конструкцією асинхронних машин, кращими маса-габаритними параметрами, відсутністю колекторного вузла, що покращує технологічні аспекти використання даного типу машин. У той же час, заради справедливості треба зазначити, що останнім часом набирають популярність машини постійного струму з використанням постійних магнітів та безколекторні машини (але такі машини виділяють у окремий тип).

Саме тому розглянемо два типи тягових двигунів: двигуни постійного струму (ДПС) і асинхронні двигуни (АД).

Двигуни постійного струму (ДПС) традиційно використовуються у тягових системах електротранспорту завдяки їх високій керованості та простоті реалізації. Проте вони мають обмеження у вигляді високих втрат через щітково-колекторний вузол і складність технічного обслуговування.

Машини постійного струму мають високий крутний момент при низьких обертах, що забезпечує ефективний запуск електрорухомого складу з місця, але може призводити до перевитрат енергії через нерівномірність навантаження. У щітково-колекторному вузлі є значні втрати енергії, особливо на високих швидкостях. Постійне тертя щіток знижує енергоефективність і збільшує витрати на обслуговування.

Використання інтелектуальних систем. Одним із способів покращення енергоефективнсоті є адаптивне управління струмом збудження. Інтелектуальні системи регулюють струм збудження для зниження втрат енергії, адаптуючи параметри двигуна до поточного навантаження. Наприклад, на низьких обертах можна знижувати струм збудження для мінімізації втрат. Також алгоритми ШІ керують рекуперативним гальмуванням, щоб максимально перетворити кінетичну енергію транспорту на електричну, яка повертається в акумулятори.

Інтеграція датчиків дозволяє інтелектуальним системам аналізувати стан щіток і колектора, прогнозувати знос і запобігати несподіваним поломкам, що знижує енерговитрати на непередбачене обслуговування.

Асинхронні двигуни є більш сучасними і широко використовуються в електротранспорті завдяки їх високій надійності, довговічності та можливості ефективної роботи на високих швидкостях. Їхні головні переваги включають простоту конструкції, відсутність щіток і високу енергоефективність за умови правильного управління. Відсутність щітково-колекторного вузла усуває втрати, пов’язані з механічним тертям, і підвищує загальну енергоефективність.

Частотне регулювання швидкості забезпечує плавне і точне управління швидкістю та моментом, знижуючи втрати. Втрати у роторі та статорі можуть бути значними при ненавантаженому стані [18 – 20].

Інтелектуальні алгоритми векторного управління забезпечують незалежне регулювання моменту і магнітного потоку, що дозволяє знизити втрати енергії під час роботи двигуна в різних режимах.

Системи на основі машинного навчання аналізують параметри маршруту (наприклад, підйоми, спуски) і адаптують частоту обертання ротора, щоб забезпечити мінімальне енергоспоживання.

Як і у випадку з ДПС, інтелектуальні системи в асинхронних двигунах оптимізують процес рекуперації. Вони забезпечують максимальну ефективність повернення енергії в акумуляторні батареї або мережу. Алгоритми ШІ відстежують теплові втрати у статорі та роторі і вносять коригування до режимів роботи, щоб мінімізувати їх. Тобто інструменти ШІ дозволяють ефективно спостерігати і діагностувати технічний стан машин (рис. 3.4) [21]. Причому ефективність даної системи підвищується за рахунок відфільтровування помилок І-го та ІІ-го роду.

На рисунку 3.4 також показані конструктивні дефекти, такі як проколи, розриви корпусної та міжфазної ізоляції. Ці дефекти можуть виникнути через

неправильне виробництво та некваліфікований капітальний ремонт. Дефекти такого типу необхідно діагностувати під час запуску двигуна.

Дефекти, пов’язані з роботою міжвиткової ізоляції, класифікуються як теплові та втомні. До перших належать зміни, такі як спікання та обвуглювання, які виникають через надмірні температури в обмотці. Метод 6 може визначити їх за допомогою спектрального складу струму або інших подібних методів. Перш за все, цим змінам слід запобігти за допомогою ефективних методів функціональної діагностики та захисту АЕП.

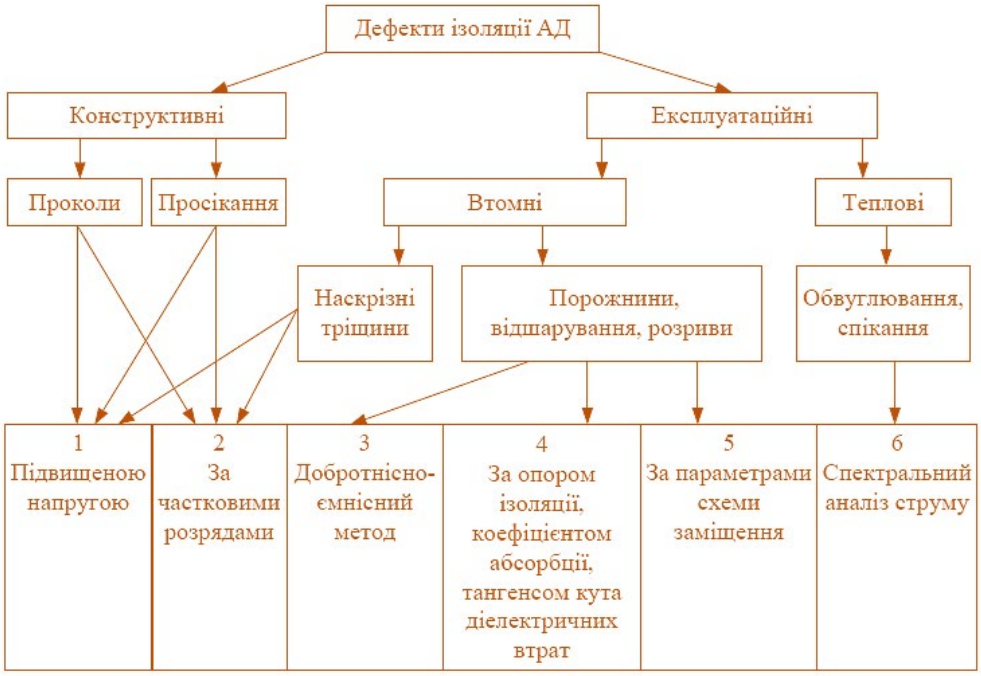


Рисунок 3.4 – Структурна схема діагностування стану асинхронної машини

Діагностика втомних пошкоджень міжвиткової ізоляції є критичною для двигунів з перевищенням відпрацьованого ресурсу. Утворення наскрізних тріщин у міжвитковій ізоляційній композиції є структурною ознакою фази критичного зношення та переходу АЕП в стан прихованої відмови. Дефекти наскрізного характеру (відшарування, екструзія) рідко знижують напругу пробою ізоляції та не мають тенденції до швидкого розвитку. Діагностика методами 3, 4 та 5, чутливими до будь-яких неоднорідностей ізоляції, виявить

погіршення стану обмотки та необхідність ремонту, але двигуни з такими пошкодженнями можуть працювати безаварійно тривалий час.

Таким чином, вибіркова чутливість до наскрізних пошкоджень ізоляційного шару, які відповідають за електричний пробій, має бути основною умовою достовірності діагностування. У цьому випадку методи 1, 2 працюють, але метод 1, який має зондувальний вплив на десятки кіловольт, небезпечний для зношеної ізоляції. Метод 2 використовує більш безпечну область газового розряду, оборотні часткові розряди. Однак класичний метод застосовується лише до високовольтних машин, оскільки робочі напруги низьковольтних не достатні для утворення газового розряду в порожнинах ізоляції, заповнених повітрям.

Розрахунок змінного навантаження проводиться протягом проміжку часу зміни навантаження, а не абсолютного значення струму. Якщо еквівалентний струм вимірюється на коротких проміжках часу (секундах), можна виявити незначні, але постійні 5 %.Перевантаження на десять відсотків струму неможливо, а якщо його визначають на тривалих проміжках часу, наприклад десятках хвилин, важко вчасно відключити електродвигун при перевантаженнях пусковими струмами. Таким чином, для підвищення точності роботи захисту можуть знадобитися вимірювання еквівалентних струмів з різним часом усереднення від Δt до $n \cdot \Delta t$, де Δt - крок дискретизації контрольованого тимчасового інтервалу перевантаження, а n - кількість кроків. Для цього створюється часовий ряд із збільшенням інтервалу для визначення еквівалентного струму, коли кількість комірок пам'яті збільшується. Далі за допомогою цієї методики безперервно вимірюють і зводять значення струму електродвигуна в квадрат, а потім повторно проводять вимірювання для визначення зрушень осередків ряду. Найперше вимірюється значення квадрата струму, а потім видаляється останнє значення ряду. До вмісту в кожному осередку ряду додають останнє виміряне значення квадрата струму. У результаті вони переходять до наступного. Квадрат еквівалентного електричного значення дорівнює [19]:

$$I^2_{екв}= (I^2_1\Delta t_1+ I^2_2\Delta t_2+...+ I^2_n\Delta t_n)/(\Delta t_1+\Delta t_2+...+\Delta t_n)$$

При рівному розподілі часів $\Delta t_1 = \Delta t_2 =...= \Delta t_n = \Delta t$ квадрат еквівалентного струму в кожній з n – осередків буде дорівнює:

$$I^2_{екв1}= I^2_1,$$
$$I^2_{екв2}= (I^2_1+ I^2_2)/2,$$
$$I^2_{екв3}= (I^2_1+ I^2_2+ I^2_3)/3, \quad (1.2)$$
$$I^2_{екв\ n}= (I^2_1+ I^2_2+...+ I^2_n)/n.$$

Тоді сума квадратів струмів в кожній з комірок буде дорівнює:

$$I^2_1= I^2_{екв1},$$
$$I^2_1+ I^2_2=2\ I^2_{екв2},$$
$$I^2_1+ I^2_2+ I^2_3=3\ I^2_{екв3},$$
$$I^2_1+ I^2_2+...+ I^2_n=n\ I^2_{экв\ n}.$$
$$(I^2_1),\ (I^2_1+ I^2_2),\ (I^2_1+ I^2_2+ I^2_3),\ (I^2_1+ I^2_2+...+ I^2_n)$$

Гранично допустиме значення сум квадратів струмів в n-ой осередку тимчасового ряду одно:

$$\sum^{n} I^{n}_{екв\ n} = nI^{2}_{ном}\left((K / n\Delta t)+1\right),$$

де n - порядковий номер комірки тимчасового ряду,

$I^2_{ном}$- значення квадрата номінального струму,

K - постійна величина,

Δt - період дискретизації.

Для динамічних систем необхідно враховувати перехідні електромагнітні процеси в машині. У цьому випадку в якості пари змінних, що

описують машину, залишимо просторові вектори струму статора і потокозчеплення ротора $(\bar{i}_S\ ,\overline{\Psi}_R)$ [20]:

$$\overline{U}_S = r\,\bar{i}_S + x_S\frac{d\bar{i}_S}{d\bar{t}} + j\alpha_K x_S\bar{i}_S - \frac{k_R}{\overline{T}_R}\overline{\Psi}_R + jk_R pv\overline{\Psi}_R \quad ,$$

$$0 = -k_R r_R\bar{i}_S + \frac{1}{\overline{T}_R}\overline{\Psi}_R + \frac{d\overline{\Psi}_R}{d\bar{t}} + j(\alpha_K - pv)\overline{\Psi}_R \quad ,$$

$$m = k_R\ Mod(\overline{\Psi}_R \times \bar{i}_S) \quad ,$$

$$\overline{T}_m\frac{dv}{d\bar{t}} = m - m_H \quad ,$$

де $r = (r_S + k_R{}^2 r_R)$, $x_S = (x_S - \frac{x_m{}^2}{x_R})$, $k_R = \frac{x_m}{x_R}$, $\overline{T}_R = \frac{x_R}{r_R}$ - безрозмірні коефіцієнти.

$$\left.\begin{aligned}
&U_{S\alpha} = r\,i_{S\alpha} + x_S\frac{di_{S\alpha}}{d\bar{t}} - \frac{k_R}{\overline{T}_R}\Psi_{R\alpha} - k_R pv\Psi_{R\beta} \quad ,\\
&U_{S\beta} = r\,i_{S\beta} + x_S\frac{di_{S\beta}}{d\bar{t}} - \frac{k_R}{\overline{T}_R}\Psi_{R\beta} - k_R pv\Psi_{R\alpha} \quad ,\\
&0 = -k_R r_R i_{S\alpha} + \frac{1}{\overline{T}_R}\Psi_{R\alpha} + \frac{d\Psi_{R\alpha}}{d\bar{t}} + pv\Psi_{R\beta} \quad ,\\
&0 = -k_R r_R i_{S\beta} + \frac{1}{\overline{T}_R}\Psi_{R\beta} + \frac{d\Psi_{R\alpha}}{d\bar{t}} + pv\Psi_{R\alpha} \quad ,\\
&m = k_R(\Psi_{R\alpha} i_{S\beta} - \Psi_{R\beta} i_{S\alpha}) \quad ,\\
&\overline{T}_m\frac{dv}{d\bar{t}} = m - m_H \quad .
\end{aligned}\right\}$$

та

$$\left.\begin{aligned}
&U_{S\alpha} = r(1 + \overline{T}_S S)i_{S\alpha} - \frac{k_R}{\overline{T}_R}\Psi_{R\alpha} - k_R pv\Psi_{R\beta} \quad ,\\
&U_{S\beta} = r(1 + \overline{T}_S S)i_{S\beta} - \frac{k_R}{\overline{T}_R}\Psi_{R\beta} - k_R pv\Psi_{R\alpha} \quad ,\\
&0 = -k_R r_R i_{S\alpha} + \frac{1}{\overline{T}_R}(1 + \overline{T}_R S)\Psi_{R\alpha} + pv\Psi_{R\beta} \quad ,\\
&0 = -k_R r_R i_{S\beta} + \frac{1}{\overline{T}_R}(1 + \overline{T}_R S)\Psi_{R\beta} + pv\Psi_{R\alpha} \quad ,\\
&m = k_R(\Psi_{R\alpha} i_{S\beta} - \Psi_{R\beta} i_{S\alpha}) \quad ,\\
&\overline{T}_m sv = m - m_H \quad ,\text{де} \quad \overline{T}_S = \frac{x_S}{r} \quad .
\end{aligned}\right\}$$

При розробці технічних рішень для підвищення надійності та стійкості промислових електротехнічних систем необхідно використовувати однакову і однозначну термінологію для опису динамічних режимів електроприводів і їх груп. У нормальних і післяаварійних режимах електротехнічних систем особливо важливі режими запуску двигуна з різних вихідних станів. Електромагнітні, електромеханічні та теплові перехідні процеси складають категорії динамічних режимів. Вид енергії, яка їх спричиняє, визначає швидкість, з якою вони протікають. Неможливо точно визначити час завершення процесу через значні відмінності можливих швидкостей загасання перехідних процесів, пов'язаних із певним видом енергії. Для кожного процесу доцільно виділити один параметр, який можна виміряти, щоб оцінити стан перехідного процесу. Залишкова електрорухома сила (ЕРС), кутова швидкість і середня температура активних частин машини є важливими показниками, які слід враховувати. Класифікація базується на тому, чи зберігається або втрачено зв'язок двигуна з мережею живлення. Такий режим називається самозапуском, якщо не втрачається зв'язок з мережею. Показано, що швидкодіючий автоматичний вхід резерву може працювати в режимах самозапуску приводів.

Автоматизація управління технологічними процесами за допомогою діагностування технічного стану електродвигунів у робочих режимах зменшує збитки від цих наслідків, оскільки дефекти можна виявити якомога раніше. Використання методів і інструментів для контролю та аналізу поточного технічного стану також дозволяє впроваджувати технологію обслуговування електродвигунів «за станом», яка полягає в тому, що ремонт і обслуговування виконуються в залежності від реального технічного стану механізму, який контролюється в процесі експлуатації, без необхідності проводити розборки та ревізії на основі вимірювань відповідних параметрів. При цьому обслуговування «за регламентом» (система планово-попереджувальних ремонтів) зменшує витрати на технічне обслуговування електродвигунів на 50…75 % [20]. При проведенні обстеження напрацюючих двигунів

використовується цифровий пристрій реєстрації параметрів робочого режиму для осцилографування фазних струмів і фазних напруг секції. Струмові входи пристрою реєстрації підключаються до струмового клем у відповідних місцях вимикачів. Точність цифрової реєстрації струмів досягається на частотах, які фіксуються в двадцять-тридцять разів більше частоти мережі.

ВИСНОВКИ

Енергоефективність електротранспорту є основою для досягнення сталого розвитку міських транспортних систем і забезпечення екологічної безпеки. В результаті проведеного аналізу сучасних підходів та технологій підвищення енергоефективності, можна сформулювати наступні висновки.

Інтеграція інтелектуальних систем управління в роботу електротранспорту демонструє значний потенціал для оптимізації енергоспоживання. Штучний інтелект, машинне навчання, Інтернет речей (IoT) та великі дані (Big Data) дозволяють забезпечити адаптивне управління енергією, прогнозувати витрати та запобігати надмірному споживанню. Наприклад, алгоритми оптимізації дозволяють налаштовувати роботу двигунів, знижуючи енерговитрати в умовах змінного навантаження.

Використання сучасних алгоритмів для планування маршрутів значно знижує споживання енергії шляхом скорочення часу поїздки та уникнення заторів. Такі підходи особливо актуальні для громадського транспорту, де оптимізація маршрутів зменшує кількість порожніх рейсів, сприяючи економії енергії та підвищенню якості обслуговування пасажирів.

Системи рекуперації енергії є одним із найефективніших способів зниження енергоспоживання електротранспорту. Перетворення кінетичної енергії під час гальмування на електричну дозволяє повертати значну частину енергії в систему. Особливо це ефективно в умовах міських маршрутів із частими зупинками.

Розвиток тягових електродвигунів, таких як асинхронні двигуни та синхронні двигуни з постійними магнітами, відкриває нові можливості для підвищення енергоефективності. Інтелектуальні системи управління, такі як векторне управління, оптимізують їх роботу залежно від умов маршруту, завантаженості транспорту та інших факторів.

Оптимізація енергоспоживання електротранспорту сприяє зниженню викидів парникових газів і зменшенню негативного впливу на довкілля. Крім

того, впровадження енергоефективних технологій дозволяє знизити експлуатаційні витрати транспортних компаній, що позитивно впливає на їхню конкурентоспроможність і фінансову стабільність.

Незважаючи на значні початкові інвестиції, пов'язані з впровадженням інтелектуальних систем, їх застосування є стратегічно важливим для подальшого розвитку транспортної інфраструктури. У перспективі це дозволить створити транспортні системи, які будуть адаптивними, безпечними та екологічно сталими.

Таким чином, використання інтелектуальних систем для підвищення енергоефективності електротранспорту є одним із ключових напрямів модернізації транспортної галузі. Це дозволяє зменшити енергетичні витрати, підвищити комфорт і безпеку пасажирів, а також сприяти екологічному розвитку міських територій. Подальший розвиток таких технологій і їхнє впровадження є пріоритетним завданням для міського транспорту майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Зінько Р.В., Маковейчук О.М. Принципи формування інтелектуальної транспортної системи. Науковий вісник НЛТУ України. 2007. Т. 17. №. 6. С. 280–285

2 Піжук О.І. Штучний інтелект як один із ключових драйверів цифрової трансформації економіки. Економіка, управління та адміністрування. 2019. №. 3 (89). С. 41–46

3 Ying, Gao, Ren, Tongtong, Zhao, Xia, Li, Wentao. Sustainable Energy Management in Intelligent Transportation // J. Interconnect. Networks. 2022. 23(9). DOI: 10.1142/s0219265921460099

4 Yadav, P., Vikas, Saini, V., Al-Sumaiti, A., Kumar, Rajesh. Intelligent Energy Management Strategies for Hybrid Electric Transportation // Proceedings of the 2023 IEEE IAS Global Conference on Renewable Energy and Hydrogen Technologies. 2023. DOI: 10.1109/GlobConHT56829.2023.10087631

5 Chai, N. P., Abidin, Z. W. A. W., Ibrahim, W., HongPing, K. Energy Efficient Approach Through Intelligent Transportation System: A Review // Conference Paper. 2013. URL: https://consensus.app

6 Епрынцева Н.А. Искусственный интеллект для железнодорожного транспорта. Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2021. №. 1. С. 100–104

7 Устюжанина Е.В., Сигарев А.В., Шеин Р.А. Цифровая экономика как новая парадигма экономического развития. National Interests: Priorities and Security. 2017. vol. 13, iss. 10. P. 1788–1804

8 Shaheen, S., Finson, R. Intelligent Transportation Systems // J. Interconnect. Networks. 2013. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.01108-8

9 Zhao, J., He, C., Peng, C., Zhang, X. Blockchain for Effective Renewable Energy Management in the Intelligent Transportation System // J. Interconnect. Networks. 2021. DOI: 10.1142/s0219265921410097

10 Jones, S., Huss, A., Kural, E., Albrecht, R., Massoner, A., Knödler, K. Optimal Electric Vehicle Energy Efficiency & Recovery in an Intelligent Transportation System // Conference Paper. 2012. URL: https://consensus.app

11 Chen, Y., Ardila-Gomez, A., Frame, G. Achieving Energy Savings by Intelligent Transportation Systems Investments in the Context of Smart Cities // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2016. DOI: 10.1016/J.TRD.2017.06.008

12 Єршова, О. Л. Бажан, Л. І. // Розумне місто – концепція, моделі, технології, стандартизація// електро н. текст. дан і URL: http://194.44.12.92:8080/jspui/handle/123456789/5372

13 Khayyam, H., Bab-Hadiashar, A. Adaptive intelligent energy management system of plug-in hybrid electric vehicle. *Energy*, 69, 319-335. 2014. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2014.03.020

14 Guo, J., Li, W., Wang, J., Luo, Y., Li, K. Safe and Energy-Efficient Car-Following Control Strategy for Intelligent Electric Vehicles Considering Regenerative Braking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(12), 7070-7081. 2021. DOI: 10.1109/TITS.2021.3066611

15 Amjadi, Z., Williamson, S. Power-Electronics-Based Solutions for Plug-in Hybrid Electric Vehicle Energy Storage and Management Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(2), 608-616. 2010. DOI: 10.1109/TIE.2009.2032195

16 Falih Challoob, A., Bin Rahmat, N. A., Ramachandaramurthy, V. K., Humaidi, A. Robust energy management system for electric vehicle. *International Review of Applied Sciences and Engineering*. 2024. DOI: 10.1556/1848.2024.00839

17 Suhail, M., Akhtar, I., Kirmani, S., Jameel, M. Development of Progressive Fuzzy Logic and ANFIS Control for Energy Management of Plug-In Hybrid Electric Vehicle. *IEEE Access*, 9, 62219-62231. 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3073862

18 Burkov, A. F., Yurin, V. N., Avetisyan, V. R. Studies of possibilities of energy efficiency of asynchronous motors improvement. *Proceedings of the higher*

educational institutions. Energy Sector Problems. 2019. DOI: 10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-92-100

19 Singh, R. R., Chelliah, T., Khare, D., Ramesh, U. Energy saving strategy on electric propulsion system integrated with doubly fed asynchronous motors. *2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)*, pp. 1–6. DOI: 10.1109/POWERI.2016.8077432

20 Kaekbirdina, I., Khazieva, R. Research on Highly Efficient Electric Motors with Increased Power Factor. *2023 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*, pp. 1–6. DOI: 10.1109/Dynamics60586.2023.10349380

21 Akbaba, M. Energy conservation by using energy-efficient electric motors. *Applied Energy*, 64, pp. 149–158. 1999. DOI: 10.1016/S0306-2619(99)00051-3

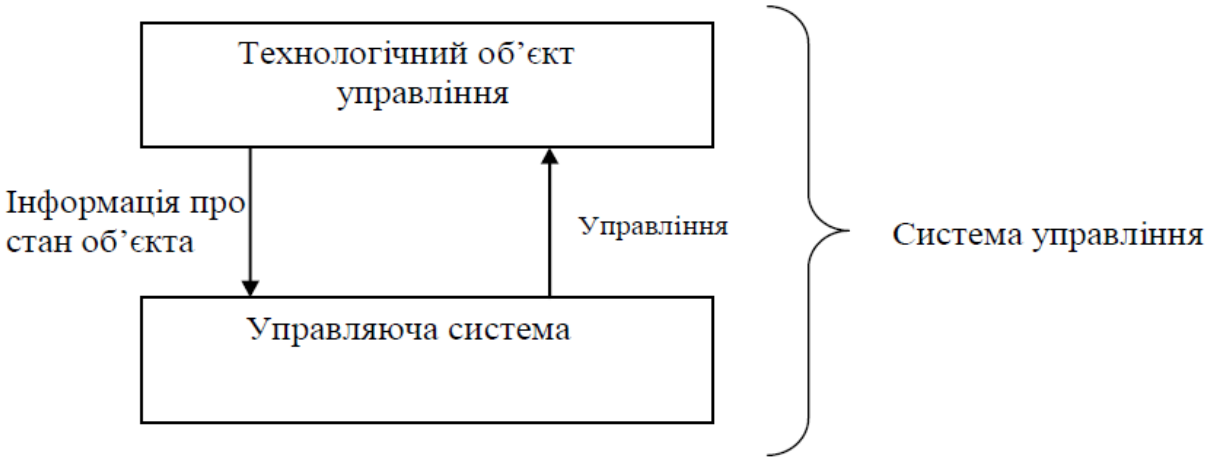
22 Vovk, O., Kvitka, S., Halko, S., Strebkov, O. Energy-Saving Control of Asynchronous Electric Motors for Driving Working Machines. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_43

ДОДАТОК А

Демонстраційні матеріали до магістерської роботи

Підвищення енергоефективності роботи електротранспорту на основі використання інтелектуальних систем

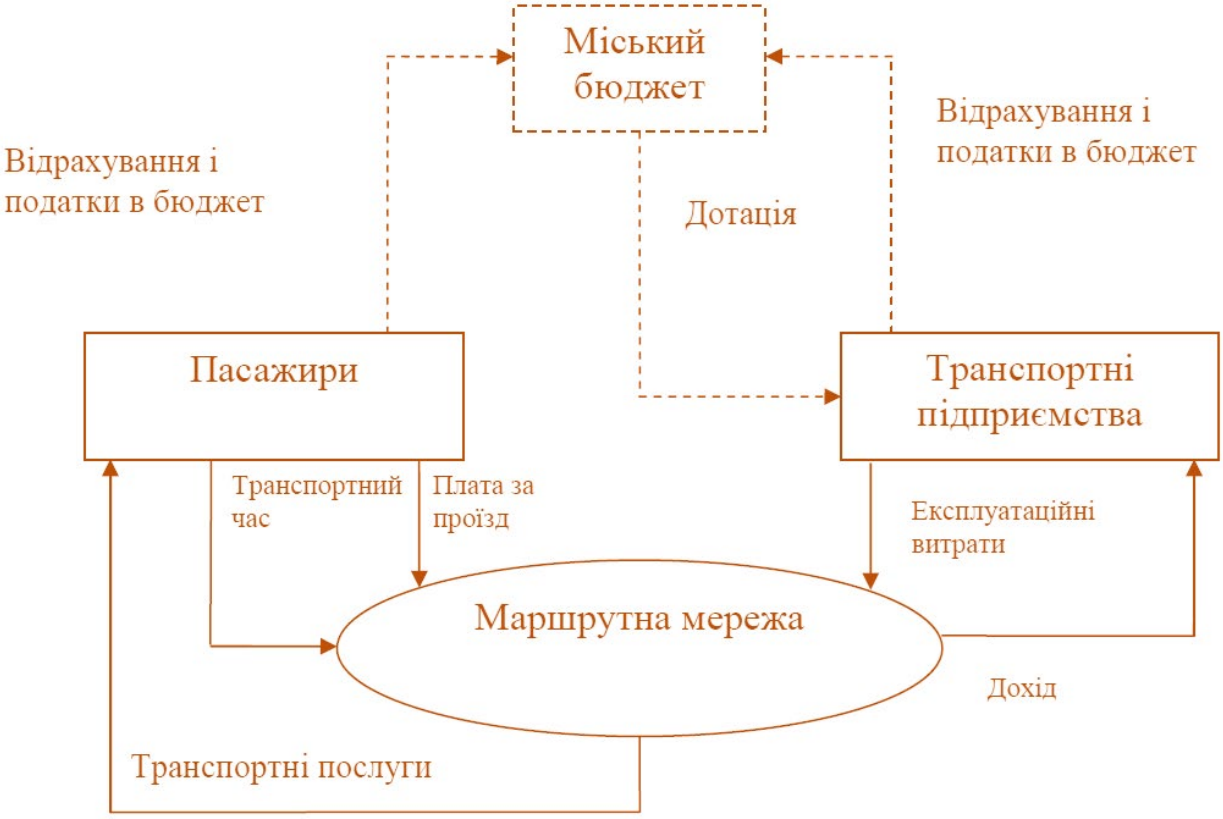
СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ



КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ



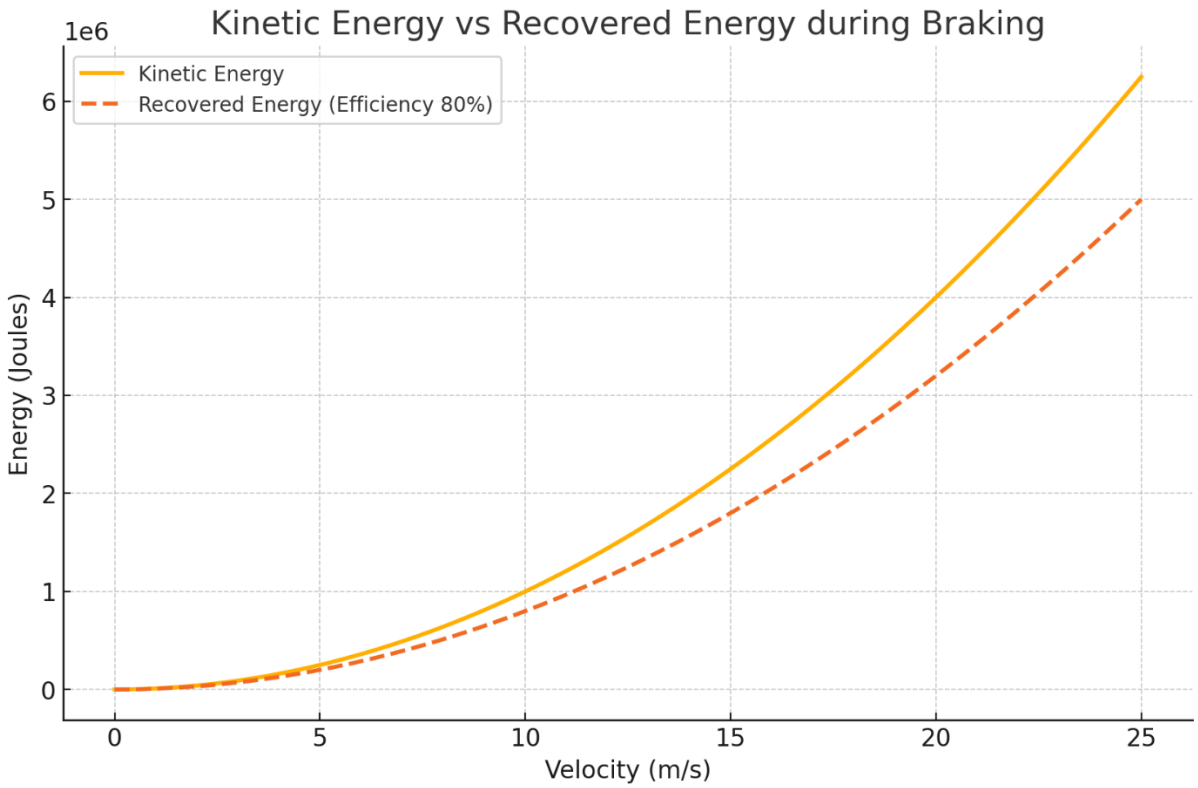
СХЕМА ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ



ЦІЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАСАЖИРСЬКИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ



ЗАЛЕЖНІСТЬ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД ШВИДКОСТІ



СТРУКТУРНА СХЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ

