

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО**  
**ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**  
**Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та**  
**транспортної інфраструктури**  
**Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій**

**РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА**  
на тему: «Підсистема оцінювання впливу швидкісного режиму на  
енергоспоживання електромобіля»

Виконав: здобувач вищої освіти  
4 курсу, групи Сінж 2022-1  
напряму підготовки (спеціальності)  
151 «Автоматизація та комп'ютерно-  
інтегровані технології»  
Гайденко Данило Романович


Керівник: Арсенєва О. П., д.т.н., проф.  
Рецензент: Капустенко П.О., к.т.н., доц.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та  
транспортної інфраструктури**  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій  
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр  
Галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»  
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В.о. завідувача кафедри АКІТ**

**БАРАНОВ О. О.**  
«19» червня 2026 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Гайденко Данило Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підсистема оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля

затвержені наказом закладу вищої освіти від «22» травня 2026 р. № 440-03

керівник роботи Арсеньєва О. П., д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Термін подання студентом роботи 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: рекомендації щодо розробки додатку, індивідуальне завдання на розробку, дані діагностики електромобіля









4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз предметної області: дослідити фактори, що впливають на енергоспоживання електромобіля, та можливості використання OBD/CAN-даних для оцінювання режимів руху. Проаналізувати підходи до моделювання енергоспоживання та сформулювати модель залежності питомого енергоспоживання від швидкості руху. Розробити методику обробки OBD-даних, алгоритм оцінювання енергоспоживання та прогнозування запасу ходу. Розробити структуру програмної підсистеми та реалізувати програмне рішення для аналізу й візуалізації результатів. Провести тестування підсистеми та розрахунки з охорони праці..


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


Фактори, що впливають на енергоспоживання електромобіля. Схема використання OBD/CAN-даних для оцінювання енергоспоживання електромобіля. Функціональна модель програмної підсистеми в нотатії IDEF0. Графіки залежності питомого енергоспоживання, потужності та запасу ходу від швидкісного режиму.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ I	О. П. Арсеньєва, професор		
Розділ II	О. П. Арсеньєва, професор		
Розділ III	О. П. Арсеньєва, професор		
Розділ IV	В. В. Малишева, доцент		


7. Дата видачі завдання 11.05.2026 р.

Керівник   
(підпис)

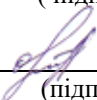
Завдання прийняв до виконання   
(підпис)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Предпроектні дослідження	12.05.2026	
2	Аналіз предметної області	14.05.2026	
3	Розробка алгоритму планування підзарядки батареї	16. 05.2026	
4	Розробка програмного забезпечення	24.05.2026	
5	Тестування і аналіз результатів роботи програмного продукту	06.05.2026	
6	Охорона праці в галузі	08. 06.2026	

Студент   
( підпис )

Є. Р. Гайденко  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи   
( підпис )

О. П. Арсеньєва  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

У роботі розглядається розробка програмної підсистеми для оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля. Об'єктом дослідження є процес енергоспоживання електромобіля під час руху. Предметом дослідження є методи обробки OBD-даних, математичні моделі залежності питомого енергоспоживання від швидкості та програмні засоби для аналізу і візуалізації результатів. Мета роботи – розробка програмної підсистеми, яка дозволяє оцінювати вплив швидкості руху на енергоспоживання електромобіля, визначати енергоефективний швидкісний режим і прогнозувати запас ходу.

Структура роботи представлена вступом, чотирма розділами, висновками, переліком посилань.

**Структура та обсяг дипломної роботи бакалавра.** Випускна кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, додатків та переліку посилань. Повний обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра становить 128 сторінок, в тому числі: 43 рисунки; 2 таблиці; 3 додатка на 31 сторінках; перелік посилань з 12 найменувань на 2 сторінках.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ШВИДКІСНИЙ РЕЖИМ, РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ, ЗАПАС ХОДУ, РЕКУПЕРАЦІЯ.

## ABSTRACT

The work considers the development of a software subsystem for assessing the influence of the speed mode on the energy consumption of an electric vehicle. The object of the study is the process of energy consumption of an electric vehicle during motion. The subject of the study is methods for processing OBD data, mathematical models describing the dependence of specific energy consumption on speed, and software tools for analysis and visualization of results. The aim of the work is to develop a software subsystem that makes it possible to assess the influence of vehicle speed on electric vehicle energy consumption, determine an energy-efficient speed mode, and predict the driving range.

The structure of the work is represented by an introduction, four sections, conclusions and a list of references.

**Structure and scope of the bachelor's thesis.** The bachelor's thesis consists of an introduction, 4 sections, conclusions, appendices and a list of references. The full volume of the bachelor's final qualification work is 121 pages, including: 43 drawings; 2 table; 3 supplement on 31 pages; a list of links with 12 titles on 2 pages.

**KEYWORDS:** ELECTRIC VEHICLE, ENERGY CONSUMPTION, SPEED MODE, REGRESSION MODEL, DRIVING RANGE, REGENERATIVE BRAKING.

## ЗМІСТ

Зміст .....	1
Перелік умовних позначень .....	3
Вступ .....	4
Розділ 1. Аналіз предметної області та сучасних підходів до оцінювання енергоспоживання електромобілів.....	7
1.1. Електромобіль як об'єкт енергетичного та інформаційного аналізу .	7
1.2 Основні фактори, що впливають на енергоспоживання електромобіля .....	12
1.3 Вплив швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля...	14
1.4 Роль прискорення, гальмування та рекуперації енергії .....	16
1.5 Використання OBD-даних для аналізу режимів руху електромобіля	18
1.6 Сучасні підходи до моделювання енергоспоживання електромобілів.....	19
1.7 Постановка задачі дослідження.....	24
Висновки до розділу 1 .....	26
Розділ 2. Моделювання процесів енергоспоживання електромобіля .....	27
2.1 Загальна постановка задачі моделювання .....	27
2.2 Об'єкт дослідження та джерело діагностичних даних .....	28
2.3 Формування вхідних параметрів енергетичного аналізу.....	33
2.4 Вибір виду регресійної моделі питомого енергоспоживання .....	35
2.5 Зважений метод найменших квадратів .....	37
2.6 Метод визначення оптимального швидкісного режиму .....	38
2.7 Модель прогнозування запасу ходу .....	40
2.8 Оцінювання якості регресійної моделі .....	42

2.9 Узагальнений алгоритм моделювання енергоспоживання.....	44
Висновки до розділу 2 .....	46
<b>Розділ 3. Розробка програмної підсистеми для оцінювання</b>	
електроспоживання електромобіля .....	47
3.1 Вибір технічної платформи для моделювання.....	47
3.2 Загальні вимоги до програмної підсистеми .....	50
3.3 Функціональна модель підсистеми в нотації IDEF0 .....	54
3.4 Архітектура програмної підсистеми та опис програмних модулів ...	63
3.5 Опис інтерфейсу та графічного представлення результатів .....	74
3.6 Тестування та аналіз результатів роботи програмної підсистеми .....	82
Висновки до розділу 3 .....	88
<b>Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>90</b>
4.1 Регулювання питань охорони праці на законодавчому рівні .....	90
4.2 Аналіз умов праці та виявлення потенційних небезпек .....	91
4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек та розробка	
заходів щодо їх попередження .....	92
4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті	
проектування та розробка заходів щодо їх попередження .....	93
Висновки до розділу 4 .....	97
Висновки до розділу 4 .....	98
Загальні висновки.....	99
Список використаних джерел .....	101
Додаток А.....	104
Додаток Б .....	110
Додаток В.....	125

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АКБ – акумуляторна батарея.
- ЕМ – електромобіль.
- OBD – On-Board Diagnostics, система бортової діагностики транспортного засобу.
- CAN – Controller Area Network, цифрова шина обміну даними між електронними блоками автомобіля.
- OBDZero – програмний застосунок для зчитування та запису OBD/CAN-даних електромобіля.
- SOC – State of Charge, рівень заряду акумуляторної батареї.
- CSV – Comma-Separated Values, текстовий формат збереження табличних даних.
- HTML – HyperText Markup Language, мова розмітки вебсторінок.
- CSS – Cascading Style Sheets, мова опису зовнішнього вигляду HTML-сторінок.
- МНК – метод найменших квадратів.
- WLS – Weighted Least Squares, зважений метод найменших квадратів.
- RMSE – Root Mean Square Error, середньоквадратична похибка.
- GUI – Graphical User Interface, графічний інтерфейс користувача.
- API – Application Programming Interface, програмний інтерфейс застосунку.

## ВСТУП

### *Актуальність теми.*

Електромобілі є одним із ключових напрямів розвитку сучасного транспорту, оскільки вони дають змогу зменшити локальні викиди забруднювальних речовин, підвищити енергетичну ефективність перевезень і знизити залежність транспортного сектору від викопного палива. У світі спостерігається стале зростання кількості електромобілів, а частка електрифікованого транспорту в продажах нових автомобілів щороку збільшується [1]. У зв'язку з цим актуальними стають задачі не лише розвитку зарядної інфраструктури, а й підвищення ефективності експлуатації електромобіля в реальних умовах руху.

Однією з основних характеристик експлуатації електромобіля є його енергоспоживання. На відміну від автомобілів із двигунами внутрішнього згорання, електромобіль має інші закономірності перетворення та використання енергії. Витрати електроенергії залежать від технічних параметрів транспортного засобу, стану акумуляторної батареї, рельєфу дороги, температури навколишнього середовища, використання допоміжних систем, а також від режиму руху. Особливо важливими параметрами є швидкість, прискорення, частота гальмувань і можливість рекуперації енергії.

Швидкісний режим безпосередньо впливає на питоме енергоспоживання електромобіля. При малих швидкостях зростає відносний вплив допоміжних споживачів, втрат під час частих прискорень і зупинок, що є характерним для міського руху. При великих швидкостях істотно збільшується аеродинамічний опір, а отже, зростає потужність, необхідна для підтримання руху. Тому залежність питомого енергоспоживання від швидкості має нелінійний характер і може містити область найбільш енергоефективного руху. Визначення цієї області є важливим як для водія, так і для систем підтримки прийняття рішень, навігаційних сервісів та підсистем енергоефективного керування електромобілем.

Сучасні електромобілі оснащені електронними блоками керування та діагностичними інтерфейсами, які дають змогу отримувати дані про швидкість, напругу й струм акумуляторної батареї, потужність, рекуперацію та інші параметри руху. Використання таких даних створює основу для побудови програмних підсистем, що автоматично аналізують енергоспоживання транспортного засобу, будують математичні моделі та формують рекомендації щодо вибору раціонального швидкісного режиму.

Актуальність теми роботи полягає в необхідності розробки програмної підсистеми, яка дозволяє на основі експлуатаційних даних електромобіля оцінювати вплив швидкості руху на споживання електроенергії, визначати оптимальний швидкісний режим і візуалізувати результати аналізу у зручній для користувача формі. Така підсистема може бути використана як елемент інформаційно-аналітичного забезпечення електромобіля, а також як навчальний і дослідницький інструмент для аналізу режимів руху.

*Об'єктом дослідження* є процес енергоспоживання електромобіля під час руху в різних швидкісних режимах.

*Предметом дослідження* є математичні моделі, алгоритми та програмні засоби оцінювання впливу швидкості руху на питоме енергоспоживання електромобіля..

*Методи дослідження* включають аналіз науково-технічної літератури, обробку експлуатаційних даних, регресійний аналіз, метод найменших квадратів, елементи фізичного моделювання руху транспортного засобу, алгоритмізацію, програмну реалізацію та графічну візуалізацію результатів..

*Метою роботи* є розробка програмної підсистеми оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля на основі обробки діагностичних даних, регресійного моделювання та візуалізації результатів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. виконати аналіз предметної області та визначити основні фактори, що впливають на енергоспоживання електромобіля;

2. проаналізувати сучасні підходи до моделювання енергоспоживання електромобілів;
3. обґрунтувати використання швидкості руху як одного з ключових параметрів оцінювання енергоефективності;
4. сформулювати математичну модель залежності питомого енергоспоживання від швидкості;
5. розробити алгоритм обробки вхідних даних і визначення раціонального швидкісного режиму;
6. реалізувати програмну підсистему для аналізу, моделювання та візуалізації результатів;
7. провести тестування підсистеми та виконати аналіз отриманих результатів;
8. провести розрахунки стосовно охорони праці.

Практичне значення роботи полягає у створенні програмної підсистеми, яка дозволяє оцінювати енергоспоживання електромобіля залежно від швидкісного режиму, визначати швидкість з мінімальним питомим споживанням енергії, прогнозувати запас ходу та надавати користувачеві наочні результати аналізу.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

### **1.1. Електромобіль як об'єкт енергетичного та інформаційного аналізу**

Електромобіль є сучасним транспортним засобом, у якому рух забезпечується за рахунок використання електричної енергії, накопиченої у тяговій акумуляторній батареї. На відміну від автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння, електромобіль не використовує процес безпосереднього спалювання палива під час руху, а перетворює електричну енергію у механічну енергію обертання коліс. Завдяки цьому під час експлуатації електромобіль не створює локальних викидів відпрацьованих газів, має нижчий рівень шуму та характеризується високою ефективністю роботи тягового електроприводу.

Електромобіль можна розглядати як технічну систему, що складається з трьох основних груп підсистем: електричної силової установки, джерела енергії та допоміжних систем. До складу електричної силової установки входять електродвигун, силовий перетворювач, трансмісія та електронні блоки керування. Джерелом енергії є акумуляторна батарея разом із системою керування батареєю. Допоміжні системи забезпечують роботу опалення, кондиціонування, освітлення, інформаційно-діагностичних засобів та інших споживачів електроенергії. У сучасних оглядах підкреслюється, що точне оцінювання енергоспоживання електромобіля є важливим для прогнозування запасу ходу, планування маршруту та зменшення невизначеності користувача щодо можливості досягнення пункту призначення без додаткової зарядки [1].

Актуальність аналізу енергоспоживання електромобілів зростає разом із розвитком електромобільності. За даними International Energy Agency, у 2024 році світові продажі електромобілів перевищили 17 млн одиниць, а їхня частка у продажах нових автомобілів становила понад 20 %. У 2025 році ринок електромобілів зріс ще на 20 % порівняно з 2024 роком і перевищив 20 млн

проданих автомобілів, а частка електромобілів у загальному ринку нових автомобілів досягла 25 % [2]. Динаміку глобального ринку електромобілів за даними ІЕА наведено на рис. 1.1. Це свідчить про швидке поширення електричного транспорту та підвищує потребу в розробці методів аналізу його фактичної енергоефективності в реальних умовах експлуатації.

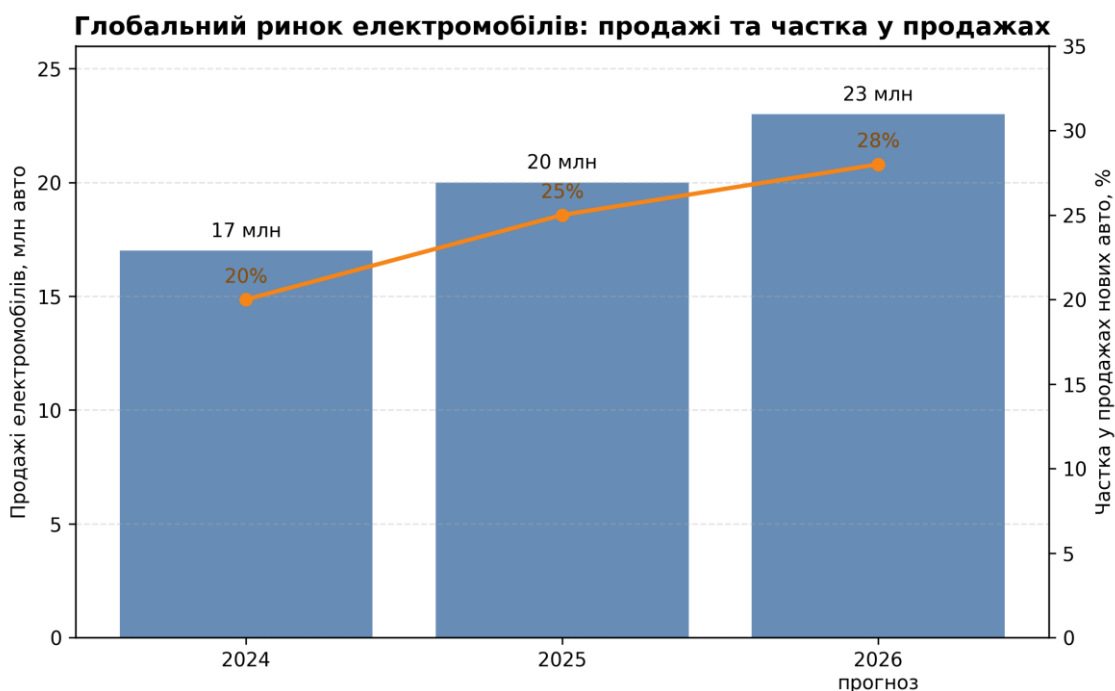


Рисунок 1.1 – Динаміка глобального ринку електромобілів за даними ІЕА [2]

З технічної точки зору електромобіль складається з декількох основних підсистем: тягової акумуляторної батареї, системи керування батареєю, силового перетворювача, електродвигуна, трансмісії, системи рекуперативного гальмування, допоміжних електричних споживачів та електронних блоків керування. Акумуляторна батарея виконує функцію основного джерела енергії. Силовий перетворювач забезпечує перетворення параметрів електричної енергії відповідно до режиму роботи електродвигуна. Електродвигун створює тяговий момент, який через трансмісію передається на колеса автомобіля. Під час гальмування або руху на спуску частина кінетичної енергії може бути повернута до батареї завдяки рекуперативному гальмуванню.

Спрощено енергетичний ланцюг електромобіля представлений на Рис. 1.2.

### Електромобіль як об'єкт енергетичного та інформаційного аналізу



Рисунок 1.2 – Електромобіль як об'єкт енергетичного та інформаційного аналізу

Одним із найважливіших експлуатаційних показників електромобіля є запас ходу, тобто відстань, яку автомобіль може подолати без додаткової зарядки. Для сучасних серійних електромобілів запас ходу суттєво залежить від класу автомобіля, ємності батареї та умов експлуатації. Для компактних міських моделей він може становити приблизно 150-250 км, для автомобілів середнього класу – 350–500 км, а для окремих моделей із батареями великої ємності – понад 600 км за випробувальними циклами. Однак реальний запас ходу часто відрізняється від паспортного через вплив швидкісного режиму, температури, рельєфу дороги, стилю водіння та використання допоміжних систем.

У загальному вигляді запас ходу можна оцінити за співвідношенням:

$$L = \frac{E_{bat}}{e} \quad (1.1)$$

де  $L$  – запас ходу, км;  $E_{\text{bat}}$  – доступна енергія акумуляторної батареї, кВт·год;  $e$  – питоме енергоспоживання, кВт·год/км.

З формули (1.1) видно, що при однаковій ємності батареї збільшення питомого енергоспоживання призводить до зменшення запасу ходу. Саме тому аналіз величини  $e$  є важливим для оцінювання фактичної енергоефективності електромобіля.

Питоме енергоспоживання визначається як відношення витраченої електричної енергії до пройденої відстані:

$$e = \frac{E}{S} \quad (1.2)$$

де  $E$  – витрачена енергія, кВт·год;  $S$  – пройдена відстань, км.

На практиці питоме енергоспоживання електромобіля часто подають у Вт·год/км або кВт·год/100 км. Зв'язок між цими одиницями можна записати так: 1 кВт·год/100 км=10 Вт·год/км. Наприклад, споживання 16 кВт·год/100 км відповідає: 16 кВт·год/100 км=160 Вт·год/км.

Типові значення питомого споживання для легкових електромобілів у помірних умовах можуть становити приблизно 120–180 Вт·год/км. За високих швидкостей, низької температури, інтенсивного прискорення або активного використання обігріву цей показник може зростати до 220–300 Вт·год/км і більше. Тому для аналізу ефективності експлуатації важливо враховувати не лише ємність батареї, але й режим руху автомобіля.

Енергоспоживання електромобіля не є сталою величиною. Воно змінюється залежно від швидкості руху, прискорення, кількості зупинок, дорожніх умов, рельєфу місцевості, температури навколишнього середовища та роботи допоміжних систем. При низьких швидкостях збільшується час роботи допоміжних споживачів на одиницю пройденої відстані. У міських умовах також зростає кількість розгонів і гальмувань. При високих швидкостях значно збільшується аеродинамічний опір, що потребує більшої потужності від тягової системи. Тому для електромобіля характерна наявність

певного діапазону швидкостей, у якому питоме енергоспоживання є найменшим.

У межах даної роботи для оцінювання впливу швидкісного режиму використовується показник питомого енергоспоживання  $e$ , виражений у Вт·год/км. Цей показник є зручним для аналізу, оскільки дозволяє порівнювати різні режими руху незалежно від загальної тривалості поїздки та безпосередньо пов'язаний із прогнозованим запасом ходу електромобіля. Детальний опис математичної моделі залежності питомого енергоспоживання від швидкості руху наведено у розділі 2.

З позиції автоматизації електромобіль доцільно розглядати не лише як транспортний засіб, але і як складний інформаційно-вимірювальний об'єкт. Сучасні електромобілі оснащені електронними блоками керування, датчиками, CAN-шиною та діагностичними інтерфейсами, які дозволяють отримувати інформацію про фактичний режим роботи автомобіля. До таких параметрів належать швидкість руху, напруга та струм батареї, потужність тягової системи, рівень заряду, температура батареї, інтенсивність рекуперації, пробіг та інші величини. Використання GPS- та OBD-даних для аналізу реальних траєкторій руху електромобілів є поширеним підходом у сучасних дослідженнях; зокрема, у роботі [3] аналізували великий масив траєкторних даних, побудований на основі GPS- та OBD-вимірювань, для оцінювання енергоспоживання на рівні дорожніх ділянок.

У межах даної роботи основна увага приділяється оцінюванню впливу швидкісного режиму на питоме енергоспоживання електромобіля. Такий підхід є доцільним, оскільки швидкість є одним із найбільш доступних для вимірювання та керування параметрів руху. На основі аналізу швидкості та енергоспоживання можна визначити діапазон найбільш економічного руху, оцінити прогнозований запас ходу та сформулювати рекомендації для підвищення енергоефективності експлуатації електромобіля.

## **1.2 Основні фактори, що впливають на енергоспоживання електромобіля**

Енергоспоживання електромобіля формується під дією сукупності факторів, пов'язаних як із технічними характеристиками самого транспортного засобу, так і з умовами його експлуатації. У науковій літературі фактори впливу на енергоспоживання електромобіля зазвичай поділяють на групи, пов'язані з компонентами автомобіля, динамікою руху, дорожньо-транспортними умовами та зовнішнім середовищем [1]. Такий поділ є зручним для систематизації предметної області та визначення тих параметрів, які можуть бути використані у програмній підсистемі оцінювання, та представлений в Таблиці 1.1.

До конструктивних факторів належать маса автомобіля, коефіцієнт аеродинамічного опору, площа лобового перерізу, коефіцієнт опору коченню, тип шин, характеристики електродвигуна, інвертора, трансмісії та акумуляторної батареї. Маса автомобіля впливає на енергію, необхідну для прискорення, а також на силу опору коченню. Аеродинамічні характеристики стають особливо важливими при русі з підвищеною швидкістю, оскільки опір повітря зростає нелінійно. Стан шин і дорожнього покриття визначає втрати енергії під час кочення.

До динамічних факторів належать швидкість, прискорення, уповільнення, частота зупинок, тривалість руху на сталій швидкості та інтенсивність гальмування. Саме ця група факторів є основною для даної роботи, оскільки швидкісний режим може бути вимірний, проаналізований і частково скоригований водієм або програмною підсистемою. Дослідження [4] показує, що швидкість, прискорення, потужність батареї та енергоспоживання мають тісний взаємозв'язок, а аналіз цих параметрів може бути використаний для підвищення енергоефективності руху.

Дорожні фактори включають ухил дороги, якість дорожнього покриття, кількість світлофорів, перехресть, пішохідних переходів, обмежень швидкості та заторів. При русі на підйом електромобіль витрачає додаткову енергію на

подолання сили тяжіння. Під час руху на спуску частина енергії може бути повернута до батареї за рахунок рекуперативного гальмування. У міському русі енергоспоживання часто збільшується через нерівномірний характер руху, тоді як на автомагістралі основним фактором зростання витрат є висока швидкість і пов'язаний із нею аеродинамічний опір.

Таблиця 1.1 – Основні фактори, що впливають на енергоспоживання електромобіля

<b>Група факторів</b>	<b>Приклади параметрів</b>	<b>Вплив на енергоспоживання</b>
Характеристики автомобіля	Маса, аеродинамічний коефіцієнт, площа лобового опору, шини	Визначають базові втрати на кочення та опір повітря
Батарея	Ємність, SOC, температура, внутрішній опір, деградація	Визначає доступний запас енергії та допустимі режими віддачі потужності
Динаміка руху	Швидкість, прискорення, гальмування, сталість руху	Безпосередньо впливає на питоми енергоспоживання, Вт·год/км, і запас ходу
Дорожні умови	Ухили, покриття, тип дороги	Змінюють сили опору та можливість рекуперації
Транспортні умови	Затори, світлофори, щільність потоку	Впливають на кількість розгонів, зупинок і час руху
Зовнішнє середовище	Температура, вітер, опади	Впливає на батарею, аеродинаміку, кочення та допоміжні навантаження
Допоміжні системи	Опалення, кондиціонер, освітлення, електроніка	Споживають енергію незалежно від тягового режиму

До кліматичних факторів належать температура навколишнього середовища, вітер, опади та сезонні умови. Низька температура може зменшувати доступну ємність акумуляторної батареї та збільшувати витрати енергії на обігрів салону і батареї. Висока температура може підвищувати навантаження на систему кондиціонування та систему термодкерування батареєю. Тому однаковий швидкісний режим може призводити до різного фактичного енергоспоживання залежно від пори року та умов експлуатації.

З фізичної точки зору під час руху автомобіль долає сумарну силу опору, яку можна подати у вигляді:

$$F_{\text{tot}} = F_{\text{roll}} + F_{\text{air}} + F_{\text{grade}} + F_{\text{acc}} \quad (1.3)$$

де  $F_{\text{tot}}$  – сумарна сила опору руху;  $F_{\text{roll}}$  – сила опору коченню;  $F_{\text{air}}$  – аеродинамічний опір;  $F_{\text{grade}}$  – складова сили тяжіння при русі на ухилі;  $F_{\text{acc}}$  – інерційна складова, пов'язана з прискоренням.

Формула (1.3) показує, що енергоспоживання електромобіля не може бути пояснене одним фактором. Воно формується внаслідок взаємодії технічних характеристик автомобіля, дорожніх умов і динаміки руху. Для даної роботи найбільш важливими є складові, пов'язані зі швидкістю та прискоренням, оскільки саме вони безпосередньо відображають швидкісний режим експлуатації.

### 1.3 Вплив швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля

Швидкість руху є одним із головних параметрів, що визначає витрати енергії електромобіля на одиницю шляху. Під час руху автомобіль долає сили опору, серед яких основними є опір коченню, аеродинамічний опір, інерційні сили під час розгону, а також опір, пов'язаний із рельєфом дороги. Для підтримання заданої швидкості електродвигун повинен забезпечувати потужність, достатню для компенсації цих сил.

При низьких швидкостях аеродинамічний опір є відносно невеликим, однак питоме енергоспоживання не завжди є мінімальним. Це пояснюється тим, що за малих швидкостей збільшується час руху на одиницю відстані, а отже, зростає відносний вплив допоміжних споживачів енергії. Крім того, у реальних міських умовах низька середня швидкість часто пов'язана не зі сталим повільним рухом, а з частими зупинками, розгонами й гальмуваннями.

У таких режимах енергія витрачається не лише на подолання опору руху, а й на багаторазове збільшення кінетичної енергії автомобіля.

На середніх швидкостях електромобіль може працювати у більш енергоефективному режимі. У цьому діапазоні втрати на аеродинамічний опір ще не є надмірними, а час руху на одиницю шляху вже достатньо малий, щоб зменшити відносний вплив допоміжних систем. Саме тому для багатьох електромобілів існує певна область швидкостей, у якій питоме енергоспоживання є мінімальним. Цю швидкість можна розглядати як енергетично раціональну або оптимальну з погляду мінімізації енергоспоживання.

При високих швидкостях енергоспоживання зростає переважно через збільшення аеродинамічного опору. Опір повітря має нелінійну залежність від швидкості, тому збільшення швидкості призводить до непропорційного зростання необхідної потужності. У результаті рух на високих швидкостях може суттєво зменшувати запас ходу електромобіля. Це особливо помітно під час руху автомагістралями, де швидкість є сталою, але високою. Кількісно вплив швидкості на аеродинамічний опір можна пояснити співвідношенням:

$$F_{\text{air}} = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (1.4)$$

де  $\rho$  – густина повітря,  $\text{кг/м}^3$ ;  $C_d$  – коефіцієнт аеродинамічного опору;  $A$  – площа лобового перерізу,  $\text{м}^2$ ;  $v$  – швидкість руху,  $\text{м/с}$ .

З формули (1.4) видно, що аеродинамічний опір пропорційний квадрату швидкості. Тому при зростанні швидкості руху енергія, необхідна для подолання опору повітря, збільшується значно швидше, ніж сама швидкість. Це пояснює, чому рух на автомагістралі з високою швидкістю може суттєво зменшувати запас ходу електромобіля.

Дослідження, присвячені впливу швидкісних обмежень на енергоспоживання електромобілів, показують, що зниження швидкості не завжди автоматично приводить до зменшення питомих витрат енергії.

Зокрема, в роботі [5] підкреслюють, що обмеження швидкості може мати неоднозначний енергетичний ефект: воно є важливим для безпеки дорожнього руху, але з погляду енергоспоживання результат залежить від конкретного діапазону швидкостей і умов руху.

Важливо також враховувати не лише середнє значення швидкості, але й стабільність руху. Рух із частими змінами швидкості призводить до додаткових втрат енергії через прискорення та гальмування. Навпаки, підтримання більш сталої швидкості може зменшувати споживання. В роботі [3] на основі GPS- та OBD-даних показали, що підтримання сталої швидкості може скорочувати енергоспоживання на дорожніх ділянках, оскільки зменшується кількість різких змін режиму руху.

Узагальнений аналіз літературних джерел показує, що залежність питомого енергоспоживання електромобіля від швидкості має нелінійний характер. Однак кількісний вигляд цієї залежності залежить від конкретного автомобіля, умов експлуатації, структури вхідних даних і застосованого методу обробки.

Отже, залежність між швидкістю та питомим енергоспоживанням має нелінійний характер. При малих швидкостях на споживання суттєво впливають допоміжні системи та нерівномірність руху, при середніх швидкостях може спостерігатися область мінімального споживання, а при високих швидкостях домінує аеродинамічний опір. Детальна математична модель цієї залежності буде розглянута у розділі 2.

#### **1.4 Роль прискорення, гальмування та рекуперації енергії**

Хоча основним параметром даної роботи є швидкість руху, для повного розуміння енергоспоживання електромобіля необхідно враховувати також прискорення та гальмування. Прискорення характеризує зміну швидкості з часом і безпосередньо пов'язане з потребою у додатковій потужності. Чим інтенсивніший розгін, тим більший струм відбирається від акумуляторної батареї, а отже, тим більшим є миттєве енергетичне навантаження на

електропривод. Вплив прискорення на енергоспоживання електромобіля підтверджено у дослідженнях [4], [7].

Під час розгону електромобіль витрачає енергію на збільшення кінетичної енергії своєї маси. Якщо водій часто використовує різкі прискорення, енергоспоживання зростає навіть за відносно невеликої середньої швидкості. Це характерно для міського руху, де автомобіль часто зупиняється на світлофорах, пішохідних переходах або в заторах, а потім знову розганяється. Тому однакова середня швидкість може відповідати різним витратам енергії залежно від того, наскільки плавним або нерівномірним був рух.

Гальмування в електромобілі має особливість, пов'язану з можливістю рекуперації. Під час рекуперативного гальмування електродвигун працює як генератор, перетворюючи частину кінетичної енергії автомобіля на електричну енергію, яка повертається до акумуляторної батареї. Це є однією з причин, чому електромобілі можуть бути досить ефективними у міських умовах, де відбувається багато уповільнень.

Однак рекуперація не компенсує повністю енергію, витрачену на попередній розгін. Частина енергії втрачається через обмеження ефективності електродвигуна, інвертора, батареї, механічних вузлів, а також через умови зчеплення та алгоритми керування. Крім того, режим прискорення може впливати не лише на поточне енергоспоживання, але й на навантаження та ресурс акумуляторної батареї [8]. Крім того, при різкому або аварійному гальмуванні може використовуватися механічна гальмівна система, що призводить до втрат енергії у вигляді тепла. Тому плавний рух із меншою кількістю різких розгонів і гальмувань зазвичай є більш енергоефективним.

Для програмної підсистеми оцінювання швидкісного режиму важливо враховувати, що швидкість і прискорення взаємопов'язані. Якщо аналіз виконується лише за середньою швидкістю, частина інформації про реальний режим руху може бути втрачена. Проте для бакалаврської роботи доцільним є використання швидкості як основного фактора, оскільки вона є простою для

вимірювання та інтерпретації. Прискорення й рекуперація можуть розглядатися як додаткові характеристики, які пояснюють відхилення фактичного енергоспоживання від апроксимованої залежності.

Таким чином, швидкість визначає загальну форму залежності енергоспоживання від режиму руху, а прискорення, гальмування та рекуперація уточнюють цю залежність для реальних дорожніх умов. У практичному застосуванні це означає, що рекомендації щодо енергоефективного руху мають враховувати не лише вибір раціональної швидкості, а й бажаність плавного керування без надмірних прискорень.

### **1.5 Використання OBD-даних для аналізу режимів руху електромобіля**

Сучасні електромобілі оснащені великою кількістю датчиків і електронних блоків керування. Вони постійно збирають інформацію про стан акумуляторної батареї, електродвигуна, силової електроніки, систем безпеки та допоміжних пристроїв. Частина цієї інформації може бути отримана через систему бортової діагностики OBD або через CAN-шину автомобіля.

OBD-дані є важливим джерелом інформації для аналізу реальної експлуатації електромобіля. На відміну від теоретичних або паспортних характеристик, вони відображають фактичні режими руху конкретного автомобіля. За допомогою OBD можна отримати значення швидкості, пробігу, напруги батареї, струму батареї, потужності, рівня заряду, залишкового запасу ходу та інших параметрів. Якщо такі дані записуються у часі, їх можна використовувати для побудови часових рядів і подальшого аналізу.

Перевагою OBD-даних є їх практична доступність. Для збору інформації не завжди потрібне складне лабораторне обладнання. Достатньо діагностичного адаптера, програмного забезпечення та методики обробки отриманих даних. Це робить OBD-дані зручними для навчальних, дослідницьких і прикладних задач. Водночас такі дані можуть містити

похибки, пропуски, нерівномірні інтервали запису або шум, тому перед моделюванням необхідна попередня обробка.

У дослідженні [3] для аналізу енергоспоживання електромобілів було використано великий масив траєкторних даних, сформованих на основі GPS-та OBD-вимірювань. Автори показали, що аналіз на рівні окремих дорожніх ділянок дозволяє краще зрозуміти вплив сталої швидкості та режиму руху на витрати енергії. Такий підхід підтверджує доцільність використання діагностичних даних для побудови програмних підсистем аналізу енергоспоживання.

Основними параметрами, які можуть бути використані у підсистемі оцінювання енергоспоживання, є швидкість руху, напруга батареї, струм батареї, потужність тягової системи, рівень заряду SOC, температура батареї, пробіг, часові мітки вимірювань та ознаки рекуперації. Частина цих параметрів використовується безпосередньо, а частина може бути розрахована на основі первинних вимірювань.

На практиці експлуатаційні дані можуть містити похибки, пропуски, шум, нерівномірні часові інтервали або некоректні значення. Тому перед побудовою моделі необхідна попередня обробка даних. Вона може включати фільтрацію некоректних записів, приведення одиниць вимірювання, усунення пропусків, розрахунок похідних параметрів, а також групування даних за швидкісними діапазонами.

У даній роботі OBD-дані розглядаються як основа для подальшого моделювання залежності між швидкісним режимом та питомим енергоспоживанням. Детальний порядок підготовки даних, формування швидкісних зон та побудови математичної моделі наведено у розділі 2.

## **1.6 Сучасні підходи до моделювання енергоспоживання електромобілів**

Моделювання енергоспоживання електромобілів є важливим напрямом досліджень, оскільки воно дає змогу прогнозувати запас ходу, оцінювати

ефективність маршрутів, розробляти системи еко-керування та оптимізувати роботу зарядної інфраструктури. Існують різні підходи до побудови таких моделей, які відрізняються складністю, кількістю вхідних параметрів, точністю та сферою застосування.

Моделі також можна класифікувати за масштабом. Мікроскопічні моделі оцінюють енергоспоживання з високою часовою деталізацією, наприклад для кожної секунди руху. Вони потребують даних про миттєву швидкість, прискорення, потужність і умови дороги. Макроскопічні або агреговані моделі оцінюють споживання на рівні маршруту, дорожньої ділянки або швидкісної зони. У даній роботі використовується агрегований підхід: дані групуються за швидкісними зонами, після чого для кожної зони визначається середнє питоме енергоспоживання.

У науковій літературі моделювання енергоспоживання електромобілів, вплив швидкісного режиму, прискорення та характеру руху на запас ходу є поширеною темою. Це пов'язано з тим, що фактичний пробіг електромобіля може суттєво змінюватися залежно від умов експлуатації навіть за однакової ємності акумуляторної батареї. Порівняльний аналіз результатів деяких досліджень представлено у Таблиці 1.2.

В роботі [1] автори виконали огляд моделей оцінювання енергоспоживання електромобілів і показали, що такі моделі можна класифікувати за масштабом моделювання та методологією побудови. За масштабом розрізняють мікроскопічні та макроскопічні моделі, а за методологією – фізичні, емпіричні та data-driven підходи. Така класифікація є корисною для вибору підходу у даній роботі, оскільки розроблювана підсистема має бути достатньо простою для реалізації, але водночас придатною для аналізу реальних даних.

Фізичні моделі базуються на рівняннях руху автомобіля та описують сили, які діють на транспортний засіб: опір коченню, аеродинамічний опір, силу інерції під час розгону та силу, пов'язану з ухилом дороги. Такі моделі мають добру інтерпретованість, але потребують знання багатьох параметрів

автомобіля, зокрема маси, коефіцієнта опору повітря, площі лобового перерізу, коефіцієнта опору коченню та ефективності компонентів приводу.

Емпіричні моделі будуються на основі експериментальних або експлуатаційних даних. Вони не завжди описують усі фізичні процеси детально, але дозволяють отримати практично корисну залежність між вхідними параметрами та енергоспоживанням. До таких моделей належать регресійні залежності, у яких питома енергоспоживання розглядається як функція швидкості, прискорення або інших параметрів. Перевагою регресійних моделей є відносна простота реалізації та можливість застосування до реальних даних конкретного автомобіля.

Data-driven моделі використовують методи статистики, машинного навчання або штучного інтелекту. Вони можуть враховувати велику кількість факторів і виявляти складні нелінійні залежності. Такі підходи є перспективними для великих масивів даних, але потребують значної кількості якісних вимірювань і можуть бути менш прозорими для пояснення результатів. Для бакалаврської роботи доцільнішим є використання простішої, але зрозумілої моделі, яку можна обґрунтувати фізично та реалізувати програмно.

З огляду на поставлену задачу та необхідність простої програмної реалізації, у подальших розділах роботи для оцінювання впливу швидкості буде використано поліноміальну регресію другого степеня. Такий підхід дозволяє описати нелінійний характер залежності та наявність області мінімального питомого енергоспоживання.

В роботі [4] досліджували вплив швидкості та прискорення на енергоспоживання електромобіля в умовах міського та автомагістрального руху. Автори показали, що енергоспоживання пов'язане не лише зі швидкістю, але й з прискоренням, потужністю батареї та режимом роботи електроприводу. Це підтверджує необхідність аналізу динамічних параметрів руху під час оцінювання ефективності електромобіля.

Таблиця 1.2 – Порівняння досліджень щодо енергоспоживання електромобілів

Джерело	Об'єкт аналізу	Дані / метод	Висновок для даної роботи
Chen et al.	Огляд моделей оцінювання енергоспоживання EV	Аналіз літератури; класифікація моделей	Фактори поділено на компоненти авто, динаміку руху, трафік і середовище; моделі - фізичні / емпіричні / data-driven; мікро- та макромоделі
Kozłowski et al. (2024)	Вплив швидкості та прискорення	Дорожні вимірювання у міському та магістральному режимах	Підтверджено зв'язок швидкості, прискорення, потужності батареї та енергоспоживання
David et al. (2022)	Стала швидкість і споживання енергії	Великий набір GPS+OBD траєкторій	Підтримання сталої швидкості може істотно зменшувати споживання енергії на ділянках дороги
Mamala et al. (2023)	Швидкісні обмеження та енергоспоживання	Випробування за сталої швидкості	Зменшення швидкості не завжди дає зниження Вт·год/км, тому потрібне оцінювання оптимального діапазону
Desreveaux et al. (2019)	Профіль швидкості та споживання EV	Модель тягової підсистеми і генератор їздового циклу	Максимальна швидкість має помітний вплив на енергоспоживання та запас ходу
Galvin (2017)	Швидкість і прискорення в лабораторних випробуваннях	Динамометричні тести електромобілів	Різкі прискорення суттєво погіршують ефективність і запас ходу
Liu et al. (2024)	Енергоспоживання та ресурс батареї під час прискорення	Модель енергоспоживання і деградації батареї	Режим прискорення впливає не лише на питоме енергоспоживання, а й на навантаження батареї
Jiang et al. (2026)	Електрифікація транспорту і реальні енергетичні потоки	Bottom-up модель на основі реальних даних	Підкреслено значення реальних даних для оцінювання просторово-часових енергетичних потреб

В роботі [5] аналізували вплив швидкісних обмежень на енергоспоживання електричних легкових автомобілів у реальних дорожніх

умовах. У роботі підкреслюється, що обмеження швидкості можуть мати неоднозначний енергетичний ефект: з погляду безпеки вони можуть бути доцільними, але з погляду енергоспоживання зниження швидкості не завжди забезпечує зменшення витрат енергії. Це важливо для обґрунтування того, що залежність між швидкістю та енергоспоживанням не є просто лінійною.

В роботі [3] використали великий масив GPS- та OBD-даних для аналізу впливу сталої швидкості на енергоспоживання електромобілів. Автори дійшли висновку, що підтримання сталої швидкості може зменшувати енергоспоживання, оскільки знижується кількість різких прискорень і гальмувань. Це підтверджує доцільність використання реальних експлуатаційних даних для аналізу режимів руху.

В роботі [6] досліджували вплив профілю швидкості на енергоспоживання електромобіля за допомогою моделі тягової системи та генератора їздових циклів. У роботі показано, що максимальна швидкість має істотний вплив на енергоспоживання, тоді як вплив максимального прискорення в розглянутих сценаріях був менш значним. Це ще раз підтверджує важливість аналізу саме швидкісного режиму.

У роботі [7] на основі лабораторних динамометричних випробувань електромобілів показано, що прискорення може суттєво знижувати енергоефективність, особливо при помірних і високих значеннях прискорення. У роботі [8] додатково розглядається взаємозв'язок між енергоспоживанням під час прискорення та деградацією батареї, що підкреслює важливість не лише зниження витрат енергії, але й обмеження надмірних струмових навантажень на акумулятор.

В роботі [9] розглядають питання енергоспоживання електрифікованого транспорту на основі реальних даних та підкреслюють важливість просторово-часового аналізу енергетичних витрат для транспортних мереж. Хоча ця робота має ширший масштаб, її результати підтверджують загальну тенденцію: для точного оцінювання енергоспоживання необхідно враховувати реальні режими руху, а не лише середні паспортні характеристики.

На основі аналізу наведених джерел можна зробити висновок, що швидкість руху є одним із ключових факторів енергоспоживання електромобіля. Водночас її вплив має нелінійний характер і залежить від прискорення, дорожніх умов, сталої або нерівномірної швидкості, а також можливості рекуперації. Це обґрунтовує необхідність створення програмної підсистеми, яка дозволяє на основі експлуатаційних даних оцінювати зв'язок між швидкісним режимом і питомим енергоспоживанням.

### **1.7 Постановка задачі дослідження**

Проведений аналіз показує, що енергоспоживання електромобіля залежить від багатьох факторів, однак швидкісний режим є одним із найбільш важливих і практично керованих параметрів. Саме швидкість руху значною мірою визначає співвідношення між втратами на опір коченню, аеродинамічним опором, тривалістю роботи допоміжних систем і питомими витратами енергії на одиницю шляху.

Проблема полягає в тому, що водій не завжди має можливість оцінити, який швидкісний режим є найбільш економічним для конкретного електромобіля. Бортові системи можуть показувати поточний запас ходу або середнє споживання, але не завжди надають зрозумілий аналіз залежності між швидкістю та питомими витратами енергії. Тому виникає потреба у програмній підсистемі, яка може автоматично обробляти дані, будувати модель і надавати користувачу наочні результати.

У межах даної роботи необхідно розробити підсистему оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля. Вхідними даними для такої підсистеми є експлуатаційні або агреговані OBD-дані, що характеризують швидкість руху, потужність батареї, питоме енергоспоживання, рівень заряду та інші параметри. На основі цих даних підсистема повинна виконувати попередню обробку, групування за швидкісними зонами, побудову регресійної моделі, визначення оптимальної швидкості та візуалізацію результатів.

Основними функціями підсистеми є:

- завантаження та підготовка вхідних даних;
- виділення швидкісних діапазонів;
- розрахунок середнього питомого енергоспоживання для кожної швидкісної зони;
- побудова математичної моделі залежності енергоспоживання від швидкості;
- визначення швидкості, що відповідає мінімальному питомому споживанню;
- оцінювання прогнозованого запасу ходу за доступною енергією батареї;
- побудова графіків і формування результатів аналізу у зручній формі.

Таким чином, задача дослідження полягає у розробці алгоритмічного та програмного забезпечення для аналізу впливу швидкості на енергоспоживання електромобіля. Результатом роботи має стати програмна підсистема, яка дозволяє на основі реальних або підготовлених даних визначати раціональний швидкісний режим і оцінювати його вплив на запас ходу електромобіля.

Об'єктом дослідження є процес енергоспоживання електромобіля під час руху в різних швидкісних режимах. Предметом дослідження є математичні моделі, алгоритми та програмні засоби оцінювання впливу швидкості руху на питоме енергоспоживання електромобіля.

Метою роботи є розробка програмної підсистеми оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля на основі обробки діагностичних даних, регресійного моделювання та візуалізації результатів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- виконати аналіз предметної області та визначити основні фактори, що впливають на енергоспоживання електромобіля;
- проаналізувати сучасні підходи до моделювання енергоспоживання електромобілів;
- обґрунтувати використання швидкості руху як одного з ключових параметрів оцінювання енергоефективності;

- сформувати математичну модель залежності питомого енергоспоживання від швидкості;
- розробити алгоритм обробки вхідних даних і визначення раціонального швидкісного режиму;
- реалізувати програмну підсистему для аналізу, моделювання та візуалізації результатів;
- провести тестування підсистеми та виконати аналіз отриманих результатів;
- провести розрахунки стосовно охорони праці.

### **Висновки до розділу 1**

У першому розділі розглянуто електромобіль як енергетичний та інформаційний об'єкт. Показано, що сучасний електромобіль не лише споживає електричну енергію для забезпечення руху, але й формує експлуатаційні дані, які можуть бути використані для аналізу та моделювання режимів руху.

Проаналізовано основні фактори, що впливають на енергоспоживання електромобіля: конструктивні параметри, характеристики батареї, швидкість, прискорення, дорожні умови, температура навколишнього середовища та допоміжні системи. Встановлено, що швидкісний режим є одним із найбільш важливих і доступних для аналізу факторів.

На основі аналізу літератури обґрунтовано доцільність використання OBD- та GPS-даних для оцінювання реальних режимів руху. Сформульовано задачу роботи, яка полягає у розробці програмної підсистеми для оцінювання впливу швидкісного режиму на питоме енергоспоживання електромобіля.

## РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

### 2.1 Загальна постановка задачі моделювання

Метою моделювання у даній роботі є встановлення кількісної залежності між швидкісним режимом руху електромобіля та його питомим енергоспоживанням. У розділі 1 було показано, що питоме енергоспоживання є одним із ключових показників, який безпосередньо впливає на запас ходу електромобіля згідно з формулою (1.1). Також було визначено, що цей показник розраховується як відношення витраченої енергії до пройденої відстані за формулою (1.2).

У даному розділі розглядається математична модель, яка дозволяє перейти від окремих експлуатаційних даних до узагальненої залежності питомого енергоспоживання від швидкості руху. Така модель є необхідною для того, щоб визначити швидкісний діапазон, у якому електромобіль працює найбільш енергоефективно, а також оцінити можливий запас ходу за різних режимів руху.

Вхідними даними для моделювання є експлуатаційні дані електромобіля, отримані з бортової діагностики. Вони містять інформацію про швидкість руху, енергетичні параметри батареї та показники, необхідні для оцінювання енергоспоживання. Оскільки первинні вимірювання можуть містити випадкові коливання, шум і нерівномірний розподіл за швидкостями, перед побудовою моделі виконується агрегування даних за швидкісними зонами.

У межах роботи моделювання виконується у такій послідовності:

- підготовка та попередня обробка вхідних даних;
- групування даних за швидкісними зонами;
- розрахунок середнього питомого енергоспоживання для кожної зони;
- побудова регресійної моделі залежності  $e(v)$ ;

- визначення швидкості, що відповідає мінімальному питомому енергоспоживанню;
- прогнозування запасу ходу на основі отриманої залежності;
- аналіз отриманих результатів і підготовка їх до програмної реалізації.

Таким чином, задача моделювання полягає не лише у розрахунку окремих значень енергоспоживання, а у створенні математичної основи для програмної підсистеми, яка зможе автоматизовано оцінювати вплив швидкісного режиму на ефективність руху електромобіля.

## **2.2 Об'єкт дослідження та джерело діагностичних даних**

У якості об'єкта дослідження в роботі розглядається електромобіль Peugeot iOn 2012 року випуску (див. Рис. 2.1а). Основні характеристики об'єкта дослідження та джерела діагностичних даних наведено в таблиці 2.1. Модель Peugeot iOn 2012 року випуску належить до компактних міських електромобілів і є придатною для аналізу енергоспоживання в умовах реальної експлуатації, оскільки її режими руху характеризуються значною зміною швидкості, частими зупинками, прискореннями та гальмуваннями. З урахуванням тривалого строку експлуатації автомобіля особливого значення набуває оцінювання ефективності використання акумуляторної батареї та аналіз режимів руху, які впливають на запас ходу.

Тягова акумуляторна батарея (Рис. 2.1б) електромобіля складається з 88 окремих елементів. Елементи об'єднані у блоки по 4 елементи. Більшість модулів містять по два блоки, тобто по 8 елементів, а окремі модулі мають по одному блоку. Така структура батареї є важливою з точки зору діагностики, оскільки стан окремих елементів і їх балансування впливають на доступну ємність батареї, стабільність її роботи та фактичний запас ходу електромобіля.

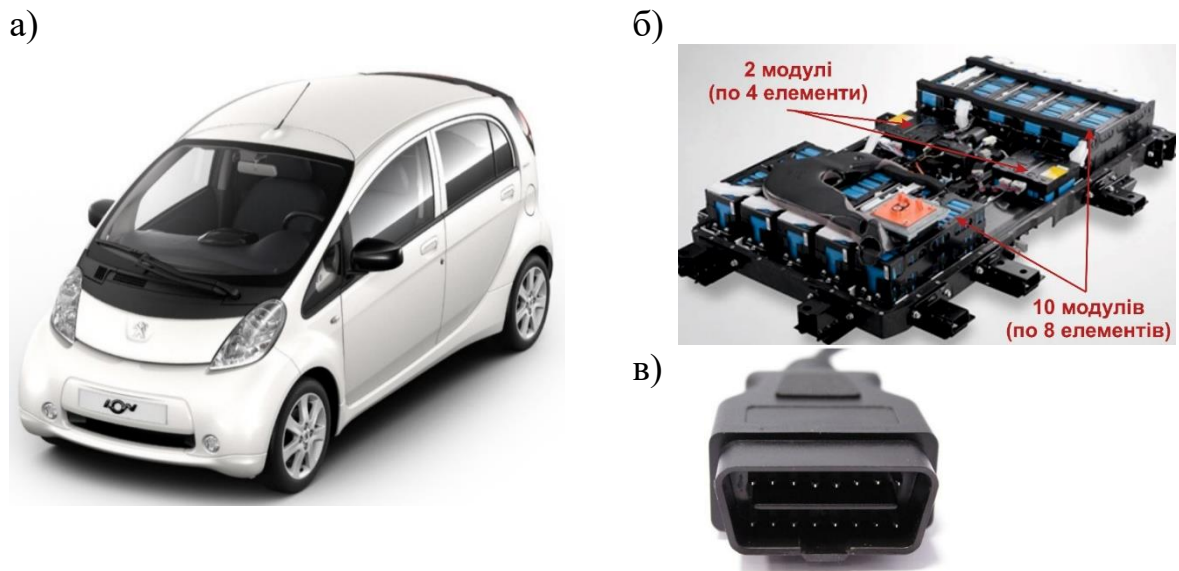


Рисунок 2.1 – Ілюстрація об'єкту дослідження:

- а) Електромобіль Peugeot iOn;
- б) Структура акумуляторної батареї Peugeot iOn; в) Діагностичний роз'єм J1962 OBD-II для проведення бортової діагностики

Для заряджання електромобіля використовується роз'єм J1772 Type 1. Заряджання здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В. При максимальному струмі 16 А типова потужність заряджання становить близько 3,5 кВт, а тривалість повного заряджання може становити приблизно 4 години. При зменшенні струму заряджання до 6 А процес заряджання триває довше і може наблизитися до 8 годин. Повільніше заряджання є більш сприятливим для акумуляторної батареї, оскільки зменшує теплове навантаження та створює кращі умови для балансування елементів.

Для отримання експлуатаційних даних використовується діагностичний інтерфейс J1962 OBD-II (Рис. 2.1в), підключений до мобільного застосунку OBDZero. Такий підхід дозволяє отримувати дані з електронних систем автомобіля без використання спеціалізованого лабораторного обладнання.

Таблиця 2.1 – Характеристика об'єкта дослідження та джерела даних

Параметр	Значення / опис
Об'єкт дослідження	Електромобіль Peugeot iOn
Рік випуску	2012
Тип транспортного засобу	Компактний міський електромобіль
Джерело енергії	Тягова акумуляторна батарея
Кількість елементів батареї	88 елементів
Структура батареї	Елементи згруповані у блоки по 4 елементи
Зарядний роз'єм	J1772 Type 1
Напруга заряджання	220 В АС
Максимальний струм заряджання	16 А
Орієнтовна потужність заряджання	3,5 кВт
Орієнтовний час заряджання при 16 А	близько 4 год
Орієнтовний час заряджання при 6 А	близько 8 год
Діагностичний інтерфейс	J1962 OBD-II
Програмний засіб збору даних	OBDZero
Орієнтовний запас ходу після повного заряджання	близько 80 км

Загальну послідовність отримання та подальшої обробки діагностичних даних показано на рис. 2.2. До даних, які можуть бути використані для аналізу, належать швидкість руху, параметри акумуляторної батареї, рівень заряду, пробіг, потужність, енергоспоживання та інші показники, доступні через бортову діагностику. В роботі були використані дані кількох днів користування, представлені в Додатку А.

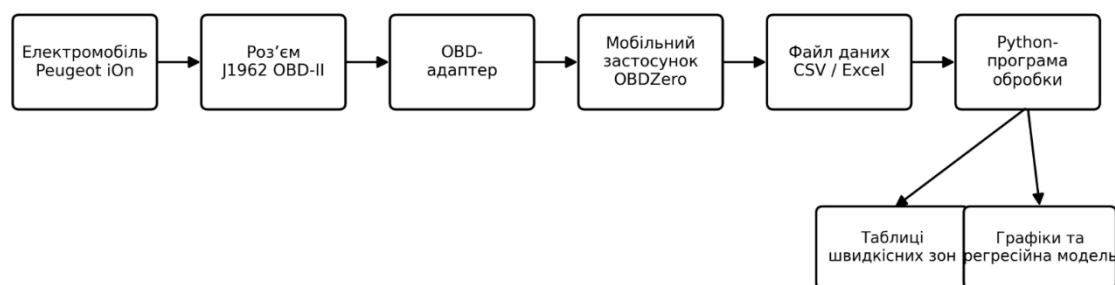


Рисунок 2.2 – Схема отримання та обробки діагностичних даних електромобіля

Приблизний запас ходу цього електромобіля після повного заряджання становить близько 80 км, що пов'язано з тривалою попередньою експлуатацією автомобіля та фактичним станом акумуляторної батареї. Тому для такого об'єкта особливо актуальною є задача визначення швидкісного режиму, за якого витрати енергії на одиницю шляху є мінімальними. Це дозволяє підвищити ефективність використання наявної ємності батареї без зміни конструкції автомобіля.

Для побудови моделі використовуються дані бортової діагностики електромобіля. Такі дані відображають фактичні умови експлуатації автомобіля, тому вони є більш придатними для прикладного аналізу, ніж лише паспортні характеристики. Основним параметром, який використовується як незалежна змінна, є швидкість руху  $v$ . Залежною змінною є питоме енергоспоживання  $e$ , яке характеризує витрати енергії на один кілометр пробігу.

Наявність таких даних створює передумови для побудови програмних підсистем, які виконують автоматизовану обробку інформації, розрахунок енергетичних показників, побудову математичних моделей і візуалізацію результатів. У такій підсистемі первинні дані перетворюються на аналітичну інформацію, яка може бути використана для оцінювання ефективності руху та формування рекомендацій щодо вибору раціонального швидкісного режиму.

Оскільки окремі вимірювання можуть бути нерівномірно розподілені за швидкістю, дані доцільно згрупувати у швидкісні зони. Такий підхід дозволяє зменшити вплив випадкових відхилень і отримати більш стійкі середні значення для подальшого регресійного аналізу.

Первинний масив містив 1106 OBD-записів. Після попередньої фільтрації для регресійного аналізу було використано 642 записи, які були згруповані у 7 швидкісних зон. Кожна зона характеризується середньою швидкістю, середнім питомим енергоспоживанням і кількістю спостережень у відповідному діапазоні. Кількість записів у різних швидкісних зонах є

неоднаковою, тому під час побудови регресійної моделі необхідно враховувати статистичну вагу кожної зони.

Первинний масив даних містив 1106 OBD-записів, отриманих під час експлуатації електромобіля Peugeot iOn. Однак не всі записи можуть бути безпосередньо використані для побудови регресійної залежності між швидкістю руху та питомим енергоспоживанням. Частина даних може відповідати режимам стоянки, перехідним режимам, записам із неповними параметрами або значенням, які не є репрезентативними для аналізу сталого руху. Тому перед моделюванням було виконано попередній відбір записів, придатних для аналізу залежності питомого енергоспоживання від швидкості. Після фільтрації для регресійного аналізу було використано 642 записи, які були згруповані у сім швидкісних зон. Для кожної зони визначено кількість вимірювань  $n_i$ , що надалі використовується для розрахунку вагових коефіцієнтів у зваженому методі найменших квадратів. Розподіл відібраних OBD-вимірювань за швидкісними зонами наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Розподіл вимірювань, використаних для регресійного аналізу, за швидкісними зонами

№ швидкісної зони	Діапазон швидкості, км/год	Кількість вимірювань, $n_i$	Частка відібраному масиві, % у
1	0–10	257	40,0
2	10–20	62	9,7
3	20–30	50	7,8
4	30–40	95	14,8
5	40–50	71	11,1
6	50–60	45	7,0
7	60–70	62	9,7
<b>Разом</b>	–	<b>642</b>	<b>100,0</b>

Як видно з табл. 2.2, кількість вимірювань у різних швидкісних зонах є нерівномірною. Найбільша частка даних припадає на діапазон 0-10 км/год, що

може бути пов'язано з міським характером експлуатації електромобіля, зупинками, початком руху та маневруванням на малих швидкостях. Водночас для інших швидкісних зон кількість вимірювань є меншою, але саме ці діапазони є важливими для аналізу впливу швидкості на питоме енергоспоживання.

Нерівномірний розподіл кількості даних за швидкісними зонами обґрунтовує використання зваженого методу найменших квадратів. У такому підході швидкісні зони з більшою кількістю вимірювань мають більший статистичний вплив на результат апроксимації, тоді як зони з меншою кількістю записів не спотворюють модель надмірно. Для цього кожній швидкісній зоні ставиться у відповідність ваговий коефіцієнт  $w_i$ , який визначається пропорційно кількості спостережень у цій зоні.

### 2.3 Формування вхідних параметрів енергетичного аналізу

Під час передавання енергії від батареї до коліс у кожному елементі тягової системи виникають втрати. Тому до коліс надходить не вся енергія, накопичена в акумуляторній батареї, а лише її частина. Сумарний коефіцієнт корисної дії тягової системи можна подати як добуток ефективностей окремих елементів:

$$\eta_{total} = \eta_{bat} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{tr} \quad (2.1)$$

де  $\eta_{total}$  – сумарний коефіцієнт корисної дії тягової системи;  $\eta_{bat}$  – ефективність акумуляторної батареї;  $\eta_{inv}$  – ефективність силового перетворювача;  $\eta_{motor}$  – ефективність електродвигуна;  $\eta_{tr}$  – ефективність трансмісії.

Для сучасних електромобілів окремі елементи тягової системи зазвичай мають високі значення ККД. Орієнтовно ефективність акумуляторної батареї під час віддавання енергії може становити близько 94-98 %, силового

перетворювача – 95-98 %, електродвигуна – 88-96 %, а механічної трансмісії – 92-97 %. Тому сумарна ефективність передавання енергії від батареї до коліс може становити приблизно 75-85 % залежно від режиму руху, навантаження, температури та робочої точки електроприводу. Наведені значення є орієнтовними інженерними оцінками, оскільки фактична ефективність змінюється під час експлуатації.

Наприклад, якщо прийняти ефективність батареї, інвертора, електродвигуна та трансмісії відповідно 0,96; 0,97; 0,93 і 0,95, то сумарний ККД тягового ланцюга становитиме:  $\eta_{total} = 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,93 \cdot 0,95 \approx 0,82$ . Отже, у наведеному прикладі приблизно 82 % енергії, що віддається акумуляторною батареєю, може бути перетворено у корисну механічну енергію на колесах. Решта енергії втрачається у вигляді теплових, електричних і механічних втрат. Це значення не є сталим: при різких прискореннях, низькій температурі батареї, високій швидкості або зміні навантаження фактичні втрати можуть збільшуватися.

Для енергетичного аналізу важливими є насамперед параметри, які дозволяють визначити потужність і витрати енергії. Електрична потужність батареї може бути оцінена за добутком напруги та струму:

$$P = UI \quad (2.2)$$

де  $P$  – електрична потужність, Вт;  $U$  – напруга батареї, В;  $I$  – струм батареї, А.

Якщо потужність відома як функція часу, витрачена енергія може бути визначена інтегруванням потужності за часом:

$$E = \int P(t)dt \quad (2.3)$$

Для дискретних даних, які отримуються з бортової діагностики, це співвідношення можна наближено записати у вигляді суми:

$$E \approx \sum_{i=1}^n P_i \Delta t_i \quad (2.4)$$

де  $P_i$  – потужність у момент вимірювання;  $\Delta t_i$  – інтервал часу між вимірюваннями;  $n$  – кількість вимірювань.

Для кожної швидкісної зони визначаються такі величини:

- $v_i$  – середня швидкість у  $i$ -й зоні, км/год;
- $e_i$  – середнє питоме енергоспоживання у  $i$ -й зоні, Вт·год/км;
- $n_i$  – кількість спостережень у  $i$ -й зоні;
- $w_i$  – вага  $i$ -ї зони під час регресійного аналізу.

Вага швидкісної зони визначається пропорційно кількості спостережень у цій зоні:

$$w_i = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^m n_j} \quad (2.5)$$

де  $w_i$  – вага  $i$ -ї швидкісної зони;  $n_i$  – кількість вимірювань у цій зоні;  $m$  – загальна кількість швидкісних зон.

Використання ваг є доцільним, оскільки швидкісні зони з більшою кількістю вимірювань мають вищу статистичну надійність. Якщо всі зони розглядати як рівнозначні, то зона з невеликою кількістю спостережень могла б впливати на результат моделювання так само сильно, як і зона з великою кількістю даних. Це могло б спотворити регресійну залежність. Тому у роботі застосовується зважений метод найменших квадратів.

## 2.4 Вибір виду регресійної моделі питомого енергоспоживання

Залежність питомого енергоспоживання електромобіля від швидкості має нелінійний характер. Як було показано у розділі 1, при малих швидкостях на споживання суттєво впливають допоміжні системи та нерівномірність руху,

а при високих швидкостях – аеродинамічний опір, який описується формулою (1.4). Тому для опису залежності  $e(v)$  доцільно використовувати нелінійну апроксимацію.

У даній роботі для моделювання залежності питомого енергоспоживання від швидкості використовується поліноміальна регресія другого степеня:

$$e(v) = a_0 + a_1v + a_2v^2 \quad (2.6)$$

де  $e(v)$  – розраховане питеме енергоспоживання, Вт·год/км;  $v$  – швидкість руху, км/год;  $a_0, a_1, a_2$  – коефіцієнти регресійної моделі.

Вибір полінома другого степеня обґрунтовується тим, що така модель є достатньо простою для програмної реалізації, але водночас здатна описати наявність мінімуму питомого енергоспоживання. Саме наявність мінімуму є важливою для поставленої задачі, оскільки необхідно не лише побудувати залежність  $e(v)$ , але й визначити швидкість, при якій споживання енергії на одиницю шляху є найменшим.

Поліноміальна модель другого степеня також узгоджується з фізичною природою процесу. При високих швидкостях зростає вплив аеродинамічного опору, що призводить до збільшення енергоспоживання. При низьких швидкостях споживання також може бути підвищеним через нерівномірність руху та вплив допоміжних навантажень. У результаті залежність  $e(v)$  може мати U-подібний характер, який добре описується квадратичною функцією.

Окрім питомого енергоспоживання, для аналізу має бути побудована регресійна модель середньої потужності батареї як функції швидкості:

$$P(v) = b_0 + b_1v + b_2v^2 \quad (2.7)$$

де  $P(v)$  – середня потужність батареї, Вт;  $b_0, b_1, b_2$  – коефіцієнти регресійної моделі потужності.

Модель (2.7) є допоміжною, оскільки основним показником для оцінювання ефективності руху в даній роботі є питома енергоспоживання. Проте аналіз потужності дозволяє краще пояснити, як змінюється навантаження на батарею та електропривод при зміні швидкості.

## 2.5 Зважений метод найменших квадратів

Для визначення коефіцієнтів моделі (2.6) використовується метод найменших квадратів. Його суть полягає у пошуку таких значень коефіцієнтів  $a_0, a_1, a_2$ , за яких сума квадратів відхилень між виміряними та розрахованими значеннями питомого енергоспоживання є мінімальною.

Оскільки у даній роботі швидкісні зони мають різну кількість спостережень, використовується зважений метод найменших квадратів. Його цільова функція має вигляд:

$$S(a_0, a_1, a_2) = \sum_{i=1}^m w_i [e_i - (a_0 + a_1 v_i + a_2 v_i^2)]^2 \rightarrow \min \quad (2.8)$$

де  $S$ – зважена сума квадратів похибок;  $e_i$ – середнє виміряне питома енергоспоживання у  $i$ -й швидкісній зоні;  $v_i$ – середня швидкість у цій зоні;  $w_i$ – вага швидкісної зони;  $m$ – кількість швидкісних зон.

У матричній формі задача визначення коефіцієнтів регресії записується через систему нормальних рівнянь:

$$(X^T W X) a = X^T W e \quad (2.9)$$

де  $X$ – матриця плану;  $W$ – діагональна матриця ваг;  $a$ – вектор шуканих коефіцієнтів;  $e$ – вектор вимірянних значень питомого енергоспоживання.

Матриця плану для квадратичної регресії (2.6) має вигляд:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & v_1 & v_1^2 \\ 1 & v_2 & v_2^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & v_m & v_m^2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Вектор коефіцієнтів моделі:

$$a = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Діагональна матриця ваг:

$$W = \text{diag}(w_1, w_2, \dots, w_m) \quad (2.12)$$

Розв'язання системи (2.9) дозволяє отримати коефіцієнти регресійної моделі, які найкраще узгоджуються з агрегованими експлуатаційними даними з урахуванням кількості спостережень у кожній швидкісній зоні.

## 2.6 Метод визначення оптимального швидкісного режиму

Після побудови регресійної моделі питомого енергоспоживання за формулою (2.6) можна перейти до визначення швидкісного режиму, за якого електромобіль має найменші витрати енергії на одиницю пройденого шляху. У даній роботі таким показником є оптимальна швидкість  $v_{\text{opt}}$ , що відповідає мінімальному значенню функції  $e(v)$ .

Оскільки залежність питомого енергоспоживання від швидкості описується квадратичною функцією (2.6), мінімум цієї функції може бути знайдений аналітично. Для цього необхідно прирівняти до нуля першу похідну функції  $e(v)$  за швидкістю:

$$\frac{de(v)}{dv} = a_1 + 2a_2v \quad (2.13)$$

Умова мінімуму має вигляд:

$$a_1 + 2a_2 v_{\text{opt}} = 0 \quad (2.14)$$

Звідси оптимальна швидкість визначається як:

$$v_{\text{opt}} = -\frac{a_1}{2a_2} \quad (2.15)$$

де  $v_{\text{opt}}$  – швидкість, за якої питоме енергоспоживання є мінімальним;  $a_1$ ,  $a_2$  – коефіцієнти регресійної моделі (2.6).

Формула (2.15) справедлива за умови, що  $a_2 > 0$ . У цьому випадку квадратична функція має мінімум. Якщо ж  $a_2 \leq 0$ , то функція не має мінімуму в класичному вигляді на всій області визначення, і тоді оптимальну швидкість необхідно шукати в межах допустимого діапазону швидкостей за мінімальним значенням  $e(v)$  на цьому інтервалі.

Мінімальне питоме енергоспоживання визначається шляхом підстановки  $v_{\text{opt}}$  у модель (2.6):

$$e_{\text{min}} = e(v_{\text{opt}}) \quad (2.16)$$

або у розгорнутому вигляді:

$$e_{\text{min}} = a_0 + a_1 v_{\text{opt}} + a_2 v_{\text{opt}}^2 \quad (2.17)$$

Отримані величини  $v_{\text{opt}}$  та  $e_{\text{min}}$  мають важливе практичне значення. Вони дозволяють визначити швидкісний діапазон, у якому електромобіль може рухатися з найменшими витратами енергії. У програмній підсистемі ці

значення використовуються для формування рекомендацій щодо раціонального швидкісного режиму.

Разом із тим необхідно враховувати, що  $v_{opt}$  є результатом моделювання за наявними даними, а не універсальною характеристикою для всіх електромобілів. Її значення залежить від конкретного транспортного засобу, умов руху, стану батареї, температури, стилю водіння та структури вхідних даних. Тому отриману оптимальну швидкість слід розглядати як оцінку для заданого набору експлуатаційних умов.

## 2.7 Модель прогнозування запасу ходу

Одним із практичних результатів моделювання енергоспоживання є можливість прогнозування запасу ходу електромобіля. Як було показано у розділі 1, запас ходу залежить від доступної енергії батареї та питомого енергоспоживання згідно з формулою (1.1). У даному розділі ця залежність використовується для оцінювання запасу ходу при різних швидкісних режимах.

Якщо питоме енергоспоживання є функцією швидкості, то прогнозований запас ходу також можна подати як функцію швидкості:

$$L(v) = \frac{E_{bat}}{e(v)} \quad (2.18)$$

де  $L(v)$  – прогнозований запас ходу при швидкості  $v$ ;  $E_{bat}$  – доступна енергія акумуляторної батареї;  $e(v)$  – питоме енергоспоживання, визначене за регресійною моделлю (2.6).

Якщо враховується поточний рівень заряду батареї, то формула набуває вигляду:

$$L(v) = \frac{SOC \cdot E_{bat}}{e(v)} \quad (2.19)$$

де  $SOC$  – відносний рівень заряду акумуляторної батареї.

Формула (2.19) є розвитком залежності (1.1), оскільки замість сталого значення питомого енергоспоживання використовується функція  $e(v)$ , що враховує вплив швидкісного режиму. Це дозволяє оцінювати, як зміна швидкості впливає на прогнозований запас ходу.

Найбільший прогнозований запас ходу буде відповідати такій швидкості, за якої питоме енергоспоживання є мінімальним. Тому максимальний запас ходу можна оцінити за формулою:

$$L_{max} = \frac{SOC \cdot E_{bat}}{e_{min}} \quad (2.20)$$

де  $L_{max}$  – максимальний прогнозований запас ходу;  $e_{min}$  – мінімальне питоме енергоспоживання, визначене за формулою (2.17).

У програмній реалізації модель прогнозування запасу ходу може використовуватися для побудови графіка  $L(v)$ . Такий графік дозволяє показати користувачу, як змінюється очікуваний запас ходу при різних швидкостях. Це є важливою перевагою програмної підсистеми, оскільки вона не лише визначає оптимальну швидкість, але й демонструє наслідки відхилення від неї.

Для перевірки практичної коректності прогнозу доцільно порівнювати розрахований запас ходу з даними бортової системи автомобіля, наприклад з OBD-показником залишкового запасу ходу. У такому випадку похибка прогнозу може бути оцінена як різниця між розрахованим і фактичним або діагностичним значенням.

Абсолютна похибка прогнозування запасу ходу визначається як:

$$\Delta L = |L_{calc} - L_{OBD}| \quad (2.21)$$

де  $L_{\text{calc}}$  – запас ходу, розрахований за моделлю;  $L_{\text{OBD}}$  – запас ходу, отриманий із бортової діагностики.

Відносна похибка може бути визначена за формулою:

$$\delta_L = \frac{|L_{\text{calc}} - L_{\text{OBD}}|}{L_{\text{OBD}}} \cdot 100\% \quad (2.22)$$

де  $\delta_L$  – відносна похибка прогнозування запасу ходу.

Таке порівняння дозволяє оцінити, наскільки побудована модель узгоджується з даними, які формує сам електромобіль. Якщо похибка є прийнятною, модель може бути використана для подальшого аналізу швидкісних режимів і формування рекомендацій.

## 2.8 Оцінювання якості регресійної моделі

Після побудови регресійної моделі необхідно оцінити її якість. Це потрібно для того, щоб визначити, наскільки добре модель описує наявні дані та чи може вона бути використана для подальшого аналізу. У задачі моделювання питомого енергоспоживання якість моделі можна оцінювати за залишковими похибками, середньоквадратичною похибкою та коефіцієнтом детермінації.

Залишкова похибка для  $i$ -ї швидкісної зони визначається як різниця між вимірним середнім значенням питомого енергоспоживання та значенням, розрахованим за моделлю:

$$r_i = e_i - \hat{e}_i \quad (2.23)$$

де  $r_i$  – залишкова похибка;  $e_i$  – вимірне середнє питома енергоспоживання у  $i$ -й зоні;  $\hat{e}_i$  – значення, розраховане за регресійною моделлю.

Середньоквадратична похибка моделі визначається як:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (e_i - \hat{e}_i)^2} \quad (2.24)$$

де  $RMSE$  – середньоквадратична похибка;  $m$  – кількість швидкісних зон.

Для зваженого варіанта з урахуванням ваг швидкісних зон можна використовувати зважену середньоквадратичну похибку:

$$RMSE_w = \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i (e_i - \hat{e}_i)^2} \quad (2.25)$$

де  $RMSE_w$  – зважена середньоквадратична похибка;  $w_i$  – вага  $i$ -ї швидкісної зони.

Коефіцієнт детермінації  $R^2$  показує, яка частка варіації залежної змінної пояснюється побудованою моделлю. Він може бути визначений за формулою:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (e_i - \hat{e}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (e_i - \bar{e})^2} \quad (2.26)$$

де  $\bar{e}$  – середнє значення питомого енергоспоживання для всіх швидкісних зон.

Для зваженої моделі може бути використаний зважений коефіцієнт детермінації:

$$R_w^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m w_i (e_i - \hat{e}_i)^2}{\sum_{i=1}^m w_i (e_i - \bar{e}_w)^2} \quad (2.27)$$

де  $\bar{e}_w$  – зважене середнє значення питомого енергоспоживання.

Зважене середнє значення визначається як:

$$\bar{e}_w = \sum_{i=1}^m w_i e_i \quad (2.28)$$

Використання цих показників дозволяє оцінити, наскільки адекватно регресійна модель описує агреговані дані. Якщо значення  $RMSE$  або  $RMSE_w$  є малим, а коефіцієнт детермінації наближається до 1, це свідчить про добру відповідність моделі даним. Якщо ж похибки є значними, необхідно перевірити якість вхідних даних, наявність викидів, достатність кількості швидкісних зон або доцільність вибраного виду апроксимації.

## **2.9 Узагальнений алгоритм моделювання енергоспоживання**

На основі розглянутих моделей можна сформулювати узагальнений алгоритм моделювання енергоспоживання електромобіля залежно від швидкісного режиму. Цей алгоритм є математичною основою для подальшої програмної реалізації підсистеми.

Першим етапом є завантаження експлуатаційних даних. Дані можуть бути отримані з OBD-діагностики, попередньо підготовленого файлу або іншого джерела, що містить параметри руху електромобіля. На цьому етапі визначаються основні поля даних: швидкість, енергетичні параметри, пробіг, рівень заряду та часові мітки.

Другим етапом є попередня обробка даних. Вона включає видалення некоректних записів, фільтрацію пропусків, приведення одиниць вимірювання та перевірку фізичної коректності значень. Наприклад, значення швидкості не можуть бути від'ємними, а питоме енергоспоживання повинно відповідати реалістичному діапазону для легкового електромобіля.

Третім етапом є агрегування даних за швидкісними зонами. Для кожної зони визначаються середня швидкість, середнє питоме енергоспоживання та кількість спостережень. На основі кількості спостережень розраховуються ваги за формулою (2.5).

Четвертим етапом є побудова регресійної моделі. Для цього використовується квадратична модель (2.6), а її коефіцієнти визначаються за

допомогою зваженого методу найменших квадратів згідно з цільовою функцією (2.8) та матричною формою (2.9).

П'ятим етапом є визначення оптимального швидкісного режиму. Оптимальна швидкість визначається за формулою (2.15), а мінімальне питоме енергоспоживання – за формулою (2.17). Отримані результати використовуються для формування рекомендацій.

Шостим етапом є прогнозування запасу ходу. Для цього використовується залежність (2.19), яка враховує рівень заряду батареї, доступну енергію та питоме енергоспоживання як функцію швидкості. За необхідності виконується порівняння з OBD-показником запасу ходу за формулами (2.21) і (2.22).

Сьомим етапом є оцінювання якості моделі. Для цього розраховуються залишкові похибки, RMSE, зважений RMSE та коефіцієнт детермінації за формулами (2.23)–(2.28). Це дозволяє оцінити надійність отриманої моделі та її придатність для практичного використання.

Узагальнено алгоритм моделювання можна подати у такій послідовності:

1. Завантаження експлуатаційних даних.
2. Попередня обробка та фільтрація даних.
3. Групування даних за швидкісними зонами.
4. Розрахунок середніх значень  $v_i$ ,  $e_i$ ,  $n_i$ .
5. Визначення ваг швидкісних зон  $w_i$ .
6. Побудова регресійної моделі  $e(v)$ .
7. Визначення  $v_{opt}$  та  $e_{min}$ .
8. Прогнозування запасу ходу.
9. Оцінювання якості моделі.
10. Передавання результатів до програмної підсистеми для візуалізації.

Цей алгоритм забезпечує логічний перехід від первинних або агрегованих експлуатаційних даних до практично корисної інформації про енергоспоживання електромобіля. У наступному розділі отримана

математична основа використовується для опису структури та реалізації програмної підсистеми.

## **Висновки до розділу 2**

У другому розділі сформовано математичну основу для оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля. Основним показником аналізу обрано питоми енергоспоживання, оскільки воно безпосередньо пов'язане із запасом ходу та дозволяє порівнювати різні режими руху.

Обґрунтовано підхід до підготовки вхідних даних, що передбачає агрегування OBD-записів за швидкісними зонами. Для врахування різної кількості спостережень у зонах використано вагові коефіцієнти. Для опису залежності питомого енергоспоживання від швидкості обрано квадратичну регресійну модель. Її коефіцієнти визначаються зваженим методом найменших квадратів, що підвищує надійність апроксимації. Показано, що побудована модель дозволяє визначити оптимальний швидкісний режим, за якого питоми енергоспоживання є мінімальним, а також оцінити прогнозований запас ходу електромобіля.

Запропоновано показники для оцінювання якості моделі, зокрема залишкові похибки, RMSE, зважений RMSE та коефіцієнт детермінації. Отримані математичні залежності та алгоритм моделювання є основою для подальшої розробки програмної підсистеми.

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ПІДСИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

### 3.1 Вибір технічної платформи для моделювання

Для розробки програмної підсистеми оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля необхідно обрати технічну платформу, яка забезпечує зручну роботу з експлуатаційними даними, виконання математичних розрахунків, побудову регресійних моделей та візуалізацію результатів. Оскільки вхідна інформація представлена у вигляді OBD-даних, програмна підсистема повинна підтримувати імпорт табличних файлів, попередню обробку записів, групування даних за швидкісними зонами, розрахунок показників енергоспоживання та побудову графіків.

Загальну логіку роботи програмної підсистеми можна подати як послідовне перетворення вхідних даних у розрахункові та графічні результати:

$$D_{\text{OBD}} \rightarrow D_{\text{filtered}} \rightarrow D_{\text{zones}} \rightarrow M(v) \rightarrow R$$

де  $D_{\text{OBD}}$  – первинний масив діагностичних OBD-даних;  $D_{\text{filtered}}$  – масив даних після фільтрації;  $D_{\text{zones}}$  – дані, згруповані за швидкісними зонами;  $M(v)$  – математична модель залежності енергоспоживання від швидкості;  $R$  – результати розрахунку, таблиці, графіки та рекомендації.

Як основну мову програмування для реалізації підсистеми доцільно використати Python [10]. Вибір цієї мови обґрунтовується її широкими можливостями для обробки даних, чисельного моделювання та створення прикладних програм. Python має простий і зрозумілий синтаксис, що полегшує розробку та тестування програмного забезпечення. Крім того, Python широко використовується для задач аналізу даних, математичного моделювання, машинного навчання та візуалізації результатів, що відповідає змісту даної бакалаврської роботи.

Важливою перевагою Python є наявність великої кількості спеціалізованих бібліотек. Для обробки табличних даних доцільно використовувати бібліотеку pandas [11]. Вона дозволяє завантажувати файли формату CSV або Excel, виконувати фільтрацію записів, обробляти пропущені значення, групувати дані за заданими діапазонами та розраховувати статистичні показники. У межах даної роботи ці можливості є необхідними для підготовки OBD-даних до подальшого регресійного аналізу.

Для виконання чисельних розрахунків використовується бібліотека NumPy [12-14]. Вона забезпечує роботу з масивами, векторами та матрицями, що є важливим для реалізації регресійної моделі та зваженого методу найменших квадратів. NumPy також дозволяє ефективно виконувати операції з великими наборами числових даних, що зменшує час обробки та підвищує зручність реалізації алгоритмів.

Для побудови графіків доцільно використовувати бібліотеку Matplotlib [15, 16]. Вона дозволяє візуалізувати залежність питомого енергоспоживання від швидкості, графік середньої потужності батареї, прогноз запасу ходу, розподіл вимірювань за швидкісними зонами та інші результати моделювання. Графічне представлення результатів є важливим елементом програмної підсистеми, оскільки воно дає змогу користувачу швидко оцінити характер залежності та зрозуміти вплив швидкісного режиму на енергоспоживання.

Для візуального представлення результатів у роботі використано HTML-інтерфейс. Такий підхід дозволяє відображати результати аналізу у браузері, поєднувати таблиці, графіки, панель ключових показників і симулятор швидкісного режиму. HTML-сторінка є зручною для демонстрації роботи підсистеми та не потребує встановлення окремого графічного середовища.

Вхідні дані доцільно зберігати у форматах CSV або Excel, оскільки ці формати зручні для експорту з діагностичних застосунків і подальшої обробки. CSV-файли мають просту структуру, легко читаються програмними засобами та можуть бути відкриті у табличних редакторах. Excel-файли зручні для попереднього перегляду, ручної перевірки та подальшого оформлення

результатів. Тому підтримка обох форматів підвищує практичну зручність розробленої підсистеми. Основні компоненти технічної платформи наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Обґрунтування вибору технічної платформи для програмної підсистеми

Компонент	Призначення у підсистемі	Обґрунтування вибору
Python	Основна мова програмування	Має зручний синтаксис, підтримує обробку даних, чисельні розрахунки та візуалізацію
pandas	Робота з табличними даними	Забезпечує зчитування первинних або попередньо підготовлених OBD-даних, фільтрацію, групування та статистичну обробку даних
NumPy	Чисельні розрахунки	Дозволяє виконувати операції з масивами, векторами та матрицями
Matplotlib	Побудова графіків	Дає змогу візуалізувати залежності ( $e(v)$ ), ( $P(v)$ ), ( $L(v)$ ) та результати моделювання
HTML / CSS / JavaScript	Інтерактивне представлення результатів	Дає змогу створити графічну панель, вкладки, таблиці, симулятор швидкості та перегляд результатів у браузері
CSV / Excel	Формат вхідних даних	Зручний для експорту, перегляду, збереження та обробки OBD-записів

Обрана технічна платформа дозволяє реалізувати всі основні функції програмної підсистеми: завантаження діагностичних даних, попередню обробку, групування за швидкісними зонами, побудову регресійної моделі, визначення оптимального швидкісного режиму, прогнозування запасу ходу та візуалізацію результатів. Крім того, використання Python створює можливість подальшого розвитку підсистеми, наприклад додавання нових моделей, розширення набору вхідних параметрів або підключення інших джерел даних.

Таким чином, вибір Python та відповідних бібліотек є обґрунтованим для реалізації програмної підсистеми оцінювання енергоспоживання електромобіля. Обрана платформа поєднує простоту реалізації, достатні

можливості математичного моделювання та зручні засоби візуального представлення результатів, що відповідає меті та задачам даної роботи.

### 3.2 Загальні вимоги до програмної підсистеми

Програмна підсистема оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля призначена для автоматизованої обробки експлуатаційних даних, побудови математичної моделі та візуального представлення результатів аналізу. Основним призначенням підсистеми є визначення залежності між швидкістю руху електромобіля та питомим енергоспоживанням, а також оцінювання швидкісного режиму, за якого витрати енергії на одиницю шляху є мінімальними.

Підсистема повинна забезпечувати повний цикл роботи з даними: від завантаження вхідного файлу до формування підсумкових результатів у вигляді таблиць, графіків і числових показників. Такий підхід дозволяє зменшити обсяг ручних розрахунків, підвищити наочність аналізу та забезпечити повторюваність результатів для різних наборів діагностичних даних.

Основними вхідними даними для програмної підсистеми є записи бортової діагностики електромобіля, що містять інформацію про швидкість руху, енергетичні параметри батареї, рівень заряду, залишковий запас ходу та інші показники. Частина параметрів може використовуватися безпосередньо, а частина – розраховуватися програмою на основі наявних даних. Наприклад, якщо у вхідному файлі задані напруга та струм батареї, потужність може бути визначена за формулою (2.2). Якщо ж потужність уже присутня у файлі, вона може використовуватися як готовий вхідний параметр.

Загальний набір даних, який обробляється програмною підсистемою, можна подати у вигляді:  $D = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , де  $D$  – масив вхідних діагностичних записів;  $x_i$  – окремий запис даних;  $n$  – загальна кількість записів у масиві. Кожний запис може містити декілька параметрів:

$$x_i = \{v_i, P_i, SOC_i, L_i, t_i\}, \quad (3.1)$$

де  $v_i$ – швидкість руху;  $P_i$ – потужність батареї або тягової системи;  $SOC_i$ – рівень заряду батареї;  $L_i$ – залишковий запас ходу за даними бортової системи;  $t_i$ – часова мітка вимірювання.

До вимог, які висуваються до програмної підсистеми можна віднести наступні:

1. Першою групою вимог є вимоги до завантаження та перевірки вхідних даних. Програмна підсистема повинна забезпечувати використання первинних або попередньо підготовлених OBD-даних. Первинні дані можуть завантажуватися Python-скриптом, після чого вони перетворюються у табличний формат, проходять перевірку та використовуються для подальшого моделювання. Якщо у файлі відсутні обов'язкові параметри, програма повинна повідомити користувача про помилку або неможливість виконання розрахунку.

2. Другою групою є вимоги до попередньої обробки даних. Підсистема повинна виконувати фільтрацію записів, які не можуть бути використані для аналізу залежності енергоспоживання від швидкості. До таких записів можуть належати рядки з відсутніми значеннями, некоректними числовими параметрами, нульовою або від'ємною швидкістю, а також дані, які не відповідають заданим умовам аналізу. Після фільтрації програма повинна формувати масив даних, придатний для подальшого групування та моделювання.

3. Третьою групою є вимоги до групування даних за швидкісними зонами. Як було обґрунтовано у розділі 2, агрегування даних дозволяє зменшити вплив випадкових коливань і отримати більш стійкі середні значення для регресійного аналізу. Програма повинна розподіляти записи за заданими інтервалами швидкості, визначати кількість вимірювань у кожній зоні, середню швидкість і середнє питоме енергоспоживання. Для кожної

швидкісної зони програмна підсистема повинна формувати набір агрегованих значень:  $Z_i = \{v_i, e_i, n_i, w_i\}$ , де  $Z_i$  – набір параметрів  $i$ -ї швидкісної зони;  $v_i$  – середня швидкість у зоні;  $e_i$  – середнє питоме енергоспоживання;  $n_i$  – кількість вимірювань;  $w_i$  – ваговий коефіцієнт зони.

4. Четвертою групою є вимоги до математичного моделювання. Програмна підсистема повинна будувати регресійну модель залежності питомого енергоспоживання від швидкості відповідно до формули (2.6). Для врахування нерівномірної кількості вимірювань у різних швидкісних зонах має використовуватися зважений метод найменших квадратів, описаний у підрозділі 2.5. Результатом цього етапу є коефіцієнти регресійної моделі, розраховані значення питомого енергоспоживання та показники якості апроксимації.

5. П'ятою групою є вимоги до визначення оптимального швидкісного режиму. На основі побудованої моделі програма повинна визначати швидкість, за якої питоме енергоспоживання є мінімальним. Для цього використовується залежність, наведена у формулі (2.15). Разом із оптимальною швидкістю повинно визначатися мінімальне питоме енергоспоживання за формулою (2.17).

6. Шостою групою є вимоги до прогнозування запасу ходу. Програма повинна розраховувати прогнозований запас ходу електромобіля для різних швидкісних режимів на основі залежності (2.19). Якщо у вхідних даних наявний OBD-показник залишкового запасу ходу, підсистема повинна мати можливість порівняти модельний прогноз із цим значенням і визначити абсолютну та відносну похибки за формулами (2.21) і (2.22).

7. Сьомою групою є вимоги до візуалізації результатів. Програмна підсистема повинна будувати графіки залежності питомого енергоспоживання від швидкості, залежності потужності від швидкості, прогнозованого запасу ходу від швидкості, а також відображати точки вимірювань і регресійну криву. Візуалізація є важливою, оскільки вона дозволяє користувачу не лише

отримати числові результати, але й побачити загальний характер зміни енергоспоживання.

8. Восьмою групою є вимоги до інтерфейсу користувача. Інтерфейс повинен бути простим і зрозумілим, оскільки користувач повинен мати можливість виконати аналіз без ручного введення складних математичних параметрів. Основні дії користувача мають включати вибір вхідного файлу, запуск обробки, перегляд таблиць, перегляд графіків і збереження результатів.

Основні функціональні вимоги щодо розрахункової інформації в програмній підсистемі на основі методів, представлених в розділі 2, наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Функціональні вимоги до програмної підсистеми

№	Функціональна вимога	Опис реалізації
1	Завантаження вхідних даних	Імпорт OBD-даних із файлу CSV або Excel
2	Перевірка структури файлу	Контроль наявності необхідних параметрів для розрахунку
3	Попередня обробка	Видалення некоректних, неповних або нерепрезентативних записів
4	Групування за швидкісними зонами	Розподіл даних за інтервалами швидкості та розрахунок середніх значень
5	Розрахунок вагових коефіцієнтів	Визначення ваг зон залежно від кількості вимірювань
6	Побудова регресійної моделі	Визначення коефіцієнтів моделі $e(v)$ за зваженим МНК
7	Визначення оптимальної швидкості	Розрахунок $v_{opt}$ і $e_{min}$
8	Прогнозування запасу ходу	Розрахунок $L(v)$ для різних швидкісних режимів
9	Оцінювання похибки прогнозу	Порівняння модельного прогнозу з OBD-показником RestRange
10	Візуалізація результатів, формування інтерактивного HTML-вікна та HTML-звіту	Побудова графіків, таблиць і підсумкових показників

Окрім функціональних вимог, до програмної підсистеми висуваються також нефункціональні вимоги. Вони визначають загальні властивості програмного забезпечення, які впливають на зручність використання, надійність і можливість подальшого розвитку.

До основних нефункціональних вимог належать:

- простота використання інтерфейсу;
- коректна обробка помилок у вхідних даних;
- достатня швидкість виконання розрахунків;
- можливість повторного аналізу для різних наборів даних;
- наочне представлення результатів;
- можливість подальшого розширення функціональності;
- зрозуміла структура програмного коду.

Узагальнено можна зазначити, що програмна підсистема повинна виконувати роль проміжної ланки між первинними OBD-даними та практично корисною інформацією про енергоспоживання електромобіля. Вона повинна забезпечити автоматизацію розрахунків, зменшити ймовірність помилок ручної обробки та надати користувачу результати у формі, зручній для аналізу та прийняття рішень щодо раціонального швидкісного режиму.

### **3.3 Функціональна модель підсистеми в нотації IDEF0**

Для формального опису підсистеми оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля обрано нотацію IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling), що є стандартом FIPS 183 і широко застосовується в задачах автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій для документування складних функціональних систем [17]. Нотація IDEF0 базується на методології SADT (Structured Analysis and Design Technique) та описує систему через ієрархію функціональних блоків, кожен з яких має чотири типи зв'язків: входи (Input) – дані або матеріали, що перетворюються функцією; виходи (Output) – результати перетворення;

управління (Control) – умови та правила, що визначають виконання функції; механізми (Mechanism) – ресурси, що реалізують функцію. Ці зв'язки разом утворюють модель ICOM, що є концептуальною основою будь-якої IDEF0-діаграми.

Перевагою нотації для даної роботи є можливість відображення не лише послідовності кроків, а й управляючих впливів – математичних критеріїв, порогових значень і стандартів, – що принципово важливо для підсистеми, побудованої на формальних методах оптимізації. Крім того, ієрархічна декомпозиція IDEF0 дозволяє описати систему на кількох рівнях деталізації, не перевантажуючи жодну окрему діаграму.

Модель складається з чотирьох діаграм: контекстна діаграма A-0, діаграма першого рівня декомпозиції A0, та дві деталізуючі діаграми A2 і A3 для найбільш складних функціональних блоків.

Контекстна діаграма IDEF0-моделі представлена на рис. 3.1 та відображає систему як єдиний функціональний блок у взаємодії із зовнішнім середовищем. Розроблена підсистема представлена блоком A0 з найменуванням «Оцінювати вплив швидкості на енергоспоживання ЕМ».

Ліворуч від блоку показано два входи. Перший – «Дані OBD діагностики» – являє собою необроблені записи з семи файлів OBDZero (OBD\_, Calc\_, Cells\_, PID\_ тощо), що містять тисячу сто шість часових міток із значеннями швидкості, напруги батареї, каліброваного струму, стану заряду та інших параметрів. Другий вхід – «Параметри поїздки» – включає поточне значення SoC та цільову відстань до наступного пункту призначення, які вводяться під час використання підсистеми.

Зверху показано управляючі впливи. «Норми ефективності ЕМ» задають порогові критерії для верифікації регресійної моделі, зокрема мінімально прийнятне значення коефіцієнта детермінації  $R^2$  та допустиме середньоквадратичне відхилення. «Технічні параметри iMiEV» – маса автомобіля, коефіцієнти аеродинамічного та кочення опору, номінальні

характеристики батареї – визначають фізичну модель, що використовується для верифікації регресійних результатів.

Праворуч розташовано три виходи системи. Перший, «Оптимальний швидкісний режим», є основним результатом роботи підсистеми: рекомендована швидкість  $v^* = v_{opt}$  у км/год, за якої досягається мінімум питомого енергоспоживання при обмеженні на досяжність цілі. Другий вихід, «Прогноз запасу ходу», визначає очікуваний пробіг у кілометрах для кожного розглянутого швидкісного режиму. Третій, «Звіт енергоаналізу», містить повну аналітичну картину: коефіцієнти регресійної моделі, показники її якості, порівняння з фізичною моделлю та характеристики рекуперативного гальмування.

Знизу показано два механізми. Програмний засіб OBDZero v4.0 реалізує збір даних із CAN-шини автомобіля через Bluetooth-донгл. Аналітичний стек Python зі бібліотекою scikit-learn забезпечує математичну обробку, а роль аналітика або автоматизованої підсистеми визначає ініціювання процесу та інтерпретацію результатів.

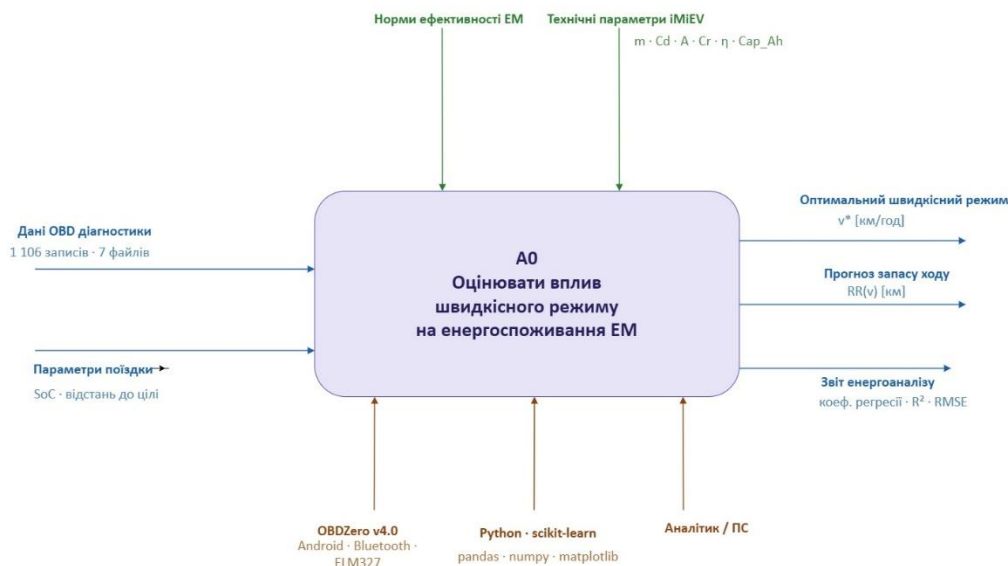


Рисунок 3.1 – Контекстна діаграма програмної підсистеми оцінювання енергоспоживання електромобіля в нотації IDEF0

Рис. 3.2 розкриває внутрішню структуру підсистеми через чотири функціональні блоки першого рівня декомпозиції, між якими встановлено потоки даних.

Блок А1 «Збір та підготовка даних» отримує на вхід сирі OBD-записи у форматі довгої таблиці (Time; Parameter; Value) та виконує їх pivot-перетворення у широкий формат, фільтрацію записів усталеного режиму руху за умовами  $v > 5$  км/год,  $P > 200$  Вт та відсутності рекуперації, обчислення похідних величин – потужності за формулою (2.2) та питомого споживання  $e$  – й агрегування результатів у семи швидкісних зонах із підрахунком середніх значень та кількості спостережень у кожній зоні. Вихідним потоком є вектори середніх швидкостей  $\vec{v}_i$ , питомих споживань  $\vec{e}_i$  та ваг  $\vec{w}_i$  для кожної зони, що надходять до блоку А2.

Блок А2 «Регресійне моделювання» є центральним аналітичним ядром підсистеми. Він приймає агреговані зонові дані та будує зважену поліноміальну регресію другого ступеня методом найменших квадратів. Вихідним потоком цього блоку є три коефіцієнти регресії  $a_0, a_1, a_2$ , показники якості моделі  $R^2$  та  $RMSE$ , а також оптимальна швидкість  $v^*$ , обчислена аналітично з умови  $\frac{de(v)}{dv} = 0$ . Ці дані передаються паралельно до блоків А3 і А4.

Блок А3 «Оптимізація швидкісного режиму» отримує регресійну модель  $e(v)$ , формула (2.6), поточний  $SOC$  та цільову відстань  $L(v)$  за формулою (2.19), і реалізує алгоритм умовної мінімізації питомого споживання. Вихідний потік – рекомендована швидкість  $v^*$ , прогнозний запас ходу  $L_{\max}$  за формулою (2.20) та показник ефективності (порівнювати розрахований запас ходу з даними бортової системи автомобіля) передається до блоку А4 і є одним з основних виходів усієї системи.

Блок А4 «Прогнозування та формування звіту» консолідує результати блоків А2 і А3, обчислює залежність запасу ходу від швидкості для всього

діапазону та формує аналітичний звіт. Цей блок генерує кінцеві виходи системи, що відповідають виходам контекстної діаграми A-0.

Управляючі впливи на рівні A0 поділено на два рівні. Норми ефективності та параметри iMiEV управляють блоками A1 і A2, визначаючи критерії якості моделі та фізичні константи для верифікації. Критерії оптимізації та порогові значення *SOC* управляють блоками A3 і A4, задаючи межі допустимого діапазону швидкостей та резервний заряд батареї.

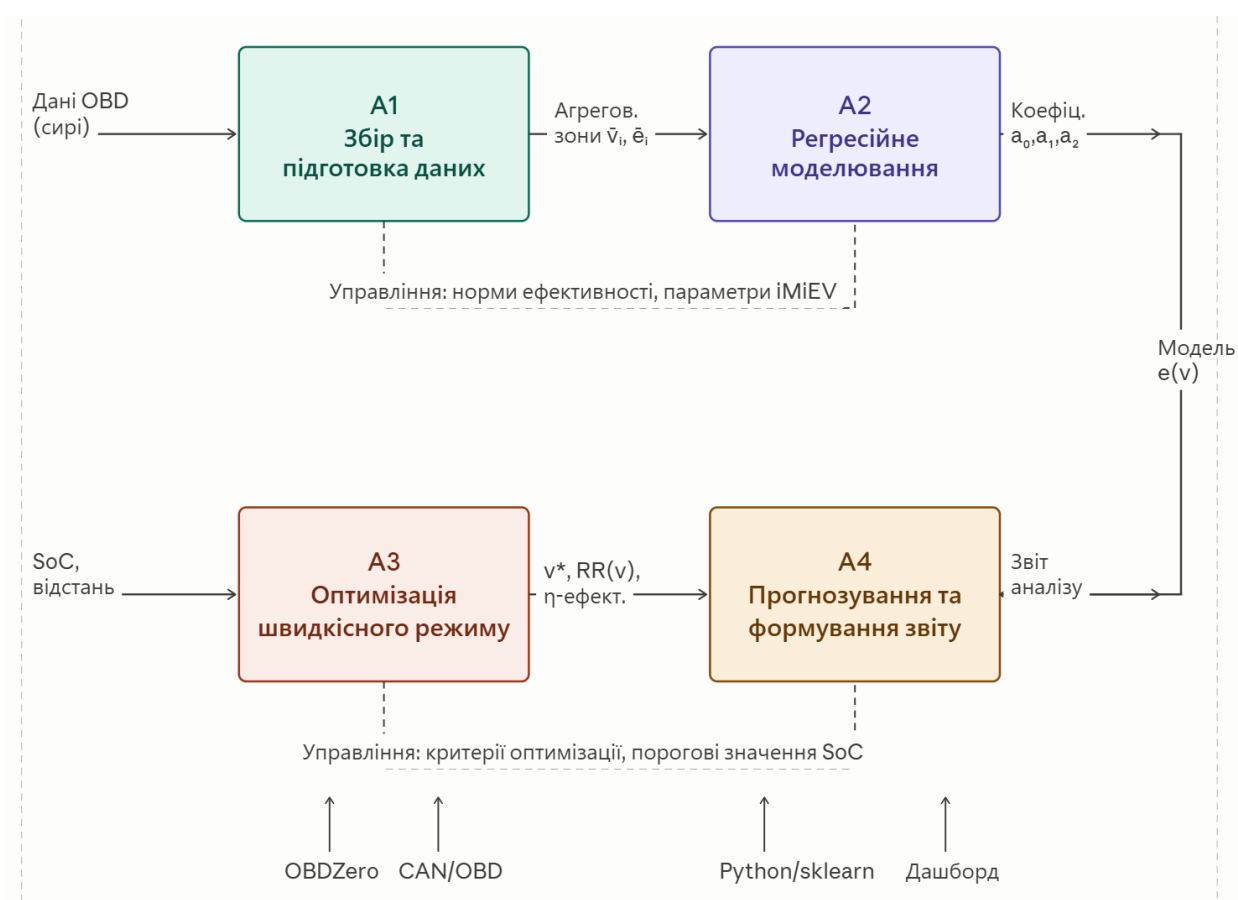


Рисунок 3.2 – Контекстна діаграма IDEF0 декомпозиція рівня A0 – 4 основні функції системи

Рис. 3.3 деталізує регресійне моделювання через п'ять підфункцій. Підблок A2.1 «Агрегування по зонах» приймає відфільтровані записи руху та групує їх у сім швидкісних діапазонів, обчислюючи для кожного середнє

значення питомого споживання та кількість спостережень, що використовується як вага в наступному кроці.

Підблок A2.2 «Формування матриці плану  $X$ » конструює матрицю розміром  $7 \times 3$  із рядками вигляду  $[1, v_i, v_i^2]$  та діагональну матрицю ваг  $W$  згідно формул (2.8)-(2.12). Ці структури є необхідними для розв'язання нормальних рівнянь зваженого МНК у наступному підблоці.

Підблок A2.3 «Зважений МНК» розв'язує матричне рівняння (2.9) та знаходить вектор коефіцієнтів моделі  $a$ , формула (2.11). У програмній реалізації це відповідає виклику `LinearRegression().fit(X, e, sample_weight=n)` бібліотеки `scikit-learn`. Знайдені коефіцієнти передаються паралельно до підблоків A2.4 і A2.5.

Підблок A2.4 «Верифікація моделі» обчислює показники якості регресії (коефіцієнт детермінації  $R^2$  та середньоквадратичне відхилення  $RMSE$ ), і порівнює їх із пороговими значеннями, що задані управляючим впливом. Якщо  $R^2 < 0,7$ , підблок ініціює повернення до A2.1 для перегляду параметрів агрегування – це єдина петля зворотного зв'язку в моделі. При виконанні порогових умов (у даній реалізації  $R^2(P) = 0,972$ ,  $R^2(e) = 0,794$ ) верифікація підтверджує придатність моделі, і коефіцієнти передаються далі по ланцюгу.

Підблок A2.5 «Знаходження оптимуму  $v_{opt}$ » обчислює мінімум функції  $e(v)$  аналітично з умови  $\frac{de(v)}{dv} = a_1 + 2a_2v = 0$ , або чисельно через `numpy.argmin` на дискретній сітці. Вихідними даними є оптимальна швидкість  $v_{opt} = 36,5$  км/год та відповідне мінімальне значення  $e(v_{opt}) = 129,6$  Вт·год/км, які передаються до блоків A3 і A4.

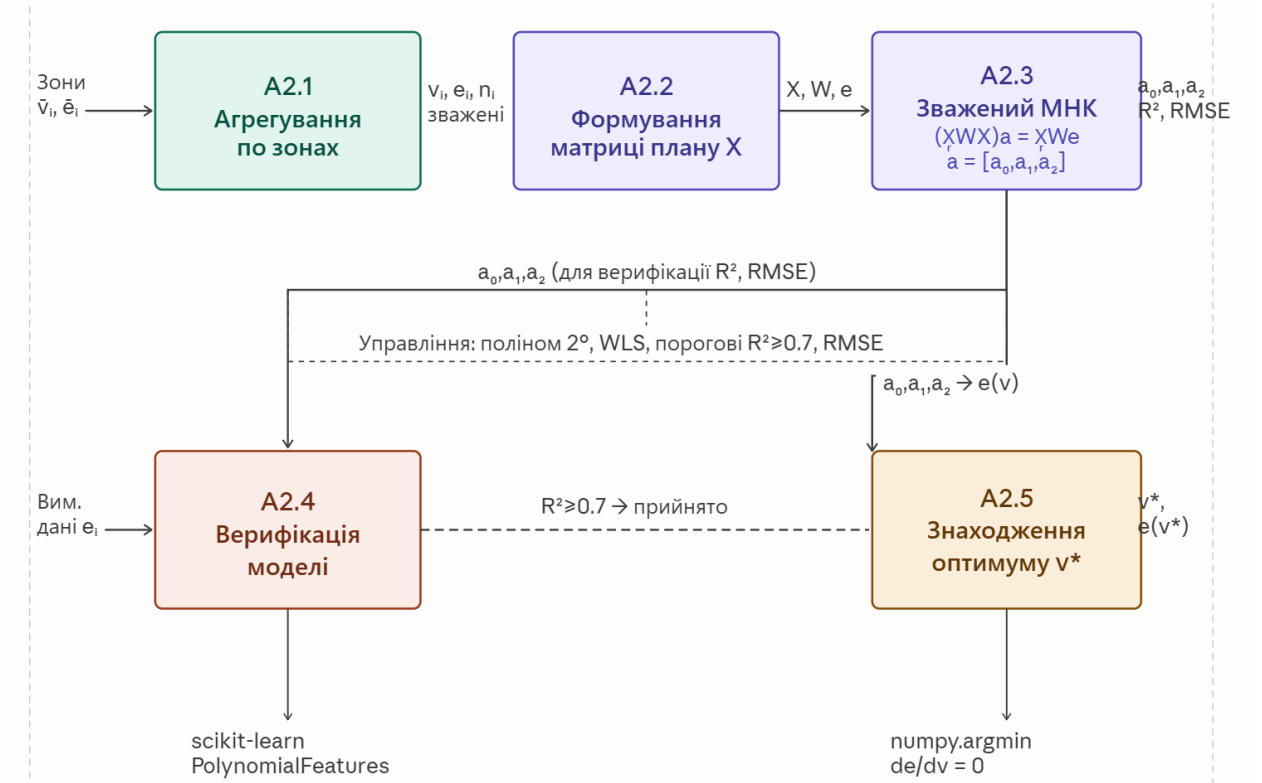


Рисунок 3.3 – Контекстна діаграма IDEF0 декомпозиція рівня A2 – деталізація регресійного блоку

Рис. 3.4 деталізує алгоритм оптимізації швидкісного режиму через шість підфункцій, що реалізують задачу умовної мінімізації.

Підблок A3.1 «Обчислення доступної енергії» приймає від системи управління батареєю поточне значення  $SOC$  та ємність  $E_{bat}$  і обчислює доступну для руху енергію за формулою (2.19), де значення  $SOC = SOC - SOC_{min}$  і в процентному співвідношенні  $SOC_{min}$  приймається рівним 10%, що і є управляючим параметром, що задає резервний заряд для захисту осередків. Для даних, що аналізуються, це дає  $E = 4\,389$  Вт·год.

Підблок A3.2 «Перебір  $v$ » формує дискретну множину допустимих швидкостей  $\{v_{min}, v_{min} + \Delta v, \dots, v_{max}\}$  з кроком  $\Delta v = 0,1$  км/год у діапазоні від 20 до 86 км/год, що відповідає реальним умовам руху електромобіля у міському та заміському циклах.

Підблок А3.3 «Обчислення  $e(v_i)$  та  $L(v_i)$ » для кожного елемента множини  $v$  обчислює питоме споживання за регресійною моделлю  $e(v_i)$  рf  $a_jhvekj$ . (2.6) та відповідний прогностичний запас ходу  $L(v_i)$  за формулою (2.19). Результатом є два вектори довжиною, рівною потужності множини швидкостей  $v$ .

Підблок А3.4 «Перевірка досяжності цілі» відбирає з множини швидкостей  $v$  підмножину допустимих швидкостей для яких  $L(v) \geq d$ , де  $d$  – задана цільова відстань. Якщо ця підмножина не порожня, алгоритм переходить до оптимізації; якщо ж жодна швидкість не забезпечує досяжність цілі, підблок повертає рекомендацію рухатися з мінімальною швидкістю  $v_{min}$  для максимізації дальності – це режим деградованої роботи алгоритму.

Підблок А3.5 «Вибір  $v_{opt}$ » реалізує основний крок оптимізації: серед допустимих швидкостей з множини допустимих швидкостей обирає ту, що мінімізує питоме споживання за формулою (2.17). Вихідні дані – рекомендована швидкість  $v_{opt}$  та прогностичний запас ходу  $L_{max}$  – є одночасно виходом блоку А3 і входом підблоку А3.6 для обчислення показника ефективності.

Підблок А3.6 «Оцінка ефективності» обчислює відносний показник  $e_{opt}/e(v_{opt}) \cdot 100\%$ , де  $e_{opt} = e(v_{opt} = 36.5) = 129.6$  Вт·год/км є абсолютним мінімумом регресійної моделі. Значення цього показника, рівної 100% відповідає досягненню глобального оптимуму; значення менше 100% виникає, коли обмеження задачі не дозволяють рухатися з ідеальною швидкістю і алгоритм обирає компромісне рішення. Показник передається до блоку А4 як складова аналітичного звіту.

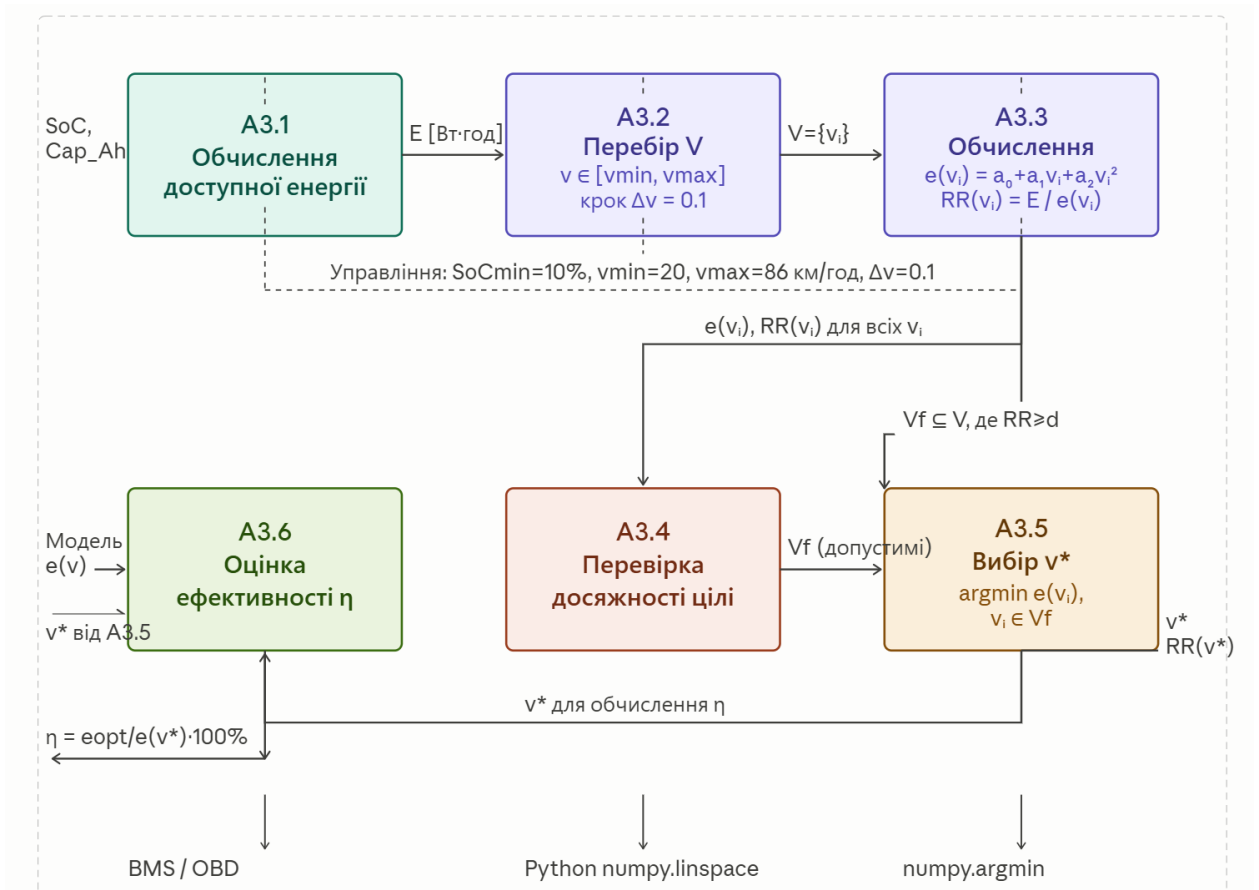


Рисунок 3.4 – Контекстна діаграма IDEF0 декомпозиція рівня A3 – Алгоритм оптимізації швидкісного режиму

Побудована IDEF0-модель охоплює чотири рівні деталізації та містить шістнадцять функціональних блоків загалом. Модель є ієрархічно несуперечливою: кожен вихід батьківської діаграми трасується до відповідного виходу дочірньої діаграми, а кожен вхід дочірньої – до відповідного входу або виходу батьківської. Така узгодженість є основною вимогою стандарту IDEF0 і свідчить про коректність декомпозиції.

Особливістю побудованої моделі є наявність єдиної петлі зворотного зв'язку на рівні A2.4: якщо верифікація регресійної моделі виявляє незадовільні показники якості, процес повертається до етапу агрегування з переглядом параметрів зонування. Це відображає реальну практику побудови

регресійних моделей, де вибір ширини швидкісних зон суттєво впливає на якість апроксимації.

Управляючі впливи моделі мають два характери. Статичні управління – технічні параметри iMiEV, фізичні константи – залишаються незмінними протягом усього сеансу роботи підсистеми. Динамічні управління – поточний SoC, цільова відстань – оновлюються з кожним запитом до алгоритму оптимізації, що відповідає режиму роботи системи в реальному часі.

### **3.4 Архітектура програмної підсистеми та опис програмних модулів**

Програмна підсистема оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля побудована за трирівневою архітектурою, що відокремлює функції збору даних, аналітичної обробки та представлення результатів у самостійні шари з чітко визначеними інтерфейсами між ними. Такий підхід забезпечує незалежність модифікації кожного шару: зміна джерела даних не потребує переписування аналітичного ядра, а розширення способів візуалізації не торкається логіки обчислень. Архітектура подана на рис. 3.5. Програмний код програмної підсистеми представлений в Додатку Б.

Рівнева організація відповідає принципу розділення відповідальності (Separation of Concerns) і є поширеним архітектурним рішенням для аналітичних підсистем у галузі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Усі міжрівневі потоки даних є однонаправленими – від шару збору до аналітичного ядра і далі до шару представлення – що усуває циклічні залежності та спрощує верифікацію коректності обробки.

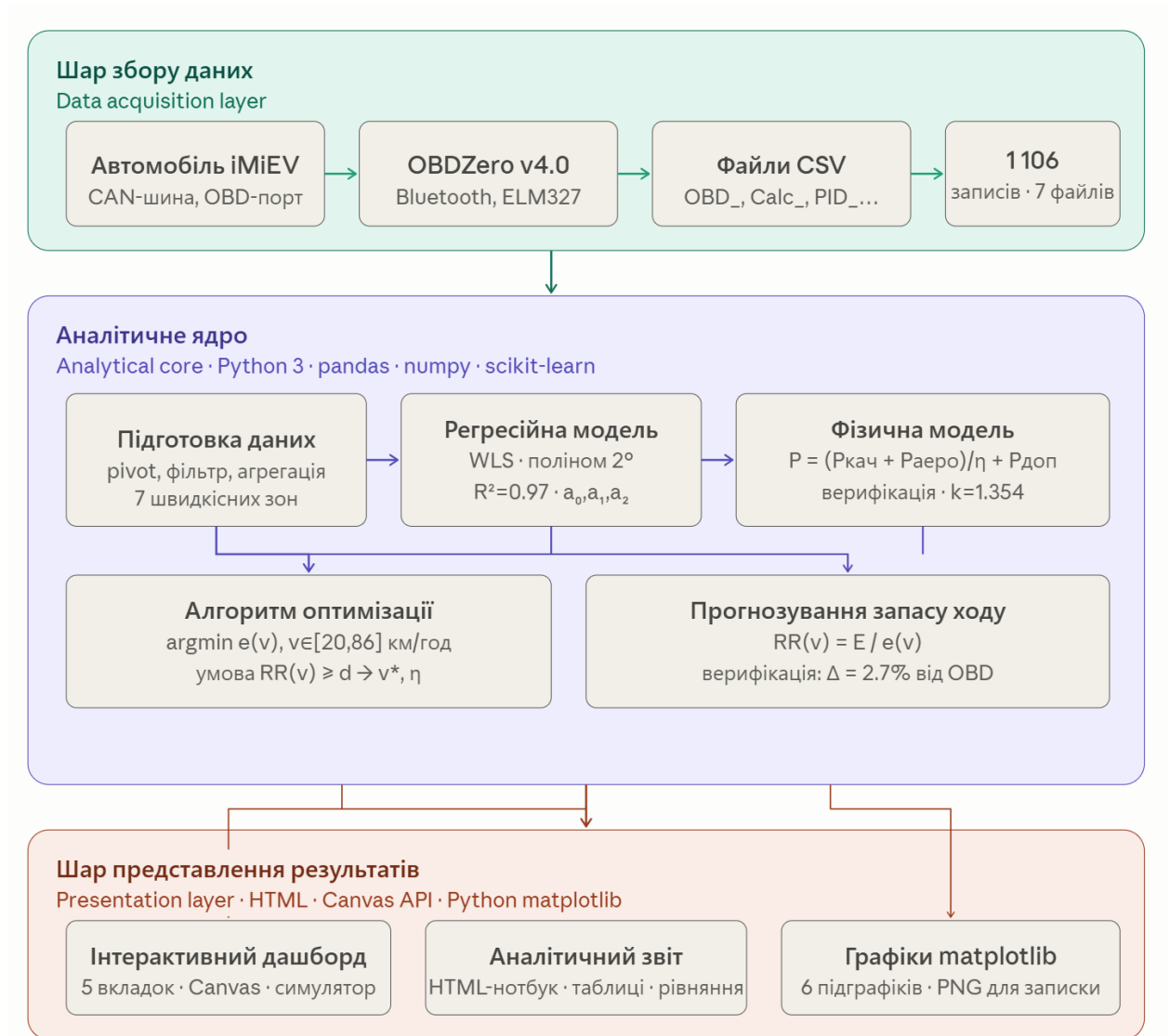


Рисунок 3.5 – Архітектура програмної підсистеми оцінювання енергоспоживання електромобіля

Як показано на рис. 3.5, Нижній рівень архітектури відповідає за отримання первинної діагностичної інформації з бортової мережі електромобіля. Автомобіль Mitsubishi iMiEV надає дані через стандартний OBD-II порт, що фізично підключений до CAN-шини з параметрами Id-протоколу ELM327. До порту підключається Bluetooth-донгл, який ретранслює CAN-повідомлення на мобільний телефон.

Програмний засіб OBDZero v4.0 (Android) виконує роль первинного збирача: він надсилає AT-команди до донгла за протоколом ELM327, отримує у відповідь шістнадцятиркові байти Parameter ID (PID) та перетворює їх у

фізичні величини згідно з таблицями конвертації, встановленими спільнотою власників iMiEV на форумі myimiev.com. Результатом роботи OBDZero є набір семіколон-розділених текстових файлів, що зберігаються у форматі довгої таблиці (Time; Parameter; Value): OBD\_, Calc\_, Cells\_, CellTemperatures\_, PID\_, PIDInt\_, Info\_. Для двох їздових сесій від 3 листопада 2021 року сукупний обсяг становить 1 106 часових міток по 85 параметрах кожна.

Вихідним потоком шару збору є набір CSV-файлів, що передаються на вхід аналітичного ядра. Шар не виконує жодної аналітичної обробки – лише фізичну конвертацію сирих байтів та зберігання.

Центральний рівень архітектури реалізовано мовою Python 3 із використанням бібліотек pandas, numpy та scikit-learn і містить п'ять функціональних компонентів.

Компонент підготовки даних виконує завантаження CSV-файлів, pivot-перетворення довгої таблиці у широкий формат (один рядок – один момент часу, стовпці – параметри), обчислення похідних величин (потужність  $P = U \cdot I$ , питоме споживання  $e = P/v$ ) та фільтрацію записів усталеного режиму руху. Відфільтровані записи агрегуються у сім швидкісних зон з підрахунком середніх значень та кількості спостережень у кожній зоні, що є вхідними даними для регресії.

Компонент регресійної моделі будує зважену поліноміальну регресію другого степеня методом найменших квадратів через клас PolynomialFeatures і LinearRegression бібліотеки scikit-learn. Ваги пропорційні кількості вимірювань у кожній зоні. Результатом є вектор коефіцієнтів  $a = [a_0, a_1, a_2]$  та показники якості  $R^2$  і RMSE. Модель потужності досягає  $R^2 = 0,972$ , що підтверджує квадратичну природу залежності.

Компонент фізичної моделі реалізує аналітичну формулу повної потужності з урахуванням сил опору кочення, аеродинамічного опору та ККД електроприводу. Він використовується виключно для верифікації регресійних результатів: фізична модель калібрується за одною базовою точкою ( $v = 65$

км/год), а отриманий міський коефіцієнт  $k = 1,354$  інтерпретується як кількісна характеристика впливу прискорень у міському циклі.

Компонент алгоритму оптимізації реалізує дискретний перебір швидкостей у діапазоні від 20 до 86 км/год із кроком 0,1 км/год, для кожної з яких обчислює питоме споживання за регресійною моделлю та прогнозний запас ходу. Серед швидкостей, що задовольняють обмеження досяжності цілі, обирається та, що мінімізує  $e(v)$ . Якщо множина допустимих швидкостей порожня, алгоритм рекомендує мінімальну швидкість для максимізації дальності.

Компонент прогнозування запасу ходу обчислює залежність  $RR(v) = E / e(v)$  для всього діапазону швидкостей, де доступна енергія  $E$  визначається з поточного значення SoC та ємності батареї за даними системи управління батареєю (BMU). Верифікацію виконано порівнянням з OBD-показником RestRange: відхилення становить 2,7%, що підтверджує адекватність моделі.

Верхній рівень архітектури реалізує три способи представлення аналітичних результатів кінцевому користувачу.

Інтерактивний дашборд є HTML-файлом, що не потребує серверної інфраструктури і відкривається у будь-якому сучасному браузері. Графічне відображення реалізовано засобами Canvas API без зовнішніх бібліотек. Дашборд містить п'ять аналітичних вкладок – часовий ряд параметрів, регресійна модель, порівняння з фізичною моделлю, прогноз запасу ходу, аналіз рекуперації – та симулятор швидкісного режиму з інтерактивним повзунком, що в реальному часі оновлює прогноз потужності, питомого споживання, запасу ходу та показника ефективності.

Аналітичний HTML-звіт оформлений у стилі Jupyter Notebook: секції псевдокоду з підсвіткою синтаксису чергуються із секціями результатів, таблицями та рівняннями регресії. Звіт є самодостатнім документом, що містить усі розрахункові дані для відтворення результатів.

Графіки `matplotlib` формуються Python-скриптом `ev_speed_energy_analysis.py` і зберігаються у форматі PNG у двох варіантах:

темна тема для екранного перегляду та біла тема для вставки в текст пояснювальної записки. Кожен з шести підграфіків відображає окремий аспект аналізу: регресію Wh/км, регресію Вт, прогноз запасу ходу, порівняння з фізичною моделлю, рекуперацію по зонах, відхилення від оптимуму.

Потік між шаром збору та аналітичним ядром реалізований через файлову систему: CSV-файли є єдиним артефактом обміну, що забезпечує незалежність платформ (Android для збору, Linux/Windows для аналізу) і дозволяє повторно запускати аналіз на збережених даних без повторного підключення до автомобіля.

Потік між аналітичним ядром і шаром представлення реалізований двома способами: для дашборду – вбудуванням JSON-масивів безпосередньо у HTML-файл під час генерації, для matplotlib-графіків – через файлову систему у форматі PNG. Вибудована таким чином архітектура не має зовнішніх серверних залежностей і повністю відтворювана на будь-якій машині з Python 3 та сучасним браузером.

Основні логічні модулі програмної підсистеми наведено в табл. 3.3.

Модуль завантаження даних реалізовано функцією `load_obd(path)`. Ця функція зчитує файл OBD-даних, у якому записи подані у вигляді трьох стовпців: час, параметр і значення. Після зчитування значення перетворюються у числовий формат, а таблиця переводиться у wide-формат, де кожний параметр стає окремим стовпцем. Такий формат є зручним для подальшого розрахунку потужності, фільтрації даних і побудови моделей.

У програмі передбачено можливість роботи з двома OBD-сесіями, назви яких задані у списку `FILES_OBD`. При наявності початкових OBD-файлів вони можуть бути завантажені, об'єднані та відсортовані за часом. Після цього можуть бути розраховані додаткові параметри, зокрема повна потужність батареї, потужність допоміжних споживачів і тягова потужність. У поточному варіанті ці рядки залишені як можливість для використання первинних файлів, а для основного аналізу застосовано агреговані дані за швидкісними зонами.

Таблиця 3.3 – Основні логічні модулі програмної підсистеми

Модуль	Реалізація у програмі	Призначення	Результат роботи
Модуль завантаження даних	load_obd(path)	Зчитування OBD-файлу та перетворення даних у табличний формат	Таблиця параметрів за часовими мітками
Модуль агрегованих даних	ZONE_DATA	Збереження середніх значень за швидкісними зонами	Масиви швидкості, питомого споживання, потужності та кількості записів
Модуль регресійного моделювання	PolynomialFeatures, LinearRegression	Побудова поліноміальних моделей ( $e(v)$ ) та ( $P(v)$ )	Коефіцієнти моделей, прогнозні значення, $R^2$ , $RMSE$
Модуль фізичної моделі	phys_power(v_kmh, k=1.354)	Оцінювання потужності за фізичною моделлю руху	Розрахункова потужність для заданої швидкості
Модуль прогнозування запасу ходу	rr_curve = usable_wh / np.maximum(wh_curve, 50)	Розрахунок запасу ходу за доступною енергією батареї	Залежність $L(v)$
Модуль рекомендації швидкості	optimal_speed_algorithm()	Вибір швидкості для заданої цільової відстані	Рекомендована швидкість (фільтрування), прогнозований запас ходу, статус досяжності
Модуль аналізу рекуперації	regen_stats { }	Структура даних про рекупераційне гальмування	Кількість подій, енергія рекуперації, еквівалентний пробіг
Модуль візуалізації	Matplotlib, GridSpec	Побудова графіків результатів аналізу	PNG-файли з графіками та візуальні результати
Модуль формування файлу звіту	ev_analysis_report.html	Підсумковий HTML-звіт із результатами аналізу, таблицями, моделями та висновками	HTML-звіт

Модуль агрегованих даних представлено структурою ZONE\_DATA. У ній збережено середини швидкісних зон, виміряне питоме енергоспоживання,

середню потужність, кількість записів у кожній зоні, дані про рекуперацію та текстові позначення зон. Саме ці дані використовуються як основа для регресійного аналізу. Такий підхід відповідає моделі, описаній у розділі 2, де було обґрунтовано доцільність агрегування OBD-записів за швидкісними діапазонами.

Модуль регресійного моделювання реалізовано за допомогою `PolynomialFeatures(degree=2)` та `LinearRegression()`. Для питомого енергоспоживання будується модель  $e(v)$  за формулою (2.6), а для потужності – модель  $P(v)$  за формулою (2.7). При навчанні моделей використовується параметр `sample_weight`, який враховує кількість записів у кожній швидкісній зоні. Це відповідає зваженому методу найменших квадратів, описаному у підрозділі 2.5.

Після побудови моделей у програмі розраховуються значення  $R^2$  і  $RMSE$ , які використовуються для оцінювання якості апроксимації. Також формується масив швидкостей `v_curve`, на якому будуються гладкі криві питомого енергоспоживання, потужності та запасу ходу. Оптимальна швидкість визначається як швидкість, за якої модельне значення питомого енергоспоживання є мінімальним.

Модуль фізичної моделі реалізовано функцією `phys_power(v_kmh)`. У цій функції швидкість переводиться з км/год у м/с, після чого розраховуються складові потужності, пов'язані з опором коченню та аеродинамічним опором. У моделі враховуються маса електромобіля, коефіцієнт опору коченню, густина повітря, коефіцієнт аеродинамічного опору, площа лобового перерізу, ефективність тягової системи, допоміжна потужність і міський коригувальний коефіцієнт.

Фізична модель потужності, реалізована в програмі за наступною залежністю:

$$P_{\text{phys}}(v) = \frac{P_{\text{roll}}(v) + P_{\text{aero}}(v)}{\eta} \cdot k + P_{\text{aux}} \quad (3.2)$$

де  $P_{phys}(v)$  – розрахункова потужність за фізичною моделлю;  $P_{roll}(v)$  – потужність на подолання опору коченню;  $P_{aero}(v)$  – потужність на подолання аеродинамічного опору;  $\eta$  – ефективність тягової системи;  $k$  – міський коригувальний коефіцієнт;  $P_{aux}$  – допоміжна потужність.

Модуль прогнозування запасу ходу використовує доступну енергію батареї `usable_wh` і модельне значення питомого енергоспоживання за формулою (2.19), де в якості енергії батареї виступає доступна енергія батареї,  $Вт \cdot год$ .

У поточній реалізації значення доступної енергії прийнято на рівні 4389  $Вт \cdot год$ , що використовується для побудови кривої прогнозованого запасу ходу. На графіку запасу ходу також відображається контрольна лінія OBD-показника `RestRange`, що дозволяє візуально порівняти модельний прогноз із даними бортової діагностики.

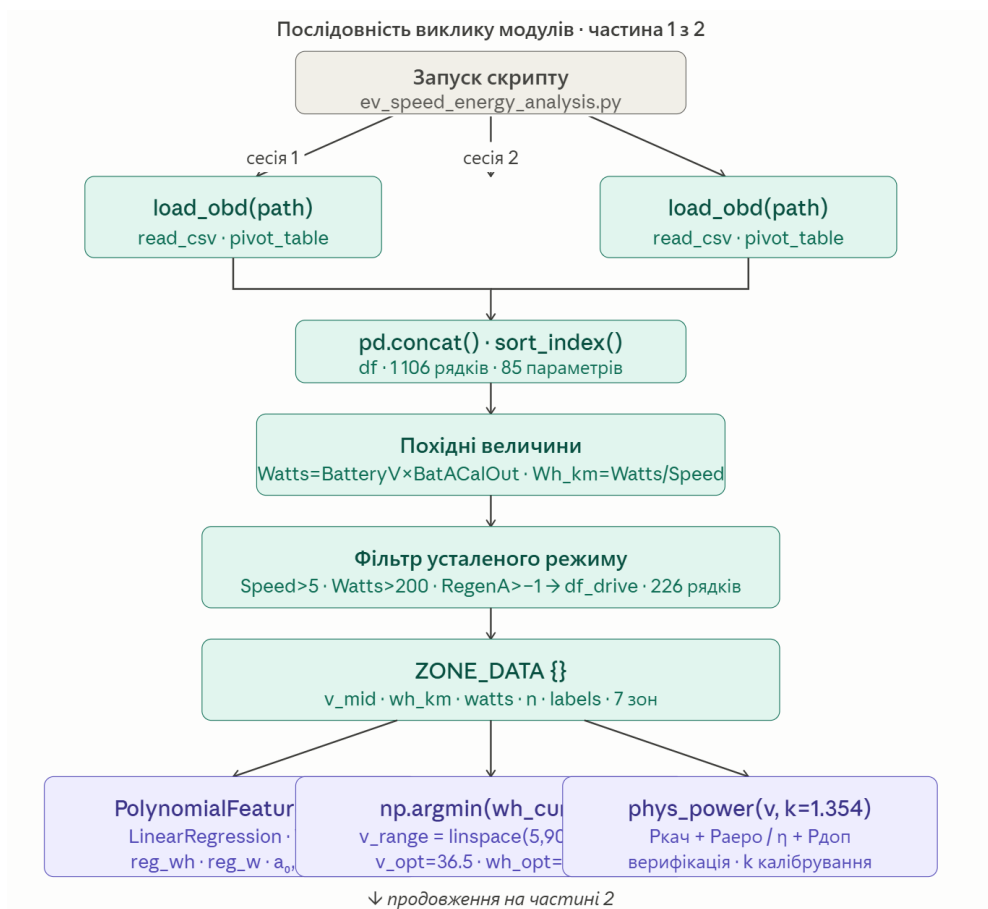
Окремо в програмі реалізовано функцію `optimal_speed_algorithm()`, яка формує рекомендацію швидкості для заданої цільової відстані. Алгоритм перевіряє, чи може електромобіль подолати задану відстань при наявній доступній енергії, і вибирає швидкість з найменшим питомим енергоспоживанням серед допустимих варіантів. Якщо цільова відстань недосяжна, програма повертає мінімальну швидкість у заданому діапазоні та відповідний статус.

Модуль аналізу рекуперації представлено структурою `regen_stats`, де узагальнено кількість подій рекуперації, середню та максимальну потужність рекуперативного гальмування, загальну повернуту енергію, еквівалентний додатковий пробіг і частку рекуперації. Цей блок дозволяє додатково оцінити роль рекуперативного гальмування у формуванні фактичного енергоспоживання електромобіля.

Модуль візуалізації реалізовано за допомогою `Matplotlib` і `GridSpec`. У програмі формується комплексна графічна панель, яка містить шість графіків: регресію питомого енергоспоживання, регресію потужності, прогноз запасу

ходу, порівняння фізичної моделі з вимірною потужністю, аналіз рекуперації за зонами та графік впливу швидкості на ефективність. Результати зберігаються у файлах `ev_speed_energy_analysis.png` і `ev_speed_energy_analysis_white.png`. Білий варіант рисунка доцільно використовувати для вставки у текст дипломної роботи.

Після визначення призначення основних логічних модулів доцільно показати фактичну послідовність виконання блоків коду під час роботи програми. Оскільки розроблена підсистема реалізована у вигляді одного основного Python-скрипта, схема відображає не окремі програмні файли, а послідовність виконання функцій, структур даних і розрахункових блоків у файлі `ev_speed_energy_analysis.py`. Фактичну послідовність виконання блоків коду наведено на рис. 3.6.



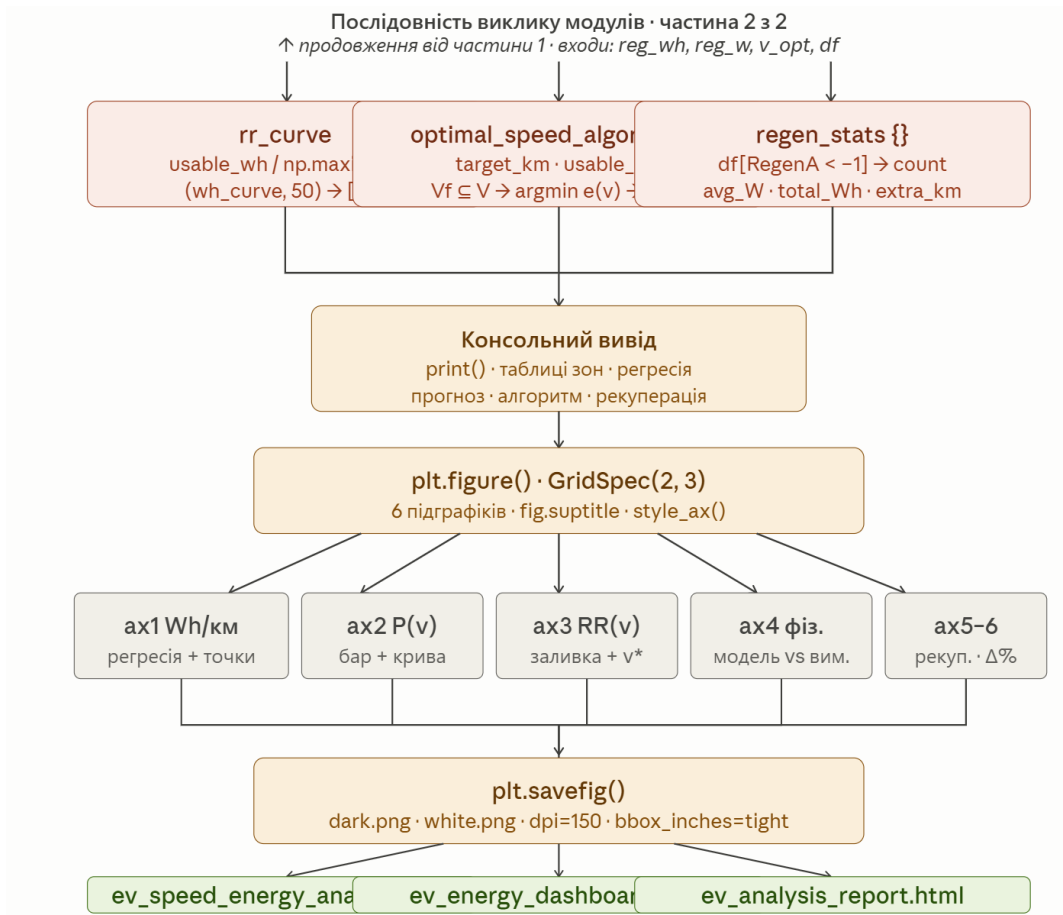


Рисунок 3.6 – Послідовність виклику та взаємозв’язок програмних модулів підсистеми

Схема на рис. 3.6 відображає порядок виклику функцій і структур даних підсистеми у вигляді call-flow діаграми з напрямком зверху вниз. Схема відповідає реальній послідовності виконання скрипту `ev_speed_energy_analysis.py` і охоплює сім логічних рівнів.

Рівень 1 – запуск. Точкою входу є скрипт `ev_speed_energy_analysis.py`. З нього паралельно ініціюються два виклики функції завантаження – по одному для кожної їздової сесії.

Рівень 2 – завантаження. Функція `load_obd(path)` викликається двічі: для файлу `OBD_2021_11_03_16_45_51.txt` та `OBD_2021_11_03_17_20_22.txt`. Кожен виклик виконує `pd.read_csv()`, після чого `pivot_table()` перетворює довгу таблицю (Time; Parameter; Value) у широкий формат з параметрами по

стовпцях. Два отримані масиви даних об'єднуються через `pd.concat()` з наступним `sort_index()` у єдиний об'єкт `df` із 1 106 рядками та 85 параметрами.

Рівень 3 – підготовка. На об'єднаному масиві даних послідовно виконуються три операції: обчислення похідних величин, фільтрація усталеного режиму руху за умовами  $v > 5$ ,  $P > 200$ ,  $\text{RegenA} > -1$  із отриманням підвибірки `df_drive` із 226 рядків, та заповнення словника `ZONE_DATA` із семи швидкісних зон – векторів `v_mid`, `wh_km`, `watts`, `n`, `labels`.

Рівень 4 – моделювання. З `ZONE_DATA` паралельно ініціюються три модулі. Модуль регресії викликає `PolynomialFeatures(degree=2).fit_transform()` для формування матриці плану та `LinearRegression().fit()` із вагами `sample_weight=n` для знаходження коефіцієнтів `reg_wh` і `reg_w`. Після цього `np.argmin()` на дискретній сітці з 2000 точок знаходить оптимальну швидкість  $v_{\text{opt}} = 36.5$  км/год. Паралельно модуль фізичної моделі викликає функцію за формулою (3.2) та використовується для верифікації регресійних результатів.

Рівень 5 – оптимізація та прогнозування. Три модулі виконуються паралельно. Вектор `rr_curve` обчислюється як `usable_wh / np.maximum(wh_curve, 50)` – при цьому `np.maximum` захищає від ділення на нуль при нульовій швидкості. Функція `optimal_speed_algorithm(target_km, usable_wh)` формує множину допустимих швидкостей за умовою  $L(v) \geq \text{target\_km}$  та повертає  $v_{\text{opt}}$ ,  $L(v_{\text{opt}})$  і показник ефективності. Словник `regen_stats` агрегує статистику рекуперативного гальмування з підвибірки `df[df.RegenA < -1]`.

Рівень 6 – консольний вивід. Усі три потоки зливаються у серію викликів `print()`, що формують структуровані таблиці: зведена таблиця зон, рівняння регресії з показниками якості, прогноз запасу ходу, результати алгоритму оптимізації, статистика рекуперації.

Рівень 7 – графічний вивід. Виклик `plt.figure()` з `GridSpec(2, 3)` ініціює побудову шести підграфіків: `ax1` – регресія Вт/км з вимірними точками та кривою оптимуму, `ax2` – регресія потужності  $P(v)$  з гістограмою зон, `ax3` – прогноз запасу ходу  $L(v)$  із зафарбованою оптимальною зоною, `ax4` –

порівняння фізичної моделі з вимірюваннями, ax5 – рекуперація проти тягової потужності по зонах, ax6 – відхилення питомого споживання від оптимуму у відсотках. Єдиний виклик `plt.savefig()` зберігає рисунок у двох варіантах: темна тема для екранного перегляду та біла тема для вставки в текст. Паралельно з Python-скриптом існують два незалежні HTML-файли – інтерактивний дашборд `ev_energy_dashboard.html` та аналітичний звіт `ev_analysis_report.html`, що генеруються окремо і не є частиною call-flow основного скрипту.

Таким чином, архітектура програмної підсистеми побудована за логічно-модульним принципом. Основний файл програми містить окремі блоки, які відповідають за завантаження або використання підготовлених даних, побудову регресійних моделей, порівняння з фізичною моделлю, прогнозування запасу ходу, аналіз рекуперації та візуалізацію результатів. Така організація програмного забезпечення забезпечує простоту запуску, зрозумілу структуру розрахунків і можливість подальшого розширення підсистеми.

Такий підхід підвищує надійність і зрозумілість програмної підсистеми. У разі необхідності окремі модулі можуть бути змінені або доповнені без повної переробки всієї програми. Розроблена архітектура відповідає вимогам до програмного забезпечення, сформульованим у підрозділі 3.2, і створює основу для подальшого тестування та аналізу результатів роботи підсистеми.

### **3.5 Опис інтерфейсу та графічного представлення результатів**

Розроблена програмна підсистема повинна не лише виконувати розрахунки, але й подавати результати у зручній для користувача формі. Оскільки задача роботи пов'язана з аналізом експлуатаційних даних електромобіля, важливим елементом програмного забезпечення є графічне представлення результатів моделювання. Воно дозволяє наочно оцінити залежність питомого енергоспоживання від швидкості, зміну потужності батареї, прогнозований запас ходу, вплив рекуперації та відхилення від оптимального режиму.

Інтерфейс програмної підсистеми реалізовано у вигляді HTML-сторінки з графічною панеллю. Вікно додатку містить заголовок роботи, інформацію про джерело даних, набір ключових показників, область графіків, вкладки для перемикання між режимами аналізу та праву панель з інтерактивним симулятором швидкості. Загальний вигляд головного вікна програмної підсистеми наведено на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Структура головного вікна графічної панелі з результатами роботи програмної підсистеми

У верхній частині головного вікна розміщено назву програмної підсистеми та інформаційні позначки, що характеризують набір даних. Зокрема, зазначено, що використовуються реальні дані, отримані для електромобіля Mitsubishi iMiEV, дата вимірювань, кількість записів, кількість сесій та джерело даних OBDZero v4. Така інформація дозволяє одразу

ідентифікувати джерело вхідних даних і умови, за яких виконувалося моделювання.

У верхній частині головного вікна розміщено панель ключових показників, яка узагальнює основні результати роботи програмної підсистеми. Вона містить оптимальну швидкість руху, мінімальне питоме енергоспоживання, коефіцієнт детермінації моделі потужності, приріст питомого енергоспоживання при швидкості 80 км/год, оцінену енергію рекуперації, прогнозований запас ходу та міський коригувальний коефіцієнт. Фрагмент панелі ключових показників наведено на рис. 3.6.

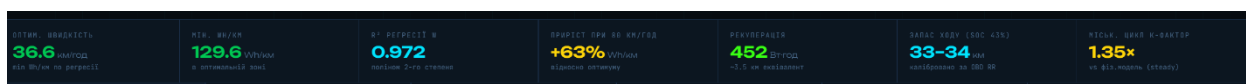


Рисунок 3.6 – Панель ключових показників програмної підсистеми

Як показано на рис. 3.6, панель ключових показників дозволяє швидко оцінити основні результати аналізу без детального перегляду всіх вкладок. Зокрема, користувач одразу бачить оптимальну швидкість, мінімальне питоме енергоспоживання та прогнозований запас ходу, що є основними практичними результатами роботи підсистеми.

Основна область інтерфейсу містить вкладки, які дозволяють перемикатися між різними режимами аналізу. У програмі передбачено такі вкладки: часовий ряд параметрів поїздки, регресійна модель, порівняння фізичної моделі з вимірюваннями, прогноз запасу ходу та аналіз рекуперації. Така структура робить інтерфейс більш зручним, оскільки результати не перевантажують одне вікно, а групуються за змістом.

На вкладці часових рядів відображаються основні параметри поїздки у часі: швидкість руху, потужність акумуляторної батареї, рівень заряду та запас ходу. Ця вкладка використовується для загального перегляду зміни параметрів під час руху та дозволяє оцінити характер експлуатаційних даних. Приклад вкладки часових рядів наведено на рис. 3.7.



Рисунок 3.7 – Вкладка часових рядів параметрів поїздки

Вкладка регресійної моделі призначена для подання результатів апроксимації залежності питомого енергоспоживання від швидкості. У цьому режимі користувач може переглянути точки, що відповідають середнім значенням за швидкісними зонами, регресійну криву та параметри моделі. Побудова залежності виконується згідно з квадратичною моделлю, наведеною у формулі (2.6). На цій вкладці також відображаються коефіцієнт детермінації, середньоквадратична похибка та оптимальна швидкість.

Приклад вкладки регресійного моделювання наведено на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Вкладка регресійної моделі питомого енергоспоживання

Вкладка фізичної моделі використовується для порівняння розрахункової потужності з вимірними значеннями. У цьому режимі показано, наскільки фізична модель руху узгоджується з фактичними даними за швидкісними зонами. Такий аналіз потрібний для пояснення впливу опору коченню, аеродинамічного опору, допоміжних споживачів та міського характеру руху на загальне енергоспоживання. Приклад вкладки фізичної моделі наведено на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Вкладка порівняння фізичної моделі з вимірними даними

Вкладка прогнозу запасу ходу відображає залежність очікуваного пробігу електромобіля від швидкісного режиму. Розрахунок виконується на основі доступної енергії батареї та модельного питомого енергоспоживання згідно з формулою (2.19). На цій вкладці також доцільно відображати контрольне значення залишкового запасу ходу за даними OBD, що дозволяє порівняти розрахований прогноз із показником бортової діагностики. Приклад вкладки прогнозування запасу ходу наведено на рис. 3.10.

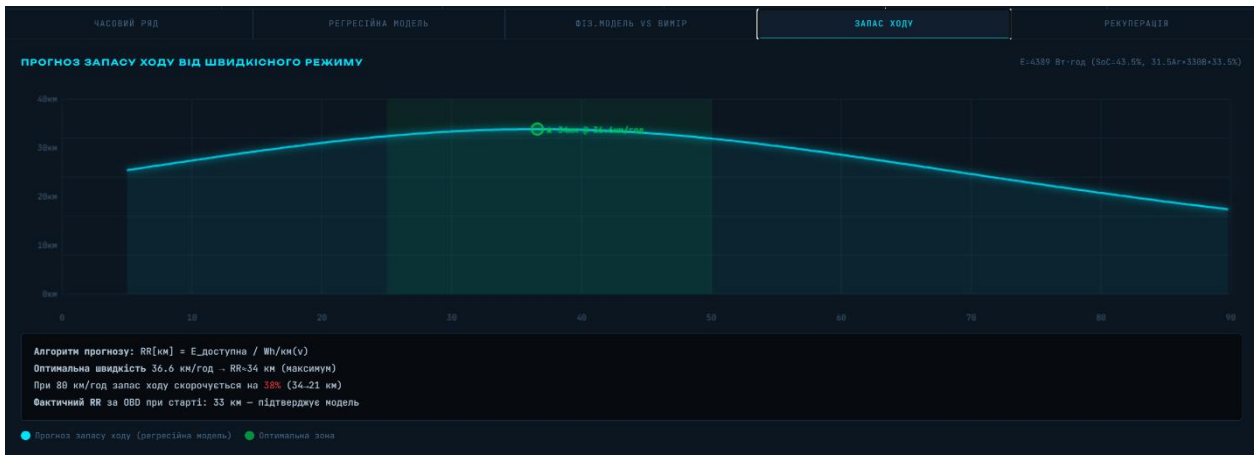


Рисунок 3.10 – Вкладка прогнозування запасу ходу залежно від швидкісного режиму

Вкладка рекуперації призначена для аналізу рекуперативного гальмування. У ній відображаються дані про потужність рекуперації за швидкісними зонами, кількість подій рекуперації, середня та максимальна потужність рекуперативного гальмування, загальна повернута енергія та еквівалентний додатковий пробіг. Такий аналіз важливий, оскільки рекуперація впливає на фактичний енергетичний баланс електромобіля. Приклад вкладки рекуперації наведено на рис. 3.11.



Рисунок 3.11 – Вкладка аналізу рекуперативного гальмування

Окремим елементом інтерфейсу є симулятор швидкісного режиму, розміщений у правій частині головного вікна. За допомогою повзунка користувач може змінювати швидкість руху, після чого програма автоматично оновлює розрахункові значення потужності батареї, питомого енергоспоживання, прогнозованого запасу ходу та ефективності. Це дозволяє наочно оцінити, як зміна швидкості впливає на енергетичні показники електромобіля.

Фрагмент інтерфейсу з симулятором швидкісного режиму та таблицею швидкісних зон доцільно навести на рис. 3.12.



а)

ШВИДКІСНІ ЗОНИ			зважені Wh/км
зона	Вт	Wh/км	п
0-10	1 041	175.8	257
10-20	2 744	133	62
20-30	5 267	129.4	50
<b>30-40</b>	<b>6 898</b>	<b>125.4</b>	95
40-50	7 532	147.9	71
50-60	10 316	156.3	45
60-70	8 198	153.6	62

б)

Рисунок 3.12 – Симулятор швидкісного режиму (а) та таблиця швидкісних зон (б)

У симуляторі для оцінювання відхилення від оптимального режиму використовується відносний показник збільшення питомого енергоспоживання:

$$\Delta e(v) = \frac{e(v) - e_{min}}{e_{min}} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

де  $\Delta e(v)$  – відносне збільшення питомого енергоспоживання;  $e(v)$  – модельне питоме енергоспоживання;  $e_{\min}$  – мінімальне питоме енергоспоживання.

Цей показник використовується не для побудови основної моделі, а для наочного пояснення впливу відхилення від оптимального швидкісного режиму. Якщо значення  $\Delta e(v)$  є невеликим, режим руху можна вважати близьким до енергоефективного. Якщо ж показник суттєво зростає, це свідчить про збільшення витрат енергії та зменшення прогнозованого запасу ходу.

У правій частині інтерфейсу також наведено таблицю швидкісних зон. Вона містить діапазони швидкості, середню потужність, питоме енергоспоживання та кількість вимірювань у кожній зоні. Додатково у вигляді горизонтальних діаграм показано питоме енергоспоживання за зонами та вплив швидкості на прогнозований пробіг (рис. 3.13). Таке представлення дозволяє користувачу швидко порівняти швидкісні режими між собою.



Рисунок 3.13 – Графік впливу швидкості на прогнозований пробіг

Отже, інтерфейс програмної підсистеми поєднує табличне, числове та графічне представлення результатів. Користувач може переглядати загальні

показники, аналізувати окремі залежності у вкладках, змінювати швидкість у симуляторі та оцінювати вплив швидкісного режиму на енергоспоживання й запас ходу електромобіля. Така форма подання результатів підвищує наочність роботи програмної підсистеми та робить її придатною для практичного аналізу експлуатаційних даних.

### **3.6 Тестування та аналіз результатів роботи програмної підсистеми**

Після розробки програмної підсистеми було виконано її тестування на реальних даних OBD-діагностики електромобіля. Метою тестування було перевірити правильність обробки вхідних даних, побудови регресійної моделі, визначення оптимального швидкісного режиму, прогнозування запасу ходу та оцінювання впливу рекуперативного гальмування.

Окрім виведення результатів у графічному інтерфейсі, програмна підсистема формує підсумковий HTML-звіт `ev_analysis_report.html`, представлений у Додатку В. У цьому файлі автоматично узагальнюються основні етапи аналізу: структура вхідних OBD-даних, попередня обробка, групування за швидкісними зонами, побудова регресійних моделей, прогноз запасу ходу, аналіз рекуперативного гальмування та підсумкові висновки. Наявність такого звіту підвищує зручність використання підсистеми, оскільки результати можна переглядати у браузері, зберігати як окремий файл або використовувати як основу для подальшого оформлення результатів дослідження.

Для тестування використано дані, отримані за допомогою застосунку OBDZero v4.0. Первинний масив містив **1106 записів**, отриманих у межах двох їздових сесій. Дані включали параметри швидкості руху, напруги та струму батареї, рівня заряду, залишкового запасу ходу, температури батареї, рекуперації та інших параметрів, доступних через CAN/OBD-інтерфейс.

Під час попередньої обробки OBD-дані були перетворені з довгого формату `Time – Parameter – Value` у табличний формат, зручний для подальших розрахунків. Потужність батареї визначалася як добуток напруги

та струму відповідно до формули (2.2). Також було розраховано допоміжну потужність, тягову потужність і питоме енергоспоживання. Для подальшого аналізу використовувалися записи руху, які відповідали заданим умовам фільтрації: швидкість більше 5 км/год, потужність більше 200 Вт і відсутність активної рекуперації.

Основні характеристики набору даних, використаного для тестування, наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристика даних для тестування програмної підсистеми

Показник	Значення
Джерело даних	OBDZero v4.0
Кількість записів	1106
Кількість їздових сесій	2
Дата збору даних	03.11.2021
Швидкісний діапазон після фільтрації	6–66 км/год
Кількість швидкісних зон	7
Контрольний OBD-показник запасу ходу RestRange	33 км

Після попередньої обробки вимірювання було згруповано за сімома швидкісними зонами. Для кожної зони визначено кількість записів, середню потужність, питоме енергоспоживання та середній рівень заряду. Зведені дані за швидкісними зонами наведено в табл. 3.5.

Аналіз табл. 3.6 показує, що найменше виміряне питоме енергоспоживання спостерігається у зоні 30–40 км/год і становить 125,4 Вт·год/км. У зоні 0–10 км/год споживання є значно більшим – 175,8 Вт·год/км, що пояснюється частими прискореннями, стартами та зупинками. При збільшенні швидкості понад 50 км/год питоме енергоспоживання також зростає, що пов'язано зі збільшенням опору руху, зокрема аеродинамічної складової.

Таблиця 3.5 – Результати групування даних за швидкісними зонами

Зона, км/год	Кількість записів, од.	Середня потужність, Вт	Питоме енергоспоживання, Вт·год/км	Примітка
0–10	257	1041	175,8	прискорення, stop-start
10–20	62	2744	133,0	перехідний режим
20–30	50	5267	129,4	добра ефективність
30–40	95	6898	125,4	найменше вимірне споживання
40–50	71	7532	147,9	субоптимальний режим
50–60	45	10316	156,3	зростання опору руху
60–70	62	8198	153,6	висока швидкість

На основі агрегованих даних програмна підсистема будує регресійну модель питомого енергоспоживання, яка представлена в звіті. Модель має вигляд:

$$e(v) = 187.3 - 3.157v + 0.0432v^2, \quad (3.4)$$

де  $e(v)$ – питоме енергоспоживання, Вт·год/км;  $v$ – швидкість руху, км/год.

Вказаний коефіцієнт детермінації цієї моделі становить  $R^2 = 0.7935$ , а середньоквадратична похибка дорівнює  $RMSE = 9.15$  Вт·год/км.

Отримане значення  $R^2 = 0.7935$  свідчить про задовільну відповідність регресійної моделі експлуатаційним даним. Питоме енергоспоживання залежить не лише від швидкості, але й від прискорень, режимів гальмування, роботи допоміжних систем, дорожніх умов і стану батареї. Тому для реальних OBD-даних така точність моделі є прийнятною.

Додатково програмна підсистема побудувала модель залежності потужності батареї від швидкості:

$$P(v) = -422.7 + 283.2v - 2.162v^2, \quad (3.5)$$

де  $P(v)$  – потужність батареї, Вт.

Для моделі потужності отримано  $R^2 = 0.9718$ . Високе значення коефіцієнта детермінації для моделі потужності свідчить про тісний зв'язок між швидкістю руху та потужністю, яку споживає електромобіль. Це також підтверджує фізичний характер залежності, оскільки зі збільшенням швидкості зростають витрати енергії на подолання сил опору руху.

За результатами регресійного моделювання програмна підсистема визначила оптимальну швидкість, за якої питоме енергоспоживання є мінімальним  $v_{opt} = 36.6$  км/год. Мінімальне модельне питоме енергоспоживання при цій швидкості становить  $e_{min} = 129.6$  Вт · год/км.

Отримана оптимальна швидкість добре узгоджується з результатами групування за швидкісними зонами, де найменше виміряне споживання було зафіксовано в діапазоні 30–40 км/год. Це підтверджує коректність побудованої моделі та можливість її використання для оцінювання раціонального швидкісного режиму.

Для практичного аналізу було виконано прогнозування запасу ходу при різних швидкостях. У розрахунках використано доступну енергію батареї  $E_{usable} = 4389$  Вт · год. Запас ходу визначався за залежністю (2.19). Результати прогнозування наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Прогноз запасу ходу залежно від швидкісного режиму

Швидкість, км/год	Питоме енергоспоживання, Вт·год/км	Відхилення від оптимуму, %	Запас ходу, км	Втрата пробігу, км
36,6	129,6	–	33,9	–
30	131,5	+1,4	33,4	–0,5
40	130,2	+0,4	33,7	–0,2
50	137,5	+6,0	31,9	–2,0
60	153,4	+18,3	28,6	–5,3
70	178,1	+37,4	24,6	–9,3
80	211,3	+63,0	20,8	–13,1
90	253,1	+95,3	17,3	–16,6

З табл. 3.7 видно, що найбільший прогнозований запас ходу відповідає швидкості близько 36,6 км/год і становить 33,9 км. При швидкостях 30–40 км/год запас ходу практично не змінюється, що дозволяє розглядати цей діапазон як енергоефективну зону руху. При збільшенні швидкості понад 50 км/год запас ходу поступово зменшується. Зокрема, при швидкості 80 км/год прогнозований запас ходу становить 20,8 км, тобто зменшується приблизно на 13,1 км порівняно з оптимальним режимом.

Для перевірки адекватності прогнозу було виконано порівняння модельного запасу ходу з OBD-показником RestRange. Модель дала прогноз  $L_{\text{calc}} = 33.9$  км. Значення, отримане з бортової діагностики, становило  $L_{\text{OBD}} = 33.0$  км. Абсолютна похибка прогнозу:

$$\Delta L = |L_{\text{calc}} - L_{\text{OBD}}| = |33.9 - 33.0| = 0.9 \text{ км} \quad (3.6)$$

Відносна похибка прогнозу:

$$\delta_L = \frac{\Delta L}{L_{\text{OBD}}} \cdot 100\% = \frac{0.9}{33.0} \cdot 100\% \approx 2.7\% \quad (3.7)$$

Отримана відносна похибка близько 2,7 % є невеликою для задачі прогнозування запасу ходу на основі реальних OBD-даних. Це свідчить про те, що побудована модель достатньо добре узгоджується з показником бортової діагностики та може використовуватися для практичного оцінювання впливу швидкісного режиму.

Окремо було протестовано алгоритм рекомендації оптимальної швидкості для заданої цільової відстані. Алгоритм перевіряє, чи може електромобіль подолати задану дистанцію за наявної доступної енергії, а потім серед допустимих швидкостей обирає ту, за якої питоме енергоспоживання є мінімальним. У загальному вигляді умову вибору можна записати так:

$$v^* = \arg \min_v e(v), L(v) \geq d_{\text{target}} \quad (3.8)$$

де  $v^*$  – рекомендована швидкість;  $d_{\text{target}}$  – цільова відстань;  $L(v)$  – прогнозований запас ходу при швидкості  $v$ .

Якщо жодна швидкість не забезпечує подолання цільової відстані, програма рекомендує мінімальну швидкість у заданому діапазоні для максимізації запасу ходу. За результатами тестування встановлено, що для відстані до 33 км оптимальна швидкість 36,6 км/год забезпечує запас ходу 33,9 км, що узгоджується з OBD-показником RestRange.

Також у програмі було виконано аналіз рекуперативного гальмування. Основні результати наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати аналізу рекуперативного гальмування

Параметр	Значення
Кількість подій рекуперації	341
Середня потужність рекуперації	2388 Вт
Максимальна потужність рекуперації	16214 Вт
Загальна рекуперована енергія	452,5 Вт·год
Еквівалент додаткового пробігу	приблизно 3,5 км
Оцінена частка від тягової енергії	приблизно 68,8 %

Аналіз табл. 3.8 показує, що рекуперативне гальмування має помітний внесок у загальний енергетичний баланс електромобіля. За дві сесії було зафіксовано 341 подію рекуперації, а загальна повернута енергія становила 452,5 Вт·год. За середнього питомого енергоспоживання близько 130 Вт·год/км це відповідає приблизно 3,5 км додаткового пробігу. Отже, рекуперація є важливим фактором, який необхідно враховувати під час аналізу фактичного енергоспоживання електромобіля.

За результатами тестування програмної підсистеми можна зробити такі висновки. По-перше, програма коректно виконує обробку OBD-даних, групування за швидкісними зонами та побудову регресійних моделей. По-

друге, отримана оптимальна швидкість 36,6 км/год відповідає мінімальному питомому енергоспоживанню 129,6 Вт·год/км і узгоджується з результатами аналізу швидкісних зон. По-третє, прогноз запасу ходу має невелику розбіжність з OBD-показником RestRange, що підтверджує практичну придатність моделі. По-четверте, збільшення швидкості до 80 км/год призводить до зростання питомого енергоспоживання на 63 % та скорочення запасу ходу з приблизно 34 км до 21 км. По-п'яте, рекуперативне гальмування забезпечує додатковий енергетичний ефект і може збільшувати фактичний пробіг електромобіля.

Таким чином, тестування підтвердило працездатність розробленої програмної підсистеми. Вона дозволяє автоматизовано аналізувати OBD-дані, будувати регресійні залежності, визначати енергоефективний швидкісний режим, прогнозувати запас ходу та оцінювати роль рекуперації у загальному енергоспоживанні електромобіля.

### **Висновки до розділу 3**

У третьому розділі розроблено програмну підсистему для оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля. Обґрунтовано вибір Python та бібліотек для обробки даних, регресійного моделювання і візуалізації результатів.

Сформульовано вимоги до підсистеми, побудовано її функціональну модель у нотації IDEF0 та описано архітектуру програмної реалізації. Підсистема реалізована у вигляді Python-скрипта з логічними блоками обробки OBD-даних, побудови моделей, прогнозування запасу ходу, аналізу рекуперації та формування графіків.

Описано інтерфейс користувача у вигляді інтерактивного HTML-вікна, яке містить панель ключових показників, вкладки з результатами аналізу та симулятор швидкісного режиму.

Тестування на реальних OBD-даних показало, що оптимальна швидкість становить 36,6 км/год, мінімальне питоме енергоспоживання – 129,6

Вт·год/км, а прогнозований запас ходу – 33,9 км, що узгоджується з OBD-показником 33 км.

Показано, що при швидкості 80 км/год питоме енергоспоживання зростає приблизно на 63 %, а запас ходу зменшується з 34 км до 21 км. Отже, розроблена підсистема забезпечує повний цикл аналізу OBD-даних і може використовуватися для визначення енергоефективного швидкісного режиму електромобіля.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Регулювання питань охорони праці на законодавчому рівні

Охорона праці є важливою складовою організації трудової діяльності та спрямована на збереження життя, здоров'я і працездатності працівників у процесі виконання ними трудових обов'язків. В Україні питання охорони праці регулюються Законом України «Про охорону праці», Кодексом законів про працю України, Кодексом цивільного захисту України, а також державними стандартами та санітарними нормами.

Відповідно до Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні та нешкідливі умови праці, організувати навчання працівників з питань охорони праці, здійснювати контроль за дотриманням вимог безпеки та забезпечувати працівників необхідними засобами захисту.

Працівник, у свою чергу, зобов'язаний дотримуватись вимог нормативних документів з охорони праці, виконувати правила безпечної експлуатації обладнання та повідомляти керівництво про виявлені небезпечні ситуації.

Під час розробки програмної підсистеми оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля основним робочим місцем є комп'ютеризоване робоче місце розробника. Для таких умов особливого значення набуває забезпечення нормативних параметрів освітлення, мікроклімату, електробезпеки та ергономічної організації праці.

Система управління охороною праці повинна базуватися на принципах попередження виробничих ризиків, постійного удосконалення умов праці та впровадження профілактичних заходів щодо збереження здоров'я працівників.

## 4.2 Аналіз умов праці та виявлення потенційних небезпек

Розробка програмної підсистеми здійснюється на персональному комп'ютері в офісному приміщенні. Працівник виконує роботу переважно в сидячому положенні та тривалий час використовує комп'ютерну техніку.

Для даного робочого місця характерні потенційні небезпеки представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Потенційні небезпеки на робочому місці розробника

<b>Потенційна небезпека</b>	<b>Джерело небезпеки</b>	<b>Можливі наслідки</b>
Недостатня освітленість	Невідповідність освітлення нормам	Втома очей, погіршення зору
Тривала робота за монітором	Безперервна обробка інформації	Головний біль, перенапруження зору
Електротравма	Пошкодження ізоляції обладнання	Ураження електричним струмом
Нервово-психічне перевантаження	Великий обсяг інформації	Стрес, зниження концентрації
Статичне навантаження	Тривале сидіння	Захворювання опорно-рухового апарату
Пожежа	Коротке замикання електромережі	Травмування працівників
Порушення мікроклімату	Несправність вентиляції	Погіршення самопочуття
Воєнна загроза	Повітряна тривога, ракетний удар	Загроза життю та здоров'ю

Аналіз показує, що найбільшу увагу необхідно приділяти електробезпеці, пожежній безпеці, профілактиці перевтоми та забезпеченню психологічного комфорту працівника.

#### **4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек та розробка заходів щодо їх попередження**

Для оцінювання ризиків було обрано п'ять найбільш характерних небезпек: електротравма, пожежа, перенапруження зору, нервово-психічне перевантаження та воєнна загроза.

Таблиця 4.2 – Оцінювання ризиків

Електротравма	Висока	Низька	Допустимий
Пожежа	Дуже висока	Низька	Небажаний
Перенапруження зору	Середня	Висока	Небажаний
Психоемоційне перевантаження	Середня	Висока	Небажаний
Воєнна загроза	Дуже висока	Середня	Неприпустимий

Для зниження ризиків необхідно реалізувати комплекс організаційних та технічних заходів.

Таблиця 4.3 – Заходи щодо зниження ризиків

<b>Небезпека</b>	<b>Заходи</b>
Перенапруження зору	Регламентовані перерви, правильне розташування монітора, достатнє освітлення
Електротравма	Перевірка справності електрообладнання, використання заземлення
Пожежа	Використання автоматичних вимикачів та вогнегасників
Психоемоційне перевантаження	Раціональний режим праці та відпочинку
Воєнна загроза	Дотримання сигналів повітряної тривоги, доступ до укриття

Запропоновані заходи дозволяють знизити рівень професійних ризиків та забезпечити безпечні умови праці розробника програмного забезпечення.

#### **4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування та розробка заходів щодо їх попередження**

Оцінювання ризиків є одним із основних елементів системи управління охороною праці, оскільки дозволяє своєчасно виявляти небезпечні фактори та розробляти заходи щодо зниження їх негативного впливу на працівників. Для робочого місця розробника програмної підсистеми оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля було проведено аналіз найбільш характерних небезпек.

Для оцінювання ризиків використано матричний метод, який враховує тяжкість можливих наслідків та ймовірність виникнення небезпечної події.

Рівень ризику визначається як поєднання категорії серйозності наслідків та ймовірності реалізації небезпеки.

Категорії серйозності наслідків:

I – катастрофічна (загибель людей або значні матеріальні збитки);

II – критична (важкі травми або значні пошкодження обладнання);

III – гранична (тимчасова втрата працездатності або середні збитки);

IV – незначна (незначні ушкодження або незначні збитки).

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання ризиків

<b>Небезпека</b>	<b>Категорія серйозності</b>	<b>Ймовірність</b>	<b>Індекс ризику</b>	<b>Рівень ризику</b>
Електротравма	II – критична	D – віддалена	2D	Допустимий
Пожежа	I – катастрофічна	D – віддалена	1D	Небажаний
Перенапруження зору	III – гранична	B – імовірна	3B	Небажаний
Психоемоційне перевантаження	III – гранична	B – імовірна	3B	Небажаний
Воєнна загроза	I – катастрофічна	C – випадкова	1C	Неприпустимий

Категорії ймовірності виникнення небезпечної події:

A – часта;

B – імовірна;

C – випадкова;

D – віддалена;

E – малоімовірна.

Для аналізу було обрано п'ять найбільш характерних небезпек для робочого місця розробника програмного забезпечення.

З отриманих результатів видно, що найбільш небезпечним фактором є воєнна загроза, яка може призвести до тяжких наслідків для персоналу. До категорії небажаних ризиків належать пожежа, перенапруження зору та психоемоційне перевантаження. Електротравма за умови справності обладнання та дотримання правил експлуатації належить до допустимих ризиків.

Для зменшення рівня ризиків необхідно впровадити комплекс організаційних, технічних та профілактичних заходів, представлених в таблиці 4.3.

Запропоновані заходи дозволяють знизити рівень професійних ризиків до прийняттого рівня та забезпечити безпечні умови праці під час розробки програмної підсистеми оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля.

У розділі досліджено питання охорони праці під час розробки програмної підсистеми оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля. Розглянуто основні нормативно-правові акти України у сфері охорони праці та визначено вимоги до організації безпечного робочого місця розробника програмного забезпечення.

Проведено аналіз умов праці та виявлено потенційні небезпеки, характерні для роботи за персональним комп'ютером. Серед них визначено електротравму, пожежу, перенапруження зору, психоемоційне перевантаження та воєнну загрозу.

Виконано оцінювання ризиків із використанням матричного методу та встановлено, що найбільший рівень небезпеки становить воєнна загроза, тоді як перенапруження зору та психоемоційне перевантаження є найбільш імовірними факторами, що впливають на працездатність працівника.

Таблиця 4.3 – Заходи щодо зниження ризиків

<b>Небезпека</b>	<b>Запропонований захід</b>	<b>Очікуваний результат</b>
Перенапруження зору	Регламентовані перерви кожні 60 хвилин роботи, ергономічне налаштування монітора, достатнє освітлення робочого місця	Зменшення втоми очей та підвищення продуктивності праці
Електротравма	Періодична перевірка електрообладнання, використання справних подовжувачів та заземлення	Зниження ризику ураження електричним струмом
Пожежа	Оснащення приміщення вогнегасниками, автоматичними вимикачами та дотримання правил пожежної безпеки	Зниження ймовірності виникнення пожежі
Психоемоційне перевантаження	Раціональний режим праці та відпочинку, рівномірний розподіл навантаження	Зниження рівня стресу та підвищення працездатності
Воєнна загроза	Наявність плану евакуації, інформування персоналу щодо дій під час повітряної тривоги, доступ до укриття	Підвищення рівня безпеки працівників

Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів щодо зниження ризиків, реалізація яких забезпечує створення безпечних та комфортних умов праці, сприяє збереженню здоров'я працівників і

підвищенню ефективності виконання робіт з розробки програмного забезпечення.

#### **Висновки до розділу 4**

У розділі проведено аналіз нормативно-правових засад охорони праці та досліджено умови праці розробника програмної підсистеми оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля. Виявлено основні потенційні небезпеки, характерні для роботи з комп'ютерною технікою, виконано оцінювання найбільш значущих ризиків та запропоновано комплекс заходів щодо їх попередження.

Результати аналізу показали, що найбільшу увагу необхідно приділяти електробезпеці, пожежній безпеці, профілактиці перевтоми працівників та забезпеченню дій під час воєнних загроз. Реалізація запропонованих заходів сприятиме створенню безпечних і комфортних умов праці та підвищенню ефективності роботи розробника.

## **Висновки до розділу 4**

У розділі 4 проведено аналіз принципів охорони праці як системи заходів, зазначено, що на сьогоднішній день існує невирішена проблема із дотриманням вимог законодавства у сфері охорони праці як з боку керівництва організацій, так і з боку працівників, відмічено, що вирішення цього питання потребує впровадження культури охорони праці усіма доступними шляхами.

Також у розділі проведено аналіз умов праці на робочому місці розробника, який працює за комп'ютером, складено перелік найбільш характерних небезпек, однією з яких є стрес, щодо якої проведено оцінювання ризиків та розглянуто відповідні заходи із його попередження.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі вирішено задачу розробки програмної підсистеми для оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля. Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності використання акумуляторної батареї та збільшення фактичного запасу ходу електромобіля без зміни його конструкції. В ході виконання дипломного проекту були виконані такі завдання:

- виконано аналіз предметної області та визначити основні фактори, що впливають на енергоспоживання електромобіля;
- проаналізовано сучасні підходи до моделювання енергоспоживання електромобілів;
- обґрунтовано використання швидкості руху як одного з ключових параметрів оцінювання енергоефективності;
- сформовано математичну модель залежності питомого енергоспоживання від швидкості;
- розроблено алгоритм обробки вхідних даних і визначення раціонального швидкісного режиму;
- реалізовано програмну підсистему для аналізу, моделювання та візуалізації результатів;
- проведено тестування підсистеми та виконати аналіз отриманих результатів;
- проведено розрахунки стосовно охорони праці.

Тестування програмної підсистеми виконано на реальних OBD-даних електромобіля. За результатами моделювання встановлено, що оптимальна швидкість становить 36,6 км/год, а мінімальне питоме енергоспоживання – 129,6 Вт·год/км. Прогнозований запас ходу при цьому режимі становить 33,9 км, що добре узгоджується з OBD-показником RestRange 33 км.

Отримані результати показали, що рух у діапазоні приблизно 30–40 км/год є найбільш енергоефективним для досліджуваного набору даних. При збільшенні швидкості до 80 км/год питоме енергоспоживання зростає приблизно на 63 %, а прогнозований запас ходу зменшується з приблизно 34 км до 21 км. Це підтверджує суттєвий вплив швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля.

Якість побудованих моделей підтверджено розрахунковими показниками. Для моделі питомого енергоспоживання отримано  $R^2 = 0,7935$  та  $RMSE = 9,15$  Вт·год/км, а для моделі потужності –  $R^2 = 0,9718$ . Це свідчить про придатність запропонованого підходу для прикладного аналізу реальних експлуатаційних даних.

Додатково встановлено, що рекуперативне гальмування має помітний внесок у загальний енергетичний баланс електромобіля. За дві сесії було зафіксовано 341 подію рекуперації, а загальна повернута енергія становила 452,5 Вт·год, що відповідає приблизно 3,5 км додаткового пробігу.

Таким чином, мету роботи досягнуто: розроблено програмну підсистему, яка дозволяє оцінювати вплив швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля, визначати енергоефективну швидкість, прогнозувати запас ходу та аналізувати результати на основі реальних OBD-даних. Отримані результати можуть бути використані для формування рекомендацій щодо раціонального режиму руху електромобіля та подальшого вдосконалення програмних засобів енергетичного моніторингу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Y. Chen, G. Wu, R. Sun, A. Dubey, A. Laszka, P. Pugliese, A Review and Outlook on Energy Consumption Estimation Models for Electric Vehicles, SAE International Journal of Sustainable Transportation, Energy, Environment, & Policy, 2(1) (2021) 79–96, DOI: <https://doi.org/10.4271/13-02-01-0005>.
2. International Energy Agency, Global EV Outlook 2026: Trends in electric cars, IEA, Paris, 2026, URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2026/trends-in-electric-cars>.
3. R.S. David, E. Zimányi, K. Torp, M. Sakr, Speed and energy consumption for electrical vehicles, in: Proceedings of the 15th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Computational Transportation Science, ACM, 2022, pp. 1–10, DOI: <https://doi.org/10.1145/3557991.3567802>.
4. E. Kozłowski, P. Wiśniowski, M. Gis, M. Zimakowska-Laskowska, A. Borucka, Vehicle Acceleration and Speed as Factors Determining Energy Consumption in Electric Vehicles, Energies, 17(16) (2024) 4051, DOI: <https://doi.org/10.3390/en17164051>.
5. J. Mamala, M. Graba, J. Mitrovic, K. Prażnowski, P. Stasiak, Analysis of speed limit and energy consumption in electric vehicles, Combustion Engines, 195(4) (2023) 83–89, DOI: <https://doi.org/10.19206/CE-169370>.
6. A. Desrevelaux, A. Bouscayrol, R. Trigui, E. Castex, J. Klein, Impact of the Velocity Profile on Energy Consumption of Electric Vehicles, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 68(12) (2019) 11420–11426, DOI: <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2949215>.
7. R. Galvin, Energy consumption effects of speed and acceleration in electric vehicles: Laboratory case studies and implications for drivers and policymakers, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 53 (2017) 234–248, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.020>.

8. Q. Liu, Z. Zhang, J. Zhang, Research on the interaction between energy consumption and power battery life during electric vehicle acceleration, *Scientific Reports*, 14 (2024) 157, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50419-3>.
9. Y. Jiang, D. Meng, F. Peng, F. Chen, X. Li, G. Song, Impacts of Vehicle Electrification on On-Road Energy Consumption Using Real-World Data, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 155 (2026) 105337, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2026.105337>.
10. Python Software Foundation, Python 3.14.5 documentation, 2026, URL: <https://docs.python.org/3/>.
11. The pandas development team, pandas 3.0.3 documentation: User Guide, 2026, URL: [https://pandas.pydata.org/docs/user\\_guide/index.html](https://pandas.pydata.org/docs/user_guide/index.html).
12. F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, É. Duchesnay, Scikit-learn: Machine Learning in Python, *Journal of Machine Learning Research*, 12 (2011) 2825–2830, URL: <https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>.
13. Scikit-learn developers, LinearRegression – scikit-learn 1.8.0 documentation, 2026, URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear\\_model.LinearRegression.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.LinearRegression.html).
14. Scikit-learn developers, PolynomialFeatures – scikit-learn 1.8.0 documentation, 2026, URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.PolynomialFeatures.html>.
15. J.D. Hunter, Matplotlib: A 2D Graphics Environment, *Computing in Science & Engineering*, 9(3) (2007) 90–95, DOI: <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>.
16. Matplotlib developers, Matplotlib 3.10.9 documentation, 2026, URL: <https://matplotlib.org/stable/index.html>.

17. National Institute of Standards and Technology, Integration Definition for Function Modeling (IDEF0), Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993, URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/FIPS/fipspub183.pdf>.

# ДОДАТОК А

## ФАЙЛИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Row Labels	AvgSpeed	BA	BAh	BAhChg	BAhDis	BCapAh	CBCapChg	BCapDis	ABRR	BW	BWAvg	BWh	BWh/km	BWh/km/CAh	CAvgSpec	C Drag	C Load		
03-11-2021 12:39:46.881	20	0.77	16.06	0	0	0	0	0	0	60	500	2007	5342	100	100	16.06	20	0.45	150
03-11-2021 12:39:48.972	20	0.74	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.7	255	2007	5349	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:39:50.873	20	0.72	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.7	248	2007	5348	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:39:52.875	20	0.68	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.7	235	2007	5348	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:39:54.777	20	0.69	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.7	238	2007	5348	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:39:56.781	20	0.77	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.6	266	2007	5347	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:39:58.784	20	1.06	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.6	366	2007	5346	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:40:00.784	20	1.06	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.6	366	2007	5346	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:40:02.886	20	2.94	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.6	1012	2007	5337	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:40:04.982	20	2.18	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.6	751	2007	5338	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:40:07.085	20	4.25	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.5	1460	2007	5328	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:40:09.282	20	3.46	16.06	0	0	31.5	31.5	31.5	42.5	1190	2007	5331	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:40:11.456	20	4.3	16.05	0	0	31.5	31.5	31.5	42.5	1477	2007	5327	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:40:13.476	20	3.71	16.05	0	0	31.5	31.5	31.5	42.5	1275	2007	5328	100	100	16.06	20	0.45	150	
03-11-2021 12:40:15.583	20	2.65	16.05	0	0	31.8	31.8	31.8	42.5	912	2007	5333	100	100	15.91	20	0.45	150	
03-11-2021 12:40:17.584	19.6	6.29	16.05	0	0	31.8	31.8	31.8	41.4	2156	2010	5316	103	111	15.91	19.6	0.45	150	
03-11-2021 12:40:19.582	19.2	3.68	16.04	0	0	31.8	31.8	31.8	41	1265	1994	5326	104	112	15.91	19.2	0.45	150	
03-11-2021 12:40:21.581	19.2	1.42	16.04	0	0	31.8	31.8	31.8	41.1	489	1994	5335	104	112	15.91	19.2	0.45	150	
03-11-2021 12:40:23.681	19.2	3.89	16.04	0	0	31.8	31.8	31.8	41	1337	1994	5324	104	112	15.91	19.2	0.45	150	
03-11-2021 12:40:25.695	19.2	3.01	16.04	0	0	31.8	31.8	31.8	41	1035	1994	5327	104	112	15.91	19.2	0.45	150	
03-11-2021 12:40:27.783	19.2	3.87	16.04	0	0	31.8	31.8	31.8	41	1329	1994	5322	104	112	15.91	19.2	0.45	150	
03-11-2021 12:40:29.782	19.2	2.32	16.03	0	0	31.8	31.8	31.8	41.1	798	1994	5328	104	112	15.91	19.2	0.45	150	
03-11-2021 12:40:31.884	18.8	0.94	16.03	0	0	31.8	31.8	31.8	40.9	324	1955	5334	104	117	15.91	18.8	0.45	150	
03-11-2021 12:40:33.882	18.3	1.6	16.03	0	0	31.7	31.7	31.7	40.7	551	1923	5330	105	118	15.91	18.3	0.45	150	
03-11-2021 12:40:35.881	18	9.13	16.03	0	0	31.7	31.7	31.7	39.1	3119	1950	5297	108	116	15.91	18	0.45	150	
03-11-2021 12:40:37.983	17.7	8.55	16.02	0	0	31.7	31.7	31.7	38	2921	1973	5296	111	119	15.91	17.7	0.45	150	
03-11-2021 12:40:39.880	17.6	15.54	16.02	0	0	31.7	31.7	31.7	36.2	5267	2042	5263	116	124	15.91	17.6	0.45	150	
03-11-2021 12:40:41.883	17.5	17.98	16.01	0	0	31.7	31.7	31.7	34.4	6074	2132	5247	122	129	15.91	17.5	0.45	150	
03-11-2021 12:40:44.093	17.6	18.67	16	0	0	31.7	31.7	31.7	32.9	6299	2234	5239	127	134	15.91	17.6	0.45	150	
03-11-2021 12:40:46.682	17.7	19.34	15.98	0	0	31.7	31.7	31.7	31.4	6518	2357	5231	133	140	15.91	17.7	0.45	150	
03-11-2021 12:40:48.683	17.9	21.96	15.97	0	0	31.6	31.6	31.6	30.1	7374	2469	5214	138	145	15.91	17.9	0.45	150	
03-11-2021 12:40:50.780	18	26.94	15.96	0	0	31.6	31.6	31.6	28.4	8995	2621	5187	145	152	15.91	18	0.45	150	
03-11-2021 12:40:52.781	18.2	28.52	15.94	0	0	31.6	31.6	31.6	27	9497	2774	5173	153	159	15.91	18.2	0.45	150	
03-11-2021 12:40:54.883	18.3	28.59	15.93	0	0	31.5	31.5	31.5	25.7	9515	2931	5165	160	166	15.91	18.3	0.45	150	
03-11-2021 12:40:57.057	18.5	28.83	15.91	0	0	31.5	31.5	31.5	24.6	9589	3092	5158	167	173	15.91	18.5	0.45	150	
03-11-2021 12:40:59.185	18.7	20.22	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	24.3	6780	3179	5187	170	176	15.91	18.7	0.45	150	
03-11-2021 12:41:01.280	18.8	-8.83	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	26.2	-3059	3034	5315	162	167	15.91	18.8	0.45	150	
03-11-2021 12:41:03.383	18.7	1.57	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	26.4	538	2976	5271	159	165	15.91	18.7	0.45	150	
03-11-2021 12:41:05.458	18.6	1.56	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	26.8	535	2919	5272	157	162	15.91	18.6	0.45	150	
03-11-2021 12:41:07.483	18.5	-6.83	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	28	-2363	2801	5310	151	156	15.91	18.5	0.45	150	
03-11-2021 12:41:09.584	18.4	13.01	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	27	4405	2838	5222	154	159	15.91	18.4	0.45	150	
03-11-2021 12:41:11.685	18.8	-18.03	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	30.6	-6310	2625	5357	140	145	15.91	18.8	0.45	150	
03-11-2021 12:41:13.682	19.1	-6.01	15.9	0	0	31.5	31.5	31.5	32.1	-2079	2520	5311	132	137	15.91	19.1	0.45	150	
03-11-2021 12:41:15.775	19.4	3.25	15.9	0	0	31.5	31.5	31.5	32.8	1114	2487	5272	128	133	15.91	19.4	0.45	150	
03-11-2021 12:41:17.780	19.7	-16.64	15.9	0	0	31.5	31.5	31.5	36.7	-5822	2303	5358	117	121	15.91	19.7	0.45	150	
03-11-2021 12:41:19.860	19.9	-15.3	15.91	0	0	31.5	31.5	31.5	40	-5349	2126	5357	107	111	15.91	19.9	0.45	150	
03-11-2021 12:41:21.883	20	-7.78	15.92	0	0	31.5	31.5	31.5	42.2	-2702	2017	5330	101	110	15.91	20	0.45	150	
03-11-2021 12:41:23.886	19.5	0.84	15.92	0	0	31.5	31.5	31.5	41.7	289	1979	5292	101	110	15.91	19.5	0.45	150	
03-11-2021 12:41:25.984	19.1	0.83	15.92	0	0	31.5	31.5	31.5	41.6	285	1939	5291	102	111	15.91	19.1	0.45	150	
03-11-2021 12:41:27.978	18.7	0.76	15.92	0	0	31.5	31.5	31.5	41.4	261	1902	5292	102	111	15.91	18.7	0.45	150	
03-11-2021 12:41:29.983	18.2	0.83	15.92	0	0	31.5	31.5	31.5	41.3	285	1866	5291	102	111	15.91	18.2	0.45	150	
03-11-2021 12:41:32.075	18	22.54	15.91	0	0	31.5	31.5	31.5	37.3	7589	1999	5194	111	114	15.91	18	0.45	150	
03-11-2021 12:41:34.082	17.8	22.44	15.9	0	0	31.5	31.5	31.5	34.7	7526	2122	5187	119	123	15.91	17.8	0.45	150	
03-11-2021 12:41:36.112	17.9	22.52	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	32.9	7549	2244	5181	125	129	15.91	17.9	0.45	150	
03-11-2021 12:41:38.187	18.1	15.07	15.88	0	0	31.4	31.4	31.4	32.5	5091	2310	5209	128	131	15.91	18.1	0.45	150	
03-11-2021 12:41:40.387	18.3	15.27	15.87	0	0	31.4	31.4	31.4	31.9	5155	2380	5204	130	133	15.91	18.3	0.45	150	
03-11-2021 12:41:42.387	18.6	15.42	15.86	0	0	31.7	31.7	31.7	31.6	5204	2442	5200	131	134	15.75	18.6	0.45	150	
03-11-2021 12:41:44.387	18.9	30.64	15.85	0	0	31.7	31.7	31.7	29.5	10151	2614	5125	138	141	15.75	18.9	0.45	150	
03-11-2021 12:41:46.380	19.4	29.18	15.83	0	0	31.7	31.7	31.7	28.5	9676	2770	5124	143	146	15.75	19.4	0.45	150	
03-11-2021 12:41:48.485	19.9	19.26	15.82	0	0	31.6	31.6	31.6	28.5	6464	2856	5165	144	147	15.75	19.9	0.45	150	
03-11-2021 12:41:50.682	20.5	18.5	15.81	0	0	31.6	31.6	31.6	28.6	6212	2938	5164	143	146	15.75	20.5	0.45	150	
03-11-2021 12:41:52.781	21.1	7.23	15.8	0	0	31.6	31.6	31.6	29.9	2457	2927	5210	139	141	15.75	21.1	0.45	150	
03-11-2021 12:41:54.975	21.8	8.98	15.79	0	0	31.6	31.6	31.6	30.8	3047	2930	5201	134	136	15.75	21.8	0.45	150	
03-11-2021 12:41:57.058	22.5	1.63	15.79	0	0	31.6	31.6	31.6	32.6	557	2875	5231	128	130	15.75	22.5	0.45	150	
03-11-2021 12:41:59.085	23.2	2.66	15.79	0	0	31.6	31.6	31.6	34.1	909	2831	5228	122	124					

Row Labels	AvgSpec B A	B Ah	B AhChg	B AhDis	B CapAh	B CapChg	B CapDis	B RR	BW	B WAug	B Wh	B Wh/km	B Wh/km.C Ah	C AvgSpec C Drag	C Load			
03-11-2021 12:42:28.387	32	-1.8	15.82	0	0	31.6	31.6	31.6	78.7	-620	1707	5265	53	54	15.75	32	0.45	150
03-11-2021 12:42:30.483	32.4	33	15.81	0	0	31.6	31.6	31.6	68.4	10900	1921	5100	59	60	15.75	32.4	0.45	150
03-11-2021 12:42:32.583	33	1.65	15.8	0	0	31.6	31.6	31.6	72.8	565	1889	5239	57	58	15.75	33	0.45	150
03-11-2021 12:42:34.783	33.5	-18.08	15.8	0	0	31.6	31.6	31.6	84.3	-6332	1688	5327	50	51	15.75	33.5	0.45	150
03-11-2021 12:42:36.882	33.9	-15.73	15.81	0	0	31.6	31.6	31.6	94.7	-5496	1521	5321	45	46	15.75	33.9	0.45	150
03-11-2021 12:42:39.057	34.3	-28.76	15.82	0	0	31.6	31.6	31.6	119	-10195	1238	5384	36	37	15.75	34.3	0.45	150
03-11-2021 12:42:41.181	34.6	-25.44	15.84	0	0	31.7	31.7	31.7	148.9	-8990	996	5376	29	30	15.75	34.6	0.45	150
03-11-2021 12:42:43.182	34.6	-22.05	15.85	0	0	31.7	31.7	31.7	185.3	-7773	802	5369	23	24	15.75	34.6	0.45	150
03-11-2021 12:42:45.183	34.7	26.45	15.85	0	0	31.4	31.4	31.4	145.4	8869	981	5164	28	29	15.91	34.7	0.45	150
03-11-2021 12:42:47.285	34.8	20.57	15.84	0	0	31.4	31.4	31.4	128	6922	1120	5177	32	33	15.91	34.8	0.45	150
03-11-2021 12:42:49.382	34.9	17.63	15.83	0	0	31.3	31.3	31.3	116.7	5948	1232	5185	35	36	15.91	34.9	0.45	150
03-11-2021 12:42:51.479	35.2	1.89	15.82	0	0	31.6	31.6	31.6	120.8	648	1219	5250	35	35	15.75	35.2	0.45	150
03-11-2021 12:42:53.584	35.5	-10.53	15.82	0	0	31.6	31.6	31.6	135.8	-3651	1105	5297	31	32	15.75	35.5	0.45	150
03-11-2021 12:42:55.857	35.9	-38.82	15.84	0	0	31.7	31.7	31.7	214.2	-13874	727	5427	20	21	15.75	35.9	0.45	150
03-11-2021 12:42:57.882	36	-21.93	15.86	0	0	31.4	31.4	31.4	287.8	-7733	536	5371	15	16	15.91	36	0.45	150
03-11-2021 12:42:59.976	35.9	-18.54	15.87	0	0	31.4	31.4	31.4	413.4	-6519	372	5362	10	11	15.91	35.9	0.45	150
03-11-2021 12:43:02.181	35.8	-15.93	15.88	0	0	31.4	31.4	31.4	676.7	-5588	226	5356	6	7	15.91	35.8	0.45	150
03-11-2021 12:43:04.281	35.6	-5.08	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	839.6	-1765	180	5316	5	6	15.91	35.6	0.45	150
03-11-2021 12:43:06.282	35.3	11.45	15.88	0	0	31.5	31.5	31.5	562.2	3901	263	5238	7	8	15.91	35.3	0.45	150
03-11-2021 12:43:08.481	35.1	8.93	15.88	0	0	31.4	31.4	31.4	444.3	3050	331	5246	9	10	15.91	35.1	0.45	150
03-11-2021 12:43:10.585	35.2	8.22	15.87	0	0	31.4	31.4	31.4	378.4	2808	389	5246	11	12	15.91	35.2	0.45	150
03-11-2021 12:43:12.681	35.2	5.63	15.87	0	0	31.4	31.4	31.4	347.5	1928	424	5255	12	13	15.91	35.2	0.45	150
03-11-2021 12:43:14.688	35.2	4.65	15.87	0	0	31.4	31.4	31.4	327.9	1594	450	5258	13	13	15.91	35.2	0.45	150
03-11-2021 12:43:16.883	35.4	4.2	15.86	0	0	31.4	31.4	31.4	313	1440	475	5259	13	14	15.91	35.4	0.45	150
03-11-2021 12:43:19.081	35.7	3.62	15.86	0	0	31.4	31.4	31.4	303.1	1242	493	5260	14	14	15.91	35.7	0.45	150
03-11-2021 12:43:21.182	35.9	3.23	15.86	0	0	31.4	31.4	31.4	296.5	1109	508	5261	14	15	15.91	35.9	0.45	150
03-11-2021 12:43:23.282	36.1	2.79	15.86	0	0	31.4	31.4	31.4	292.2	958	518	5262	14	15	15.91	36.1	0.45	150
03-11-2021 12:43:25.382	36.3	2.15	15.86	0	0	31.4	31.4	31.4	291.5	739	523	5265	14	15	15.91	36.3	0.45	150
03-11-2021 12:43:27.587	36.6	-1.41	15.85	0	0	31.4	31.4	31.4	309.2	-486	499	5280	14	14	15.91	36.6	0.45	150
03-11-2021 12:43:29.685	36.9	-1.95	15.86	0	0	31.4	31.4	31.4	329.7	-673	471	5283	13	13	15.91	36.9	0.45	150
03-11-2021 12:43:31.684	37.1	-16.35	15.86	0	0	31.4	31.4	31.4	474	-5716	334	5341	9	9	15.91	37.1	0.45	150
03-11-2021 12:43:33.785	37.4	-5.19	15.87	0	0	31.4	31.4	31.4	556.8	-1799	284	5303	8	8	15.91	37.4	0.45	150
03-11-2021 12:43:35.885	37.6	-14.88	15.87	0	0	31.4	31.4	31.4	1028	-5205	156	5344	4	5	15.91	37.6	0.45	150
03-11-2021 12:43:37.981	37.8	-13.55	15.88	0	0	31.4	31.4	31.4	3839.3	-4738	42	5344	1	2	15.91	37.8	0.45	150
03-11-2021 12:43:39.982	38	-24.54	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	-8677	-152	5394	-4	-4	15.91	38	0.45	150
03-11-2021 12:43:42.081	38	-21.74	15.91	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	-7674	-327	5390	-9	-8	15.91	38	0.45	150
03-11-2021 12:43:44.181	37.9	-19.22	15.92	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	-6771	-478	5385	-13	-12	15.91	37.9	0.45	150
03-11-2021 12:43:46.282	37.8	-23.01	15.93	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	-8132	-656	5403	-17	-17	15.91	37.8	0.45	150
03-11-2021 12:43:48.288	37.8	-21.2	15.94	0	0	31.6	31.6	31.6	3839.3	-7494	-809	5406	-21	-18	15.91	37.8	0.45	150
03-11-2021 12:43:50.378	37.7	-0.67	15.95	0	0	31.6	31.6	31.6	3839.3	-232	-795	5319	-21	-21	15.91	37.7	0.45	150
03-11-2021 12:43:52.584	37.2	-3.28	15.95	0	0	31.6	31.6	31.6	3839.3	-1138	-804	5330	-22	-21	15.91	37.2	0.45	150
03-11-2021 12:43:54.782	36.7	0.56	15.95	0	0	31.6	31.6	31.6	3839.3	194	-779	5315	-21	-21	15.91	36.7	0.45	150
03-11-2021 12:43:56.911	36.3	-2.13	15.95	0	0	31.6	31.6	31.6	3839.3	-737	-778	5324	-21	-21	15.91	36.3	0.45	150
03-11-2021 12:43:58.982	35.9	-0.5	15.95	0	0	31.6	31.6	31.6	3839.3	-173	-765	5318	-21	-21	15.91	35.9	0.45	150
03-11-2021 12:44:00.975	35.6	0.07	15.95	0	0	31.6	31.6	31.6	3839.3	24	-747	5314	-21	-21	15.91	35.6	0.45	150
03-11-2021 12:44:03.063	35.4	0.85	15.95	0	0	31.6	31.6	31.6	3839.3	293	-723	5311	-20	-20	15.91	35.4	0.45	150
03-11-2021 12:44:05.082	35.4	16.42	15.95	0	0	31.6	31.6	31.6	3839.3	5568	-582	5239	-16	-16	15.91	35.4	0.45	150
03-11-2021 12:44:07.082	35.4	15.41	15.94	0	0	31.6	31.6	31.6	3839.3	5229	-453	5240	-13	-13	15.91	35.4	0.45	150
03-11-2021 12:44:09.183	35.3	13.89	15.93	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	4717	-332	5241	-9	-9	15.91	35.3	0.45	150
03-11-2021 12:44:11.282	35.6	12.41	15.92	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	4221	-226	5245	-6	-6	15.91	35.6	0.45	150
03-11-2021 12:44:13.386	36	8.45	15.92	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	2886	-153	5260	-4	-4	15.91	36	0.45	150
03-11-2021 12:44:15.482	36.3	-1.49	15.91	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	-514	-162	5302	-4	-4	15.91	36.3	0.45	150
03-11-2021 12:44:17.514	36.6	2.65	15.91	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	911	-137	5285	-4	-4	15.91	36.6	0.45	150
03-11-2021 12:44:19.577	37	7.23	15.91	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	2473	-77	5264	-2	-2	15.91	37	0.45	150
03-11-2021 12:44:21.575	37.3	7.11	15.91	0	0	31.5	31.5	31.5	3839.3	2432	-22	5262	-1	0	15.91	37.3	0.45	150
03-11-2021 12:44:23.575	37.6	4.89	15.9	0	0	31.5	31.5	31.5	9893.9	1676	16	5270	0	1	15.91	37.6	0.45	150
03-11-2021 12:44:25.582	37.9	7.14	15.9	0	0	31.5	31.5	31.5	2266.6	2441	70	5259	2	2	15.91	37.9	0.45	150
03-11-2021 12:44:27.584	38.1	4.9	15.9	0	0	31.5	31.5	31.5	1513	1679	106	5268	3	3	15.91	38.1	0.45	150
03-11-2021 12:44:29.584	38.4	4.74	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	1154.3	1624	140	5267	4	4	15.91	38.4	0.45	150
03-11-2021 12:44:31.592	38.5	5.23	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	916.9	1791	176	5264	5	5	15.91	38.5	0.45	150
03-11-2021 12:44:33.783	38.7	6.97	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	704.7	2382	230	5255	6	6	15.91	38.7	0.45	150
03-11-2021 12:44:35.876	38.9	14.68	15.88	0	0	31.4	31.4	31.4	474.8	4975	341	5219	9	9	15.91	38.9	0.45	150
03-11-2021 12:44:37.886	39	11.74	15.87	0	0	31.4	31.4	31.4	385.4	3989	422	5228	11	11	15.91	39	0.45	150
03-11-2021 12:44:39.881	39.2	8.73	15.87	0	0	31.4	31.4	31.4	341.9	2975	479	5238	12	12	15.91	39.2	0.45	150
03-11-2021 12:44:41.886	39.3	-24.17	15.87	0	0	31.4	31.4	31.4	604.7	-8498	279	5371	7	7	15.91	39.3	0.45	150
03-11-2021 12:44:43.984	39.3	-21.55	15.89	0	0	31.5	31.5	31.5	1772.8	-7590	95	5377	2	3	15.91	39.3	0.4	

Row Labels	Avg Speed B A	B Ah	B AhChg	B AhDis	B CapAh/C	B CapChg/B	B CapDisA BRR	B W	B W Avg	B W h	B Wh/km	B Wh/km.C Ah	C AvgSpec C Drag	C Load				
03-11-2021 12:45:59.582	54.8	32.82	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	22.7	10617	8922	4747	163	163	14.96	54.8	0.45	150
03-11-2021 12:46:01.581	55.2	33.29	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	22.7	10763	8963	4739	163	163	14.96	55.2	0.45	150
03-11-2021 12:46:03.78C	55.6	24.77	14.83	0	0	31.2	31.2	31.2	23.1	8087	8942	4768	161	161	14.96	55.6	0.45	150
03-11-2021 12:46:05.983	56	29.86	14.81	0	0	31.2	31.2	31.2	23.1	9699	8960	4744	160	160	14.96	56	0.45	150
03-11-2021 12:46:08.084	56.5	16.73	14.8	0	0	31.2	31.2	31.2	23.8	5516	8880	4793	157	157	14.96	56.5	0.45	150
03-11-2021 12:46:10.26C	57	17.86	14.79	0	0	31.1	31.1	31.1	24.1	5881	8807	4785	155	155	14.96	57	0.45	150
03-11-2021 12:46:12.387	57.5	17.84	14.78	0	0	31.1	31.1	31.1	24.5	5876	8738	4782	152	152	14.96	57.5	0.45	150
03-11-2021 12:46:14.582	58	17.89	14.77	0	0	31.1	31.1	31.1	24.9	5895	8669	4779	149	149	14.96	58	0.45	150
03-11-2021 12:46:16.681	58.5	17.82	14.76	0	0	31.1	31.1	31.1	25.3	5872	8604	4776	147	147	14.96	58.5	0.45	150
03-11-2021 12:46:18.991	59.1	20.45	14.74	0	0	31.4	31.4	31.4	25.6	6718	8555	4762	145	145	14.8	59.1	0.45	150
03-11-2021 12:46:21.06C	59.6	20.85	14.73	0	0	31.3	31.3	31.3	25.9	6845	8516	4756	143	143	14.8	59.6	0.45	150
03-11-2021 12:46:23.18C	60.2	22.79	14.72	0	0	31.3	31.3	31.3	26.2	7466	8491	4744	141	141	14.8	60.2	0.45	150
03-11-2021 12:46:25.27F	60.8	21.99	14.71	0	0	31.3	31.3	31.3	26.5	7211	8461	4743	139	139	14.8	60.8	0.45	150
03-11-2021 12:46:27.383	61.4	-4.85	14.7	0	0	31.3	31.3	31.3	28.2	-1638	8225	4848	134	134	14.8	61.4	0.45	150
03-11-2021 12:46:29.581	62	-4.19	14.7	0	0	31.3	31.3	31.3	29.3	-1416	7990	4850	129	129	14.8	62	0.45	150
03-11-2021 12:46:31.67F	62.6	-6.13	14.71	0	0	31.3	31.3	31.3	30.5	-2074	7755	4857	124	124	14.8	62.6	0.45	150
03-11-2021 12:46:33.87F	62.9	-5.86	14.73	0	0	31.3	31.3	31.3	35.4	-20955	7053	5073	112	112	14.8	62.9	0.45	150
03-11-2021 12:46:35.88C	63.2	-5.3	14.76	0	0	31.4	31.4	31.4	38.7	-18879	6477	5066	102	102	14.8	63.2	0.45	150
03-11-2021 12:46:37.981	63.6	-13.21	14.78	0	0	31.4	31.4	31.4	39.3	-4535	6220	4926	98	98	14.8	63.6	0.45	150
03-11-2021 12:46:39.97F	63.9	-27.06	14.79	0	0	31.5	31.5	31.5	42.4	-9417	5873	4982	92	92	14.8	63.9	0.45	150
03-11-2021 12:46:42.07F	64.2	-47.32	14.81	0	0	31.5	31.5	31.5	47.7	-16813	5343	5070	83	83	14.8	64.2	0.45	150
03-11-2021 12:46:44.183	64.5	-42.87	14.84	0	0	31.6	31.6	31.6	52.7	-15189	4863	5066	75	75	14.8	64.5	0.45	150
03-11-2021 12:46:46.38F	64.8	-33.53	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	57.5	-11786	4456	5041	69	69	14.96	64.8	0.45	150
03-11-2021 12:46:48.65F	65.1	-6.53	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	58.8	-2237	4287	4943	66	66	14.96	65.1	0.45	150
03-11-2021 12:46:50.784	65.4	13.43	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	57.9	4502	4292	4862	66	66	14.96	65.4	0.45	150
03-11-2021 12:46:52.984	65.6	23.21	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	56.4	7687	4375	4815	67	67	14.96	65.6	0.45	150
03-11-2021 12:46:55.18F	65.9	12.67	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	57.1	4238	4372	4850	66	66	14.96	65.9	0.45	150
03-11-2021 12:46:57.281	66.2	-6.68	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	60.5	-2283	4217	4928	64	64	14.96	66.2	0.45	150
03-11-2021 12:46:59.45F	66.1	-12.75	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	64	-4389	4009	4957	61	61	14.96	66.1	0.45	150
03-11-2021 12:47:01.58C	66.1	-6.14	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	66	-2099	3865	4933	59	59	14.96	66.1	0.45	150
03-11-2021 12:47:03.677	66	-4.58	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	68.1	-1564	3738	4929	57	57	14.96	66	0.45	150
03-11-2021 12:47:05.78F	66	-3.68	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	70.3	-1256	3621	4926	55	55	14.96	66	0.45	150
03-11-2021 12:47:07.97F	66.1	-3.82	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	72.8	-1304	3501	4928	53	53	14.96	66.1	0.45	150
03-11-2021 12:47:09.983	66.1	-3.01	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	75	-1027	3400	4926	51	51	14.96	66.1	0.45	150
03-11-2021 12:47:11.97F	66.2	-0.77	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	76.7	-262	3319	4918	50	50	14.96	66.2	0.45	150
03-11-2021 12:47:13.982	66.3	20.57	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	73.6	6844	3397	4831	51	51	14.96	66.3	0.45	150
03-11-2021 12:47:16.084	66.5	19.58	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	72.2	6514	3470	4829	52	52	14.96	66.5	0.45	150
03-11-2021 12:47:18.28F	66.7	19	14.84	0	0	31.2	31.2	31.2	71	6321	3540	4826	53	53	14.96	66.7	0.45	150
03-11-2021 12:47:20.381	66.9	16.15	14.83	0	0	31.2	31.2	31.2	70.5	5388	3583	4833	54	54	14.96	66.9	0.45	150
03-11-2021 12:47:22.477	67.2	12.72	14.82	0	0	31.2	31.2	31.2	70.6	4259	3599	4843	54	54	14.96	67.2	0.45	150
03-11-2021 12:47:24.65F	67.5	12.58	14.81	0	0	31.2	31.2	31.2	70.6	4212	3614	4841	54	54	14.96	67.5	0.45	150
03-11-2021 12:47:26.68C	67.7	12.31	14.81	0	0	31.2	31.2	31.2	70.6	4123	3625	4840	54	54	14.96	67.7	0.45	150
03-11-2021 12:47:28.787	68	12.42	14.8	0	0	31.2	31.2	31.2	70.6	4158	3637	4837	53	53	14.96	68	0.45	150
03-11-2021 12:47:30.982	68.3	-8.03	14.8	0	0	31.2	31.2	31.2	75.5	-2749	3482	4919	51	51	14.96	68.3	0.45	150
03-11-2021 12:47:33.082	68.6	-10.44	14.8	0	0	31.2	31.2	31.2	79.7	-3583	3317	4930	48	48	14.96	68.6	0.45	150
03-11-2021 12:47:35.18F	68.9	-7.93	14.81	0	0	31.2	31.2	31.2	83.5	-2717	3176	4924	46	46	14.96	68.9	0.45	150
03-11-2021 12:47:37.184	69.1	-6.86	14.81	0	0	31.2	31.2	31.2	87.1	-2349	3053	4923	44	44	14.96	69.1	0.45	150
03-11-2021 12:47:39.27F	69.4	-3.22	14.82	0	0	31.2	31.2	31.2	90.1	-1098	2957	4909	43	43	14.96	69.4	0.45	150
03-11-2021 12:47:41.45F	69.6	-8.43	14.82	0	0	31.2	31.2	31.2	95.4	-2891	2815	4931	40	40	14.96	69.6	0.45	150
03-11-2021 12:47:43.573	69.9	-10.92	14.83	0	0	31.2	31.2	31.2	101.6	-3758	2660	4945	38	38	14.96	69.9	0.45	150
03-11-2021 12:47:45.784	70.1	-11.01	14.83	0	0	31.2	31.2	31.2	108.5	-3790	2502	4948	36	36	14.96	70.1	0.45	150
03-11-2021 12:47:47.87F	70.3	-32.95	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	127.8	-11595	2174	5038	31	31	14.96	70.3	0.45	150
03-11-2021 12:47:49.977	70.4	-26.33	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	145.2	-9213	1908	5020	27	27	14.96	70.4	0.45	150
03-11-2021 12:47:51.987	70.5	-15.05	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	157.3	-5212	1749	4983	25	25	14.96	70.5	0.45	150
03-11-2021 12:47:53.982	70.5	-14.06	14.88	0	0	31.3	31.3	31.3	171.9	-4866	1603	4983	23	23	14.96	70.5	0.45	150
03-11-2021 12:47:56.18C	70.6	-13.3	14.89	0	0	31.3	31.3	31.3	190	-4600	1451	4983	21	21	14.96	70.6	0.45	150
03-11-2021 12:47:58.38C	70.6	-36.97	14.91	0	0	31.1	31.1	31.1	257.3	-13095	1096	5081	16	16	15.12	70.6	0.45	150
03-11-2021 12:48:00.497	70.7	0.39	14.92	0	0	31.1	31.1	31.1	255.1	133	1073	4941	15	15	15.12	70.7	0.45	150
03-11-2021 12:48:02.584	70.7	10.32	14.91	0	0	31.1	31.1	31.1	240.1	3479	1129	4894	16	16	15.12	70.7	0.45	150
03-11-2021 12:48:04.77F	70.8	-31.37	14.92	0	0	31.1	31.1	31.1	337.6	-11017	833	5056	12	12	15.12	70.8	0.45	150
03-11-2021 12:48:06.87F	70.9	-28.51	14.94	0	0	31.1	31.1	31.1	486.1	-10021	579	5060	8	8	15.12	70.9	0.45	150
03-11-2021 12:48:08.882	70.9	-23.54	14.95	0	0	31.1	31.1	31.1	734.5	-8244	383	5049	5	5	15.12	70.9	0.45	150
03-11-2021 12:48:10.87F	70.9	-35.67	14.97	0	0	31.2	31.2	31.2	2995.6	-12827	95	5099	1	3	15.12	70.9	0.45	150
03-11-2021 12:48:12.977	71	-7.65	14.98	0	0	31.2	31.2	31.2	8976	-2642	31	5001	0	2	15.12	71	0.45	150
03-11-2021 12:48:15.183	69.3	0.82	14.98	0	0	31.2	31.2	31.2	7258.7	280	37	4965	1	2	15.12	69.3	0.45	150
03-11-2021 12:48:17.27F	67.6	3.39	14.98	0	0	31.2	31.2											

Row Labels	AvgSpecB A	B Ah	B AhChg	B AhDis	B CapAhC/B CapChg/B CapDisA BRR	BW	BWAng	BWh	BWh/km	BWh/km.CAh	C AvgSpecC Drag	C Load						
03-11-2021 12:53:03.052	25.5	36.1	14.57	0	0	31	31	31	32.1	11776	2885	4670	113	113	14.8	25.5	0.45	150
03-11-2021 12:53:05.077	25.9	9.55	14.56	0	0	31	31	31	33.3	3211	2892	4773	111	112	14.8	25.9	0.45	150
03-11-2021 12:53:07.181	26.3	-5.27	14.56	0	0	31	31	31	35.6	-1804	2783	4836	106	106	14.8	26.3	0.45	150
03-11-2021 12:53:09.37F	26.8	0.35	14.56	0	0	31	31	31	36.9	119	2718	4811	102	102	14.8	26.8	0.45	150
03-11-2021 12:53:11.482	27.2	18.12	14.56	0	0	31	31	31	35.8	6038	2795	4738	103	103	14.8	27.2	0.45	150
03-11-2021 12:53:13.854	27.6	21.27	14.54	0	0	30.9	30.9	30.9	34.8	7064	2908	4722	105	105	14.8	27.6	0.45	150
03-11-2021 12:53:15.982	28.1	17.56	14.53	0	0	30.9	30.9	30.9	34.6	5844	2977	4728	106	106	14.8	28.1	0.45	150
03-11-2021 12:53:17.981	28.4	25.46	14.52	0	0	30.9	30.9	30.9	33.4	8409	3098	4696	109	109	14.8	28.4	0.45	150
03-11-2021 12:53:20.181	28.8	19.3	14.51	0	0	31.2	31.2	31.2	33.2	6411	3179	4713	110	110	14.65	28.8	0.45	150
03-11-2021 12:53:22.252	29.2	7.78	14.5	0	0	31.2	31.2	31.2	34.1	2617	3166	4756	108	109	14.65	29.2	0.45	150
03-11-2021 12:53:24.28F	29.6	4.8	14.49	0	0	31.2	31.2	31.2	34.9	1620	3131	4766	106	106	14.65	29.6	0.45	150
03-11-2021 12:53:26.38C	29.9	28.3	14.48	0	0	31.1	31.1	31.1	33.1	9316	3275	4673	109	110	14.65	29.9	0.45	150
03-11-2021 12:53:28.581	30.3	21.91	14.47	0	0	31.1	31.1	31.1	32.6	7154	3372	4690	111	111	14.65	30.3	0.45	150
03-11-2021 12:53:30.72F	30.9	30.18	14.45	0	0	31.1	31.1	31.1	31.5	9893	3528	4650	114	114	14.65	30.9	0.45	150
03-11-2021 12:53:32.881	31.6	25.29	14.44	0	0	31	31	31	31.3	8333	3643	4684	115	115	14.65	31.6	0.45	150
03-11-2021 12:53:34.98C	32.2	18.81	14.42	0	0	31	31	31	31.6	6239	3703	4684	115	115	14.65	32.2	0.45	150
03-11-2021 12:53:37.184	32.9	18.37	14.41	0	0	31	31	31	31.7	6099	3762	4683	114	114	14.65	32.9	0.45	150
03-11-2021 12:53:39.297	33.6	17.38	14.4	0	0	31	31	31	31.9	5774	3809	4682	113	113	14.65	33.6	0.45	150
03-11-2021 12:53:41.45F	34.3	19.51	14.39	0	0	30.9	30.9	30.9	32	6468	3873	4671	113	113	14.65	34.3	0.45	150
03-11-2021 12:53:43.482	34.9	19.8	14.38	0	0	30.9	30.9	30.9	32	6560	3933	4665	113	117	14.65	34.9	0.45	150
03-11-2021 12:53:45.678	35.5	19.95	14.37	0	0	30.9	30.9	30.9	32	6605	3999	4660	112	117	14.65	35.5	0.45	150
03-11-2021 12:53:47.781	36.2	20.96	14.36	0	0	30.9	30.9	30.9	32	6934	4067	4652	112	116	14.65	36.2	0.45	150
03-11-2021 12:53:49.87F	36.8	28.32	14.34	0	0	31.2	31.2	31.2	31.3	9306	4189	4623	114	113	14.49	36.8	0.45	150
03-11-2021 12:53:51.882	37.3	30.73	14.33	0	0	31.1	31.1	31.1	30.7	10033	4319	4599	116	115	14.49	37.3	0.45	150
03-11-2021 12:53:53.98C	38	23.34	14.31	0	0	31.1	31.1	31.1	30.8	7688	4398	4624	116	115	14.49	38	0.45	150
03-11-2021 12:53:56.182	38.7	20.41	14.3	0	0	31.1	31.1	31.1	31	6743	4455	4631	115	115	14.49	38.7	0.45	150
03-11-2021 12:53:58.245	39.4	21.2	14.28	0	0	31.1	31.1	31.1	31.1	6998	4514	4624	115	114	14.49	39.4	0.45	150
03-11-2021 12:54:00.244	40	23.07	14.27	0	0	31	31	31	31.1	7599	4582	4612	115	114	14.49	40	0.45	150
03-11-2021 12:54:02.174	40.6	23.7	14.26	0	0	31	31	31	31	7797	4651	4605	114	114	14.49	40.6	0.45	150
03-11-2021 12:54:04.284	41.3	23.8	14.25	0	0	31	31	31	31	7830	4726	4600	114	114	14.49	41.3	0.45	150
03-11-2021 12:54:06.284	41.9	23.64	14.23	0	0	30.9	30.9	30.9	30.9	7775	4793	4595	114	114	14.49	41.9	0.45	150
03-11-2021 12:54:08.482	42.6	35.29	14.21	0	0	30.9	30.9	30.9	30	11445	4956	4542	116	116	14.49	42.6	0.45	150
03-11-2021 12:54:10.582	43.3	35.02	14.19	0	0	30.9	30.9	30.9	29.5	11343	5105	4533	118	118	14.49	43.3	0.45	150
03-11-2021 12:54:12.704	43.9	35.36	14.17	0	0	30.8	30.8	30.8	29.1	11439	5254	4523	120	119	14.49	43.9	0.45	150
03-11-2021 12:54:14.78F	44.6	37.13	14.15	0	0	30.8	30.8	30.8	28.5	11993	5410	4511	121	121	14.49	44.6	0.45	150
03-11-2021 12:54:16.78F	45.2	51.52	14.13	0	0	30.7	30.7	30.7	27.2	16388	5654	4447	125	125	14.49	45.2	0.45	150
03-11-2021 12:54:18.78C	45.8	51.81	14.1	0	0	31	31	31	26.4	16424	5892	4433	129	128	14.33	45.8	0.45	150
03-11-2021 12:54:20.87F	46.3	53.26	14.07	0	0	30.9	30.9	30.9	25.5	16846	6147	4417	133	132	14.33	46.3	0.45	150
03-11-2021 12:54:22.977	46.9	53.8	14.04	0	0	30.9	30.9	30.9	24.6	16995	6401	4404	137	136	14.33	46.9	0.45	150
03-11-2021 12:54:25.08F	47.4	54.09	14.01	0	0	30.8	30.8	30.8	23.9	17055	6650	4389	140	143	14.33	47.4	0.45	150
03-11-2021 12:54:27.182	48	52.94	13.97	0	0	30.7	30.7	30.7	23.3	16697	6885	4381	144	146	14.33	48	0.45	150
03-11-2021 12:54:29.181	48.4	54.8	13.94	0	0	30.6	30.6	30.6	22.6	17235	7114	4364	147	150	14.33	48.4	0.45	150
03-11-2021 12:54:31.28C	48.9	54.55	13.91	0	0	30.9	30.9	30.9	22.1	17151	7348	4353	150	153	14.18	48.9	0.45	150
03-11-2021 12:54:33.482	49.5	55.18	13.88	0	0	30.8	30.8	30.8	21.5	17321	7592	4338	154	156	14.18	49.5	0.45	150
03-11-2021 12:54:35.584	49.9	53.48	13.85	0	0	30.8	30.8	30.8	21	16793	7807	4331	157	159	14.18	49.9	0.45	150
03-11-2021 12:54:37.57F	50.3	54.57	13.82	0	0	30.7	30.7	30.7	20.6	17124	8013	4319	159	162	14.18	50.3	0.45	150
03-11-2021 12:54:39.782	50.7	54.18	13.78	0	0	31	31	31	20.1	16991	8233	4308	163	165	14.02	50.7	0.45	150
03-11-2021 12:54:41.88C	51	54.02	13.75	0	0	30.9	30.9	30.9	19.7	16941	8436	4298	165	168	14.02	51	0.45	150
03-11-2021 12:54:43.981	51.4	54.17	13.72	0	0	30.8	30.8	30.8	19.3	16955	8635	4284	168	170	14.02	51.4	0.45	150
03-11-2021 12:54:45.982	51.8	54.93	13.69	0	0	30.8	30.8	30.8	19	17177	8825	4272	171	173	14.02	51.8	0.45	150
03-11-2021 12:54:47.97F	52.1	55.03	13.66	0	0	30.7	30.7	30.7	18.6	17191	9011	4260	173	175	14.02	52.1	0.45	150
03-11-2021 12:54:50.181	52.5	53.13	13.63	0	0	30.6	30.6	30.6	18.3	16614	9197	4254	175	177	14.02	52.5	0.45	150
03-11-2021 12:54:52.35F	52.8	54.7	13.59	0	0	30.9	30.9	30.9	1.8	17061	9387	4236	178	180	13.86	52.8	0.45	150
03-11-2021 12:54:54.38F	53.1	53.32	13.56	0	0	30.8	30.8	30.8	17.8	16652	9551	4231	180	182	13.86	53.1	0.45	150
03-11-2021 12:54:56.481	53.5	52.02	13.53	0	0	30.8	30.8	30.8	17.5	16246	9707	4223	182	181	13.86	53.5	0.45	150
03-11-2021 12:54:58.582	53.7	48.57	13.5	0	0	30.7	30.7	30.7	17.4	15202	9835	4223	183	182	13.86	53.7	0.45	150
03-11-2021 12:55:00.68F	54	39.44	13.48	0	0	30.6	30.6	30.6	17.5	12502	9897	4253	183	182	13.86	54	0.45	150
03-11-2021 12:55:02.884	54.3	33.76	13.46	0	0	30.6	30.6	30.6	17.6	10789	9919	4266	183	182	13.86	54.3	0.45	150
03-11-2021 12:55:04.88F	54.3	11.43	13.44	0	0	30.9	30.9	30.9	18.2	3746	9781	4347	180	179	13.7	54.3	0.45	150
03-11-2021 12:55:06.981	54.4	30.08	13.43	0	0	30.9	30.9	30.9	1.8	9671	9779	4279	180	179	13.7	54.4	0.45	150
03-11-2021 12:55:09.181	54.4	14.49	13.42	0	0	30.8	30.8	30.8	18.4	4737	9655	4330	178	177	13.7	54.4	0.45	150
03-11-2021 12:55:11.18C	54.3	57.54	13.4	0	0	30.8	30.8	30.8	17.3	17964	9840	4174	181	180	13.7	54.3	0.45	150
03-11-2021 12:55:13.28C	54.1	46.02	13.37	0	0	30.7	30.7	30.7	17.1	14506	9949	4198	184	183	13.7	54.1	0.45	150
03-11-2021 12:55:15.377	53.8	67	13.33	0	0	30.7	30.7	30.7	16.3	20663	10198	4118	190	189	13.7	53.8	0.45	150
03-11-2021 12:55:17.57F	53.7	52.99	13.3	0	0	30.6	30.6	30.6	16.1	16533	10353	4147	193	192	13.7	53.7	0.45	150
03-11-2021 12:55:19.681	53.5	40.77	13.27															

Row Labels	AvgSpecB A	B Ah	B AhChg	B AhDis	B CapAhCl	B CapChg	B CapDis	BRR	BW	BWAvg	BWh	BWh/km	BWh/km.C Ah	C AvgSpec C	Drag	C Load		
03-11-2021 12:49:30.883	32.4	3.08	14.93	0	0	31.1	31.1	31.1	224.7	1049	557	4934	17	17	15.12	32.4	0.45	150
03-11-2021 12:49:32.881	31.9	3.07	14.93	0	0	31.1	31.1	31.1	217.2	1045	568	4933	18	17	15.12	31.9	0.45	150
03-11-2021 12:49:34.98C	31.4	3.07	14.92	0	0	31.1	31.1	31.1	209.7	1046	579	4933	18	18	15.12	31.4	0.45	150
03-11-2021 12:49:37.183	30.9	3.05	14.92	0	0	31.1	31.1	31.1	202.4	1039	590	4931	19	19	15.12	30.9	0.45	150
03-11-2021 12:49:39.275	30.4	3.04	14.92	0	0	31.1	31.1	31.1	195.9	1035	600	4932	20	19	15.12	30.4	0.45	150
03-11-2021 12:49:41.455	30	3.09	14.92	0	0	31.1	31.1	31.1	189.4	1052	611	4930	20	20	15.12	30	0.45	150
03-11-2021 12:49:43.577	29.5	3.07	14.92	0	0	31.1	31.1	31.1	183.4	1045	622	4930	21	21	15.12	29.5	0.45	150
03-11-2021 12:49:45.775	29.1	3.1	14.91	0	0	31.1	31.1	31.1	177.6	1056	632	4929	22	21	15.12	29.1	0.45	150
03-11-2021 12:49:47.884	28.6	4.6	14.91	0	0	31.1	31.1	31.1	168.9	1564	654	4923	23	22	15.12	28.6	0.45	150
03-11-2021 12:49:49.878	28.3	5.12	14.91	0	0	31.1	31.1	31.1	160.5	1739	678	4919	24	23	15.12	28.3	0.45	150
03-11-2021 12:49:52.08C	27.9	4.83	14.91	0	0	31.1	31.1	31.1	153.1	1641	702	4919	25	25	15.12	27.9	0.45	150
03-11-2021 12:49:54.185	27.5	4.65	14.9	0	0	31	31	31	146.9	1581	722	4919	26	26	15.12	27.5	0.45	150
03-11-2021 12:49:56.381	27.2	4.73	14.9	0	0	31	31	31	140.7	1607	744	4917	27	27	15.12	27.2	0.45	150
03-11-2021 12:49:58.587	26.8	4.61	14.9	0	0	31	31	31	135.2	1566	764	4916	28	28	15.12	26.8	0.45	150
03-11-2021 12:50:00.681	26.6	1.76	14.9	0	0	31	31	31	134.8	600	760	4928	29	28	15.12	26.6	0.45	150
03-11-2021 12:50:02.777	26.3	1.41	14.9	0	0	31	31	31	134.7	481	754	4929	29	28	15.12	26.3	0.45	150
03-11-2021 12:50:04.78E	26	1.37	14.89	0	0	31	31	31	134.5	467	747	4929	29	28	15.12	26	0.45	150
03-11-2021 12:50:06.88E	25.7	1.33	14.89	0	0	31.4	31.4	31.4	134.1	454	740	4929	29	28	14.96	25.7	0.45	150
03-11-2021 12:50:09.09C	25.4	-2.29	14.89	0	0	31.4	31.4	31.4	139.7	-784	704	4944	28	31	14.96	25.4	0.45	150
03-11-2021 12:50:11.28C	25	0.83	14.89	0	0	31.4	31.4	31.4	139.6	283	693	4932	28	31	14.96	25	0.45	150
03-11-2021 12:50:13.374	24.7	1.22	14.89	0	0	31.4	31.4	31.4	139.2	416	687	4931	28	31	14.96	24.7	0.45	150
03-11-2021 12:50:15.578	24.4	3.07	14.89	0	0	31.4	31.4	31.4	135.4	1046	696	4923	28	28	14.96	24.4	0.45	150
03-11-2021 12:50:17.68C	24.1	4.24	14.89	0	0	31.3	31.3	31.3	130.4	1442	713	4917	30	29	14.96	24.1	0.45	150
03-11-2021 12:50:19.71C	23.8	4.35	14.89	0	0	31.3	31.3	31.3	125.2	1479	730	4915	31	30	14.96	23.8	0.45	150
03-11-2021 12:50:21.781	23.4	1.47	14.89	0	0	31.3	31.3	31.3	124.4	501	725	4926	31	30	14.96	23.4	0.45	150
03-11-2021 12:50:23.882	23	1.87	14.89	0	0	31.3	31.3	31.3	122.6	638	723	4925	31	31	14.96	23	0.45	150
03-11-2021 12:50:26.082	22.6	1.97	14.88	0	0	31.3	31.3	31.3	120.9	672	722	4924	32	31	14.96	22.6	0.45	150
03-11-2021 12:50:28.281	22.3	2.89	14.88	0	0	31.3	31.3	31.3	117.8	984	728	4920	33	32	14.96	22.3	0.45	150
03-11-2021 12:50:30.275	21.9	2.61	14.88	0	0	31.3	31.3	31.3	115.6	889	732	4920	33	33	14.96	21.9	0.45	150
03-11-2021 12:50:32.384	21.6	2.05	14.88	0	0	31.3	31.3	31.3	114	699	731	4922	34	33	14.96	21.6	0.45	150
03-11-2021 12:50:34.481	21.3	2.09	14.88	0	0	31.3	31.3	31.3	112.4	712	730	4922	34	34	14.96	21.3	0.45	150
03-11-2021 12:50:36.663	21	2.2	14.88	0	0	31.3	31.3	31.3	110.6	750	731	4921	35	34	14.96	21	0.45	150
03-11-2021 12:50:38.784	20.7	2.24	14.88	0	0	31.3	31.3	31.3	108.9	764	732	4920	35	35	14.96	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:50:40.87E	20.4	2.23	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	107.2	760	732	4920	36	35	14.96	20.4	0.45	150
03-11-2021 12:50:42.982	20.1	2.24	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	105.6	764	733	4920	36	36	14.96	20.1	0.45	150
03-11-2021 12:50:45.184	19.8	2.22	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	103.9	757	734	4919	37	36	14.96	19.8	0.45	150
03-11-2021 12:50:47.278	19.5	2.87	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	101.7	978	739	4916	38	37	14.96	19.5	0.45	150
03-11-2021 12:50:49.477	19.3	2.69	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	99.8	916	744	4916	39	38	14.96	19.3	0.45	150
03-11-2021 12:50:51.584	19	2.7	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	98	920	748	4915	39	39	14.96	19	0.45	150
03-11-2021 12:50:53.682	18.8	2.45	14.87	0	0	31.3	31.3	31.3	96.5	835	750	4916	40	39	14.96	18.8	0.45	150
03-11-2021 12:50:55.875	18.6	2.45	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	95.1	835	752	4916	40	40	14.96	18.6	0.45	150
03-11-2021 12:50:57.885	18.4	2.06	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	94.1	702	751	4916	41	40	14.96	18.4	0.45	150
03-11-2021 12:51:00.07E	18.1	2.88	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	92.2	981	756	4913	42	41	14.96	18.1	0.45	150
03-11-2021 12:51:02.18C	17.9	3.26	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	90.2	1110	765	4911	43	42	14.96	17.9	0.45	150
03-11-2021 12:51:04.282	17.8	2.59	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	89.1	882	767	4913	43	43	14.96	17.8	0.45	150
03-11-2021 12:51:06.48E	17.6	2.59	14.86	0	0	31.3	31.3	31.3	87.9	882	770	4912	44	43	14.96	17.6	0.45	150
03-11-2021 12:51:08.58E	17.5	2.22	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	87.2	757	770	4914	44	44	14.96	17.5	0.45	150
03-11-2021 12:51:10.682	17.3	2.85	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	85.9	971	775	4910	45	44	14.96	17.3	0.45	150
03-11-2021 12:51:12.781	17.2	3.03	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	84.5	1032	781	4909	45	45	14.96	17.2	0.45	150
03-11-2021 12:51:14.775	17	2.84	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	83.3	967	785	4909	46	46	14.96	17	0.45	150
03-11-2021 12:51:16.881	16.9	1.54	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	83.4	525	779	4914	46	46	14.96	16.9	0.45	150
03-11-2021 12:51:18.981	16.7	1.48	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	83.4	505	772	4914	46	46	14.96	16.7	0.45	150
03-11-2021 12:51:21.177	16.6	2.7	14.85	0	0	31.3	31.3	31.3	82.1	920	776	4909	47	46	14.96	16.6	0.45	150
03-11-2021 12:51:23.282	16.4	2.7	14.84	0	0	31.3	31.3	31.3	80.9	920	779	4907	47	47	14.96	16.4	0.45	150
03-11-2021 12:51:25.377	16.3	3.26	14.84	0	0	31.2	31.2	31.2	79.4	1110	787	4905	48	48	14.96	16.3	0.45	150
03-11-2021 12:51:27.582	16.1	6.79	14.84	0	0	31.2	31.2	31.2	78.8	2303	824	4890	51	51	14.96	16.1	0.45	150
03-11-2021 12:51:29.575	16	7.69	14.84	0	0	31.2	31.2	31.2	70.7	2606	864	4885	54	54	14.96	16	0.45	150
03-11-2021 12:51:31.578	15.9	3.22	14.83	0	0	31.2	31.2	31.2	70	1096	869	4901	55	54	14.96	15.9	0.45	150
03-11-2021 12:51:33.582	15.7	1.49	14.83	0	0	31.2	31.2	31.2	70.1	508	861	4908	55	54	14.96	15.7	0.45	150
03-11-2021 12:51:35.58E	15.6	3.96	14.83	0	0	31.2	31.2	31.2	68.6	1347	872	4897	56	55	14.96	15.6	0.45	150
03-11-2021 12:51:37.575	15.5	1.94	14.83	0	0	31.2	31.2	31.2	68.5	661	867	4905	56	56	14.96	15.5	0.45	150
03-11-2021 12:51:39.78C	15.3	4.48	14.83	0	0	31.2	31.2	31.2	66.5	1523	883	4894	58	57	14.96	15.3	0.45	150
03-11-2021 12:51:41.982	15.2	11.63	14.82	0	0	31.2	31.2	31.2	60.4	3923	957	4864	63	62	14.96	15.2	0.45	150
03-11-2021 12:51:43.975	15.2	8.34	14.82	0	0	31.2	31.2	31.2	58.2	2822	999	4874	65	65	14.96	15.2	0.45	150
03-11-2021 12:51:46.082	15.3	7.14	14.81	0	0	31.2	31.2	31.2	56.5	2419	1032	4877	67	67	14.96	15.3	0.45	150
03-11-2021 12:51:48.181	15.3	6.53	14.81	0	0	31.2	31.2	31.2	55.2	2214	1059	4878	69	69	14.96	15.3	0.45	150
03-11-2021 12:51:50.382	15.5	0.89	14.81	0														

Row Labels	AvgSpecB A	B Ah	B AhChg	B AhDis	B CapAhCl	B CapChg/B	B CapDisA	BRR	BW	BWAvg	B Wh	BWh/km	B Wh/km.C	Ah	C AvgSpecC	Drag	C Load	
03-11-2021 12:56:33.18F	34.7	-27.31	12.92	0	0	30.4	30.4	30.4	16.2	-9376	6916	4322	200	201	13.39	34.7	0.45	150
03-11-2021 12:56:35.28C	34.4	33.58	12.92	0	0	30.4	30.4	30.4	15	10783	7006	4109	203	202	13.39	34.4	0.45	150
03-11-2021 12:56:37.57F	34.2	15.17	12.9	0	0	30.4	30.4	30.4	15.3	4973	6954	4168	203	202	13.39	34.2	0.45	150
03-11-2021 12:56:39.67F	34	10.02	12.89	0	0	30.3	30.3	30.3	15.4	3303	6869	4183	202	201	13.39	34	0.45	150
03-11-2021 12:56:41.982	33.8	-10.74	12.89	0	0	30.3	30.3	30.3	16.3	-3624	6600	4257	196	194	13.39	33.8	0.45	150
03-11-2021 12:56:43.981	33.6	-8.35	12.9	0	0	30.3	30.3	30.3	16.7	-2813	6591	4253	190	189	13.39	33.6	0.45	150
03-11-2021 12:56:46.08E	33.4	0.6	12.9	0	0	30.4	30.4	30.4	16.8	200	6246	4224	187	186	13.39	33.4	0.45	150
03-11-2021 12:56:48.277	33.2	1.43	12.9	0	0	30.4	30.4	30.4	17.1	477	6106	4221	184	183	13.39	33.2	0.45	150
03-11-2021 12:56:50.38E	32.6	-1.41	12.9	0	0	30.4	30.4	30.4	17.3	-472	5952	4232	182	184	13.39	32.6	0.45	150
03-11-2021 12:56:52.38E	32.2	1.44	12.9	0	0	30.4	30.4	30.4	17.4	481	5830	4222	181	180	13.39	32.2	0.45	150
03-11-2021 12:56:54.38C	31.7	1.43	12.9	0	0	30.4	30.4	30.4	17.5	477	5712	4222	180	179	13.39	31.7	0.45	150
03-11-2021 12:56:56.482	31.2	1.31	12.9	0	0	30.3	30.3	30.3	17.6	437	5589	4223	179	178	13.39	31.2	0.45	150
03-11-2021 12:56:58.781	30.7	1.32	12.9	0	0	30.3	30.3	30.3	17.7	441	5457	4223	178	177	13.39	30.7	0.45	150
03-11-2021 12:57:00.882	30.2	1.45	12.9	0	0	30.3	30.3	30.3	17.9	484	5341	4223	177	176	13.39	30.2	0.45	150
03-11-2021 12:57:02.88E	29.8	1.49	12.9	0	0	30.3	30.3	30.3	18	498	5233	4223	176	174	13.39	29.8	0.45	150
03-11-2021 12:57:04.97E	29.5	1.51	12.89	0	0	30.3	30.3	30.3	18.1	505	5123	4223	174	173	13.39	29.5	0.45	150
03-11-2021 12:57:07.082	29.1	1.49	12.89	0	0	30.3	30.3	30.3	18.3	498	5015	4223	172	171	13.39	29.1	0.45	150
03-11-2021 12:57:09.082	28.8	0.95	12.89	0	0	30.3	30.3	30.3	18.5	318	4911	4225	170	169	13.39	28.8	0.45	150
03-11-2021 12:57:11.181	28.5	1.58	12.89	0	0	30.3	30.3	30.3	18.7	528	4808	4223	169	167	13.39	28.5	0.45	150
03-11-2021 12:57:13.28E	28.2	1.51	12.89	0	0	30.3	30.3	30.3	18.9	505	4708	4224	167	166	13.39	28.2	0.45	150
03-11-2021 12:57:15.381	27.9	2.13	12.89	0	0	30.3	30.3	30.3	19.1	712	4615	4221	165	164	13.39	27.9	0.45	150
03-11-2021 12:57:17.58C	27.6	15.94	12.89	0	0	30.3	30.3	30.3	18.5	5251	4630	4173	168	167	13.39	27.6	0.45	150
03-11-2021 12:57:19.581	27.3	10.21	12.88	0	0	30.3	30.3	30.3	18.6	3382	4603	4189	168	167	13.39	27.3	0.45	150
03-11-2021 12:57:21.47E	27.1	4.82	12.87	0	0	30.3	30.3	30.3	18.7	1606	4539	4206	168	167	13.39	27.1	0.45	150
03-11-2021 12:57:23.58E	26.8	2.66	12.87	0	0	30.3	30.3	30.3	19	889	4454	4214	166	165	13.39	26.8	0.45	150
03-11-2021 12:57:25.58E	26.5	1.81	12.87	0	0	30.3	30.3	30.3	19.1	605	4369	4216	165	164	13.39	26.5	0.45	150
03-11-2021 12:57:27.781	26.2	2.02	12.87	0	0	30.3	30.3	30.3	19.3	675	4278	4216	163	162	13.39	26.2	0.45	150
03-11-2021 12:57:29.98C	25.9	5.7	12.87	0	0	30.3	30.3	30.3	19.2	1899	4220	4202	163	162	13.39	25.9	0.45	150
03-11-2021 12:57:31.98C	25.6	2.08	12.86	0	0	30.3	30.3	30.3	19.5	696	4142	4215	162	161	13.39	25.6	0.45	150
03-11-2021 12:57:33.97F	25.3	1.44	12.86	0	0	30.3	30.3	30.3	19.6	482	4061	4217	160	159	13.39	25.3	0.45	150
03-11-2021 12:57:36.081	24.9	3.52	12.86	0	0	30.3	30.3	30.3	19.6	1176	3993	4210	160	159	13.39	24.9	0.45	150
03-11-2021 12:57:37.98E	24.5	4.81	12.86	0	0	30.3	30.3	30.3	19.5	1605	3943	4205	161	160	13.39	24.5	0.45	150
03-11-2021 12:57:40.081	24.1	1.8	12.86	0	0	30.3	30.3	30.3	19.6	602	3865	4214	160	159	13.39	24.1	0.45	150
03-11-2021 12:57:42.282	23.7	5.82	12.86	0	0	30.6	30.6	30.6	19.4	1940	3818	4200	161	160	13.23	23.7	0.45	150
03-11-2021 12:57:44.37F	23.3	2.86	12.85	0	0	30.6	30.6	30.6	19.5	956	3751	4210	161	160	13.23	23.3	0.45	150
03-11-2021 12:57:46.57F	22.9	6.43	12.85	0	0	30.6	30.6	30.6	19.3	2142	3712	4197	162	161	13.23	22.9	0.45	150
03-11-2021 12:57:48.71E	22.6	4.54	12.85	0	0	30.6	30.6	30.6	19.4	1515	3660	4202	162	161	13.23	22.6	0.45	150
03-11-2021 12:57:50.88E	22.3	1.44	12.85	0	0	30.6	30.6	30.6	19.5	482	3583	4213	161	160	13.23	22.3	0.45	150
03-11-2021 12:57:52.98C	22	2.01	12.84	0	0	30.6	30.6	30.6	19.6	673	3515	4211	160	159	13.23	22	0.45	150
03-11-2021 12:57:55.297	21.6	1.9	12.84	0	0	30.6	30.6	30.6	19.8	636	3441	4211	159	163	13.23	21.6	0.45	150
03-11-2021 12:57:57.37E	21.6	4.89	12.84	0	0	30.6	30.6	30.6	19.7	1633	3441	4201	159	163	13.23	21.6	0.45	150
03-11-2021 12:57:59.48C	21.6	3.51	12.84	0	0	30.6	30.6	30.6	19.7	1174	3441	4205	159	163	13.23	21.6	0.45	150
03-11-2021 12:58:01.58C	21.6	2.66	12.84	0	0	30.6	30.6	30.6	19.7	891	3441	4207	159	163	13.23	21.6	0.45	150
03-11-2021 12:58:03.78C	21.6	2.87	12.84	0	0	30.6	30.6	30.6	19.7	961	3441	4206	159	163	13.23	21.6	0.45	150
03-11-2021 12:58:05.981	21.6	2.36	12.83	0	0	30.6	30.6	30.6	19.7	791	3441	4208	159	163	13.23	21.6	0.45	150
03-11-2021 12:58:07.991	21.6	3.55	12.83	0	0	30.6	30.6	30.6	19.7	1188	3441	4203	159	163	13.23	21.6	0.45	150
03-11-2021 12:58:10.072	21.6	1.4	12.83	0	0	30.5	30.5	30.5	19.7	470	3441	4210	159	163	13.23	21.6	0.45	150
03-11-2021 12:58:12.183	21.2	4.1	12.83	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	1371	3393	4201	160	159	13.23	21.2	0.45	150
03-11-2021 12:58:14.377	20.7	1.49	12.83	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	500	3322	4209	160	164	13.23	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:58:16.577	20.7	3.47	12.83	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	1162	3322	4202	160	164	13.23	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:58:18.65E	20.7	2.79	12.82	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	935	3322	4205	160	164	13.23	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:58:20.77F	20.7	3.15	12.82	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	1055	3322	4203	160	164	13.23	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:58:22.97F	20.7	1.6	12.82	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	537	3322	4207	160	164	13.23	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:58:25.182	20.7	1.52	12.82	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	510	3322	4208	160	164	13.23	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:58:27.17E	20.7	0.82	12.82	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	275	3322	4210	160	164	13.23	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:58:29.98C	20.7	0.04	12.82	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	13	3322	4213	160	164	13.23	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:58:40.07E	20.7	0.03	12.82	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	10	3322	4214	160	164	13.23	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:58:53.42E	20.7	0.03	12.82	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	10	3322	4214	160	164	13.23	20.7	0.45	150
03-11-2021 12:59:06.68E	20.7	0.03	12.82	0	0	30.5	30.5	30.5	19.6	10	3322	4214	160	164	13.23	20.7	0.45	150

## ДОДАТОК Б

### КОД РОЗРОБЛЕНОЇ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ

Лістинг Б.1 – Код Python-скрипта `ev_speed_energy_analysis.py` для розрахунку показників енергоспоживання електромобіля

```
"""
Підсистема оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання ЕМ
Автомобіль: Mitsubishi iMiEV | Дані: OBDZero v4.0 | Дата: 03.11.2021
"""

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.gridspec as gridspec
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
from sklearn.metrics import r2_score, mean_squared_error
import warnings
warnings.filterwarnings('ignore')

# 1. ЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ПІДГОТОВКА ДАНИХ

def load_obd(path):
    """Завантаження OBD-файлу у wide-формат"""
    df = pd.read_csv(path, sep=';')
    df.columns = ['Time', 'Parameter', 'Value']
    df['Value'] = pd.to_numeric(df['Value'], errors='coerce')
    pivot = df.pivot_table(index='Time', columns='Parameter',
                            values='Value', aggfunc='first')
    return pivot

# Завантаження двох сесій
FILES_OBD = [
    'OBD_2021_11_03_16_45_51.txt',
    'OBD_2021_11_03_17_20_22.txt',
]

print("-" * 60)
print("ПІДСИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ")
print("НА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ")
print("-" * 60)

# 2. ДАНІ ПО ШВИДКІСНИХ ЗОНАХ (агреговані з вимірювань)

# Агреговані середні по зонах (середина зони, Wh/км, Вт, кількість записів)
ZONE_DATA = {
    'v_mid': np.array([5, 15, 25, 35, 45, 55, 65]),
    'wh_km': np.array([175.8, 133.0, 129.4, 125.4, 147.9, 156.3, 153.6]),
    'watts': np.array([1041, 2744, 5267, 6898, 7532, 10316, 8198]),
    'n': np.array([257, 62, 50, 95, 71, 45, 62]),
    'nRegen': np.array([56, 11, 28, 21, 18, 10, 17]),
    'regenW': np.array([12315, 1901, 2100, 4191, 7626, 7349, 3591]),
    'labels': ['0-10', '10-20', '20-30', '30-40', '40-50', '50-60', '60-70'],
}

print(f"\n{'Зона':>8} | {'n':>5} | {'Вт':>7} | {'Wh/км':>7} | {'Рекуп.Вт':>9}")
print("-" * 45)
for i in range(len(ZONE_DATA['v_mid'])):
    print(f"{ZONE_DATA['labels'][i]:>8} | "
          f"{ZONE_DATA['n'][i]:>5} | "
          f"{ZONE_DATA['watts'][i]:>7.0f} | "
          f"{ZONE_DATA['wh_km'][i]:>7.1f} | "
          f"{ZONE_DATA['regenW'][i]:>9.0f}")
```

```

# 3. РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ (МНК, поліном 2-го ступеня)

poly = PolynomialFeatures(degree=2)
X = poly.fit_transform(ZONE_DATA['v_mid'].reshape(-1, 1))

reg_wh = LinearRegression().fit(X, ZONE_DATA['wh_kм'], sample_weight=ZONE_DATA['n'])
reg_w = LinearRegression().fit(X, ZONE_DATA['watts'], sample_weight=ZONE_DATA['n'])

v_curve = np.linspace(2, 90, 1000)
X_curve = poly.transform(v_curve.reshape(-1, 1))
wh_curve = reg_wh.predict(X_curve)
w_curve = np.maximum(0, reg_w.predict(X_curve))

wh_pred = reg_wh.predict(X)
w_pred = reg_w.predict(X)

r2_wh = r2_score(ZONE_DATA['wh_kм'], wh_pred, sample_weight=ZONE_DATA['n'])
r2_w = r2_score(ZONE_DATA['watts'], w_pred, sample_weight=ZONE_DATA['n'])
rmse_wh = np.sqrt(mean_squared_error(ZONE_DATA['wh_kм'], wh_pred, sample_weight=ZONE_DATA['n']))

c_wh = reg_wh.coef_
i_wh = reg_wh.intercept_
c_w = reg_w.coef_
i_w = reg_w.intercept_

opt_idx = np.argmin(wh_curve)
v_opt = v_curve[opt_idx]
wh_opt = wh_curve[opt_idx]

print(f"\n{'-'*60}")
print("РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ:")
print(f" Wh/км = {i_wh:.3f} + {c_wh[1]:.4f}·v + {c_wh[2]:.6f}·v2")
print(f" R2(Wh/км) = {r2_wh:.4f}, RMSE = {rmse_wh:.2f} Wh/км")
print(f" P[Вт] = {i_w:.1f} + {c_w[1]:.3f}·v + {c_w[2]:.5f}·v2")
print(f" R2(Вт) = {r2_w:.4f}")
print(f" ★ Оптимальна швидкість: {v_opt:.1f} км/год → {wh_opt:.1f} Wh/км")

# 4. ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ

# Параметри iMiEV
m, g, Cr = 1250, 9.81, 0.012
rho, Cd, A = 1.225, 0.33, 1.96
eta = 0.877 # η_мотор × η_інвертор × η_редуктор
P_aux = 350 # Вт (12В система, електроніка)
k_urban = 1.354 # міський коефіцієнт (калібровано при v=65 км/год)

def phys_power(v_kmh, k=k_urban):
    """Фізична модель потужності ЕМ"""
    v = v_kmh / 3.6
    P_roll = m * g * Cr * v
    P_aero = 0.5 * rho * Cd * A * v**3
    return (P_roll + P_aero) / eta * k + P_aux

wh_phys_steady = np.array([phys_power(v, k=1.0)/v if v>0 else 0 for v in v_curve])
wh_phys_urban = np.array([phys_power(v)/v if v>0 else 0 for v in v_curve])

print(f"\n{'-'*60}")
print("ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ vs ВИМІРЮВАННЯ:")
print(f"{'v':>5} | {'Вимір,Вт':>10} | {'Модель,Вт':>10} | {'Δ,%':>8}")
for i, v in enumerate(ZONE_DATA['v_mid']):
    pm = phys_power(v)
    pw = ZONE_DATA['watts'][i]
    print(f"{'v':>5} | {'pw:>10.0f} | {'pm:>10.0f} | {'(pw-pm)/pm*100:>+8.1f}%")

# 5. ПРОГНОЗ ЗАПАСУ ХОДУ

# Калібровано за OBD RestRange=33 км при SoC=43.5%
usable_wh = 4389 # Вт·год
rr_curve = usable_wh / np.maximum(wh_curve, 50)

print(f"\n{'-'*60}")
print(f"ПРОГНОЗ ЗАПАСУ ХОДУ (Е_доступна = {usable_wh} Вт·год):")
print(f"{'Швидкість':>10} | {'Wh/км':>7} | {'Δ від опт,%':>12} | {'Запас ходу, км':>15}")
for v in [30, 36.6, 40, 50, 60, 70, 80, 90]:

```

```

idx = np.argmin(np.abs(v_curve - v))
wh = wh_curve[idx]
rr = usable_wh / wh
d = (wh - wh_opt) / wh_opt * 100
star = " ★" if abs(v - v_opt) < 2 else ""
print(f"{v:>10.1f} | {wh:>7.1f} | {d:>+12.1f}% | {rr:>15.1f} км{star}")

```

#### # 6. АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ

```

def optimal_speed_algorithm(target_km, usable_wh_val, v_min=20, v_max=86):
    """
    Алгоритм рекомендації оптимальної швидкості.
    Повертає (v_opt, range_km, efficiency_pct, status)
    """
    v_test = np.linspace(v_min, v_max, 1000)
    X_test = poly.transform(v_test.reshape(-1, 1))
    wh_test = reg_wh.predict(X_test)
    rr_test = usable_wh_val / np.maximum(wh_test, 50)

    feasible = v_test[rr_test >= target_km]
    if len(feasible) > 0:
        wh_feas = wh_test[rr_test >= target_km]
        v_star = feasible[np.argmin(wh_feas)]
        status = "√ Досяжна"
    else:
        v_star = v_min
        status = "X Недосяжна – рекомендується min швидкість"

    wh_star = reg_wh.predict(poly.transform([[v_star]]))[0]
    rr_star = usable_wh_val / wh_star
    eff = wh_opt / wh_star * 100
    return v_star, rr_star, eff, status

print(f"\n{'-'*60}")
print("АЛГОРИТМ РЕКОМЕНДАЦІЇ ШВИДКОСТІ:")
print(f"{f'Ціль, км:>10} | {v*, км/год:>12} | {RR, км:>8} | {Ефект.%,>9} | Статус"}")
for d in [10, 15, 20, 25, 30, 33, 40, 50]:
    v_s, rr_s, ef_s, st_s = optimal_speed_algorithm(d, usable_wh)
    print(f"{d:>10} | {v_s:>12.1f} | {rr_s:>8.1f} | {ef_s:>9.1f} | {st_s}")

```

#### # 7. АНАЛІЗ РЕКУПЕРАЦІЇ

```

regen_stats = {
    'count': 341,
    'avg_W': 2388,
    'max_W': 16214,
    'total_Wh': 452.5,
    'extra_km': 3.5,
    'share_pct': 68.8,
}

print(f"\n{'-'*60}")
print("АНАЛІЗ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ:")
for k, v in regen_stats.items():
    labels = {'count': 'Кількість подій', 'avg_W': 'Серед. потужність, Вт',
             'max_W': 'Макс. потужність, Вт', 'total_Wh': 'Загальна енергія, Вт-год',
             'extra_km': 'Еквівал. пробіг, км', 'share_pct': 'Частка від тягової, %'}
    print(f" {labels[k]:<30}: {v}")

```

#### # 8. ВІЗУАЛІЗАЦІЯ

```

fig = plt.figure(figsize=(16, 11))
fig.patch.set_facecolor('#0d1520')
gs = gridspec.GridSpec(2, 3, figure=fig, hspace=0.42, wspace=0.35)

style = {'facecolor': '#0d1520', 'color': '#b8ccde'}
GRID_KW = dict(color='#1b2f48', linewidth=0.5, linestyle='--')
ACC = '#00e5ff'; ACC2 = '#ff6b35'; ACC3 = '#39ff14'; ACC4 = '#ffd60a'; ACC5 = '#a855f7'

def style_ax(ax, title, xl="", yl=""):
    ax.set_facecolor('#0c1620')
    ax.spines[:].set_color('#1b2f48')
    ax.tick_params(colors='#4a6a8a', labelsz=8)
    ax.set_title(title, color=ACC, fontsize=10, fontweight='bold', pad=8)
    if xl: ax.set_xlabel(xl, color='#4a6a8a', fontsize=8)

```

```

if yl: ax.set_ylabel(yl, color='#4a6a8a', fontsize=8)
ax.grid(**GRID_KW)

# — Plot 1: Wh/km Regression —————
ax1 = fig.add_subplot(gs[0, 0])
style_ax(ax1, 'Пересія: Wh/км = f(v)', 'Швидкість, км/год', 'Wh/км')
ax1.plot(v_curve, wh_curve, color=ACC, lw=2, label='Пересія (R²={:.3f})'.format(r2_wh))
ax1.plot(v_curve, wh_phys_urban, color=ACC5, lw=1.5, ls='--', label='Фіз.модель (міськ.)')
ax1.scatter(ZONE_DATA['v_mid'], ZONE_DATA['wh_km'], color=ACC4, s=80, zorder=5,
            label='Виміряні зони', edgecolors='white', linewidths=0.5)
ax1.axvline(v_opt, color=ACC3, lw=1.5, ls=':', alpha=0.8)
ax1.annotate(f'★ {v_opt:.1f} км/год\n{wh_opt:.1f} Wh/км',
            xy=(v_opt, wh_opt), xytext=(v_opt+8, wh_opt+25),
            color=ACC3, fontsize=8, arrowprops=dict(arrowstyle='->', color=ACC3))
ax1.legend(fontsize=7, facecolor='#0d1520', edgecolor='#1b2f48', labelcolor='#b8ccde')
ax1.set_xlim(0, 90); ax1.set_ylim(80, 250)

# — Plot 2: Power Regression —————
ax2 = fig.add_subplot(gs[0, 1])
style_ax(ax2, 'Пересія: P[Вт] = f(v)', 'Швидкість, км/год', 'Потужність, кВт')
ax2.plot(v_curve, w_curve/1000, color=ACC2, lw=2, label='Пересія (R²={:.3f})'.format(r2_w))
ax2.bar(ZONE_DATA['v_mid'], ZONE_DATA['watts']/1000, width=7,
        alpha=0.4, color=ACC4, edgecolor=ACC4, linewidth=0.8, label='Виміряні зони')
ax2.legend(fontsize=7, facecolor='#0d1520', edgecolor='#1b2f48', labelcolor='#b8ccde')
ax2.set_xlim(0, 90); ax2.set_ylim(0, 14)

# — Plot 3: Range Prediction —————
ax3 = fig.add_subplot(gs[0, 2])
style_ax(ax3, 'Прогноз запасу ходу', 'Швидкість, км/год', 'Запас ходу, км')
rr_plot = usable_wh / np.maximum(wh_curve, 50)
ax3.fill_between(v_curve, rr_plot, alpha=0.15, color=ACC)
ax3.plot(v_curve, rr_plot, color=ACC, lw=2)
ax3.axhline(33, color=ACC4, lw=1.2, ls='--', alpha=0.7, label='OBD RestRange=33 км')
ax3.axvspan(25, 50, alpha=0.08, color=ACC3, label='Оптим. зона')
ax3.scatter([v_opt], [usable_wh/wh_opt], color=ACC3, s=100, zorder=5,
            edgecolors='white', linewidths=0.5)
ax3.legend(fontsize=7, facecolor='#0d1520', edgecolor='#1b2f48', labelcolor='#b8ccde')
ax3.set_xlim(0, 90); ax3.set_ylim(0, 45)

# — Plot 4: Physical model comparison —————
ax4 = fig.add_subplot(gs[1, 0])
style_ax(ax4, 'Фіз.модель vs Вимір (Вт)', 'Швидкість, км/год', 'Потужність, кВт')
w_phys_curve = np.array([phys_power(v) for v in v_curve])
ax4.plot(v_curve, w_phys_curve/1000, color=ACC5, lw=1.5, ls='--', label='Фіз.модель (міськ.)')
ax4.plot(v_curve, np.array([phys_power(v,1.0) for v in v_curve])/1000,
        color='#888', lw=1, ls=':', label='Фіз.модель (steady)')
ax4.bar(ZONE_DATA['v_mid'], ZONE_DATA['watts']/1000, width=7, alpha=0.5,
        color=ACC4, edgecolor=ACC4, linewidth=0.8, label='Вимір')
ax4.legend(fontsize=7, facecolor='#0d1520', edgecolor='#1b2f48', labelcolor='#b8ccde')
ax4.set_xlim(0, 75); ax4.set_ylim(0, 14)

# — Plot 5: Regen by zone —————
ax5 = fig.add_subplot(gs[1, 1])
style_ax(ax5, 'Рекуперация vs Тягова (кВт)', 'Зона, км/год', 'Потужність, кВт')
x_zones = np.arange(len(ZONE_DATA['labels']))
w_bars = ax5.bar(x_zones - 0.2, ZONE_DATA['watts']/1000, 0.38,
                color=ACC2, alpha=0.6, label='Тягова')
r_bars = ax5.bar(x_zones + 0.2, ZONE_DATA['regenW']/1000, 0.38,
                color=ACC3, alpha=0.7, label='Рекуперация')
ax5.set_xticks(x_zones)
ax5.set_xticklabels(ZONE_DATA['labels'], rotation=30, fontsize=7)
ax5.legend(fontsize=7, facecolor='#0d1520', edgecolor='#1b2f48', labelcolor='#b8ccde')

# — Plot 6: Speed impact on efficiency —————
ax6 = fig.add_subplot(gs[1, 2])
style_ax(ax6, 'Вплив швидкості на ефективність', 'Швидкість, км/год', 'Відхил. від оптимуму, %')
delta_pct = (wh_curve - wh_opt) / wh_opt * 100
colors_curve = np.where(delta_pct < 5, ACC3, np.where(delta_pct < 20, ACC4, ACC2))
ax6.fill_between(v_curve, delta_pct, 0, where=(delta_pct>=0),
                alpha=0.2, color=ACC2, interpolate=True)
ax6.fill_between(v_curve, delta_pct, 0, where=(delta_pct<0),
                alpha=0.2, color=ACC3, interpolate=True)
ax6.plot(v_curve, delta_pct, color=ACC2, lw=2)
ax6.axhline(0, color=ACC3, lw=1, ls='--', alpha=0.7)
ax6.axvspan(v_opt-3, v_opt+3, alpha=0.15, color=ACC3)
ax6.axhline(20, color=ACC4, lw=0.8, ls=':', alpha=0.6, label='+20% (попередження)')
ax6.axhline(50, color=ACC2, lw=0.8, ls=':', alpha=0.6, label='+50% (критично)')

```

```

ax6.set_xlim(0, 90); ax6.set_ylim(-5, 110)
ax6.legend(fontsize=7, facecolor='#0d1520', edgecolor='#1b2f48', labelcolor='#b8ccde')

# Title
fig.suptitle('ПІДСИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ШВИДКІСНОГО РЕЖИМУ НА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЕМ\
'Mitsubishi iMiEV | OBDZero v4.0 | 03.11.2021 | Спеціальність 174',
color=ACC, fontsize=11, fontweight='bold', y=0.98)

plt.savefig('ev_speed_energy_analysis.png', dpi=150, bbox_inches='tight',
facecolor='#0d1520')
plt.savefig('ev_speed_energy_analysis_white.png', dpi=150, bbox_inches='tight',
facecolor='white')
print(f"\n{'-'*60}")
print("Графіки збережено:")
print(" ev_speed_energy_analysis.png (темна тема)")
print(" ev_speed_energy_analysis_white.png (для вставки в текст роботи)")
plt.show()
print("\n✓ Аналіз завершено успішно")

```

## Лістинг Б.2 – Код HTML-сторінки ev\_energy\_dashboard.html для візуалізації результатів аналізу

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
<meta charset="UTF-8">
<meta name="viewport" content="width=device-width,initial-scale=1">
<title>Підсистема оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання ЕМ</title>
<link
href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=JetBrains+Mono:wght@300;400;600;700&family=Unbounded:wght@300;600;900&dis
play=swap" rel="stylesheet">
<style>
:root{
--bg:#070b10;--surf:#0c1620;--surf2:#111e2d;--bord:#1b2f48;
--acc:#00e5ff;--acc2:#ff6b35;--acc3:#39ff14;--acc4:#ffd60a;--acc5:#a855f7;
--txt:#b8ccde;--dim:#4a6a8a;--bright:#e4f0ff;
--grn:#00c853;--red:#ff3d3d;--grid:rgba(0,229,255,.035);
}
*{box-sizing:border-box;margin:0;padding:0}
body{background:var(--bg);color:var(--txt);font-family:'JetBrains Mono',monospace;font-size:13px;min-height:100vh;overflow-x:hidden}
body::before{content:"";position:fixed;inset:0;background-image:linear-gradient(var(--grid) 1px,transparent 1px),linear-gradient(90deg,var(--grid) 1px,transparent 1px);background-size:36px 36px;pointer-events:none;z-index:0}
.app{position:relative;z-index:1}

/* — HEADER — */
header{padding:18px 28px;border-bottom:1px solid var(--bord);display:flex;align-items:flex-start;justify-content:space-between;gap:12px;flex-wrap:wrap;background:linear-gradient(180deg,rgba(0,229,255,.05) 0%,transparent 100%)}
.h-title{font-family:'Unbounded',sans-serif;font-size:10px;font-weight:300;color:var(--dim);letter-spacing:.18em;text-transform:uppercase;margin-bottom:5px}
.h-main{font-family:'Unbounded',sans-serif;font-size:16px;font-weight:600;color:var(--acc);letter-spacing:.04em;line-height:1.35;max-width:640px}
.badges{display:flex;gap:6px;flex-wrap:wrap;align-items:flex-start}
.badge{padding:3px 9px;border:1px solid var(--bord);border-radius:2px;font-size:9px;letter-spacing:.1em;color:var(--dim)}
.badge.on{border-color:var(--acc);color:var(--acc)}

/* — KPI ROW — */
.kpi{display:grid;grid-template-columns:repeat(7,1fr);gap:1px;background:var(--bord);border-bottom:1px solid var(--bord)}
@media(max-width:960px){.kpi{grid-template-columns:repeat(4,1fr)}}
@media(max-width:540px){.kpi{grid-template-columns:repeat(2,1fr)}}
.kcard{background:var(--surf);padding:14px 16px;cursor:default;transition:background .2s;position:relative;overflow:hidden}
.kcard:hover{background:var(--surf2)}
.kcard::after{content:"";position:absolute;bottom:0;left:0;width:100%;height:2px;background:var(--acc);transform:scaleX(0);transform-origin:left;transition:transform .3s}
.kcard:hover::after{transform:scaleX(1)}
.kl{font-size:9px;letter-spacing:.14em;color:var(--dim);text-transform:uppercase;margin-bottom:6px}
.kv{font-family:'Unbounded',sans-serif;font-size:20px;font-weight:600;color:var(--bright);line-height:1}
.ku{font-size:10px;color:var(--dim);margin-left:3px;font-weight:300}
.ks{font-size:9px;color:var(--dim);margin-top:3px}
.kv.green{color:var(--grn)}.kv.orange{color:var(--acc4)}.kv.blue{color:var(--acc)}

```

```

/* — LAYOUT — */
.main{display:grid;grid-template-columns:1fr 330px;gap:1px;background:var(--bord)}
@media(max-width:1050px){.main{grid-template-columns:1fr}}
.lcol{display:flex;flex-direction:column;gap:1px;background:var(--bord)}
.rcol{background:var(--surf);display:flex;flex-direction:column;gap:1px}

/* — TABS — */
.tabs{display:flex;gap:1px;background:var(--bord)}
.tbtn{flex:1;padding:9px 4px;background:var(--surf);border:none;color:var(--dim);font-family:'JetBrains Mono',monospace;font-size:9px;letter-spacing:.1em;text-transform:uppercase;cursor:pointer;transition:all .2s;border-bottom:2px solid transparent}
.tbtn:hover{background:var(--surf2);color:var(--txt)}
.tbtn.act{background:var(--surf2);color:var(--acc);border-bottom-color:var(--acc)}
.tcont{display:none}.tcont.act{display:block}

/* — PANEL — */
.panel{background:var(--surf);padding:18px 22px}
.ph{display:flex;align-items:center;justify-content:space-between;margin-bottom:14px;flex-wrap:wrap;gap:6px}
.pt{font-family:'Unbounded',sans-serif;font-size:9px;font-weight:600;letter-spacing:.15em;color:var(--acc);text-transform:uppercase}
.pi{font-size:9px;color:var(--dim)}
.canvas{display:block}

/* — LEGEND — */
.leg{display:flex;gap:14px;flex-wrap:wrap;margin-top:10px}
.li{display:flex;align-items:center;gap:5px;font-size:9px;color:var(--dim)}
.ld{width:10px;height:10px;border-radius:50%;flex-shrink:0}

/* — SIDEBAR SIMULATOR — */
.sim{padding:18px 20px;border-bottom:1px solid var(--bord)}
input[type=range]{-webkit-appearance:none;width:100%;height:4px;background:var(--bord);border-radius:2px;outline:none;cursor:pointer}
input[type=range]::-webkit-slider-thumb{-webkit-appearance:none;width:18px;height:18px;border-radius:50%;background:var(--acc);box-shadow:0 0 10px var(--acc);cursor:pointer}
input[type=range]::-webkit-slider-runnable-track{height:4px;background:linear-gradient(90deg,var(--acc) var(--pct,0%),var(--bord) var(--pct,0%));border-radius:2px}
.spd-row{display:flex;align-items:baseline;gap:8px;margin-bottom:8px}
.spd-n{font-family:'Unbounded',sans-serif;font-size:44px;font-weight:900;color:var(--acc);text-shadow:0 0 24px rgba(0,229,255,.45);line-height:1}
.spd-u{font-size:16px;color:var(--dim)}
.pgrid{display:grid;grid-template-columns:1fr 1fr;gap:7px;margin-top:10px}
.pc{background:var(--bg);border:1px solid var(--bord);border-radius:3px;padding:9px 11px}
.pcl{font-size:8px;color:var(--dim);letter-spacing:.1em;text-transform:uppercase}
.pcv{font-family:'Unbounded',sans-serif;font-size:15px;font-weight:600;margin-top:3px}
.pcv.g{color:var(--grn)}.pcv.w{color:var(--acc4)}.pcv.r{color:var(--red)}.pcv.b{color:var(--acc)}
.rbar{margin-top:10px;height:7px;background:var(--bg);border:1px solid var(--bord);border-radius:4px;overflow:hidden}
.rfill{height:100%;background:linear-gradient(90deg,var(--grn),var(--acc4),var(--red));border-radius:4px;transition:width .5s cubic-bezier(.2,.8,.2,1)}
.rlabs{display:flex;justify-content:space-between;font-size:8px;color:var(--dim);margin-top:3px}
.tip{margin-top:8px;font-size:9px;color:var(--dim);line-height:1.5;min-height:28px}

/* — ZONES TABLE — */
.ztable{width:100%;border-collapse:collapse}
.ztable th{font-size:8px;letter-spacing:.12em;color:var(--dim);text-transform:uppercase;text-align:right;padding:4px 7px;border-bottom:1px solid var(--bord)}
.ztable th:first-child{text-align:left}
.ztable td{padding:5px 7px;font-size:10px;text-align:right;border-bottom:1px solid rgba(27,47,72,.5)}
.ztable td:first-child{text-align:left;color:var(--dim)}
.ztable tr.hl td{background:rgba(0,229,255,.06);color:var(--bright)}
.ztable tr.hl td:first-child{color:var(--acc);font-weight:700}

/* — MODEL BOX — */
.mbox{background:var(--bg);border:1px solid var(--bord);border-radius:3px;padding:10px 13px;margin-top:10px;font-size:10px;line-height:1.8}
.mbox.eq{color:var(--acc4);font-size:11px}
.mbox.r2{color:var(--grn)}

/* — MINI BARS — */
.brow{display:flex;align-items:center;gap:7px;margin-bottom:5px}
.blbl{width:50px;font-size:9px;color:var(--dim);flex-shrink:0;text-align:right}
.btrk{flex:1;height:16px;background:var(--bg);border-radius:2px;overflow:hidden;position:relative}
.bfl{height:100%;border-radius:2px;transition:width .6s cubic-bezier(.2,.8,.2,1);position:relative}
.bfl::after{content:attr(data-v);position:absolute;right:5px;top:50%;transform:translateY(-50%);font-size:8px;color:rgba(255,255,255,.65)}

/* — REGRESSION PANEL — */
.stat-grid{display:grid;grid-template-columns:repeat(3,1fr);gap:8px;margin-top:10px}
.scard{background:var(--bg);border:1px solid var(--bord);border-radius:3px;padding:9px 12px;text-align:center}

```

```

.scard-v{font-family:'Unbounded',sans-serif;font-size:18px;font-weight:600;color:var(--acc)}
.scard-l{font-size:8px;color:var(--dim);letter-spacing:.1em;text-transform:uppercase;margin-top:3px}

/* — REGEN PANEL — */
.regen-row{display:flex;justify-content:space-between;padding:6px 0;border-bottom:1px solid rgba(27,47,72,.4);font-size:10px}
.regen-row:last-child{border:none}
.regen-lbl{color:var(--dim)}
.regen-val{color:var(--acc3);font-weight:600}

/* SCROLLBAR */
::-webkit-scrollbar{width:3px}::-webkit-scrollbar-track{background:var(--bg)}::-webkit-scrollbar-thumb{background:var(--bord);border-radius:2px}

/* FOOTER */
footer{border-top:1px solid var(--bord);padding:10px 28px;display:flex;justify-content:space-between;flex-wrap:wrap;gap:6px;font-size:8px;color:var(--dim);letter-spacing:.1em}
</style>
</head>
<body>
<div class="app">

<!-- HEADER -->
<header>
<div>
<div class="h-title">Бакалаврська кваліфікаційна робота · Спеціальність 174 · Автоматизація, КІТ та Робототехніка</div>
<div class="h-main">Підсистема оцінювання впливу швидкісного режиму<br>на енергоспоживання електромобіля</div>
</div>
<div class="badges">
<span class="badge on">● REAL DATA</span>
<span class="badge">Mitsubishi iMiEV</span>
<span class="badge">03.11.2021</span>
<span class="badge">1 106 записів · 2 сесії</span>
<span class="badge">OBDZero v4 · CAN/OBD</span>
</div>
</header>

<!-- KPI -->
<div class="kpi">
<div class="kcard">
<div class="kl">Оптим. швидкість</div>
<div class="kv green">36.6<span class="ku">км/год</span></div>
<div class="ks">min Wh/км по регресії</div>
</div>
<div class="kcard">
<div class="kl">Мін. Wh/км</div>
<div class="kv green">129.6<span class="ku">Wh/км</span></div>
<div class="ks">в оптимальній зоні</div>
</div>
<div class="kcard">
<div class="kl">R2 регресії W</div>
<div class="kv blue">0.972</div>
<div class="ks">поліном 2-го степеня</div>
</div>
<div class="kcard">
<div class="kl">Приріст при 80 км/год</div>
<div class="kv orange">+63%<span class="ku">Wh/км</span></div>
<div class="ks">відносно оптимуму</div>
</div>
<div class="kcard">
<div class="kl">Рекуперація</div>
<div class="kv" style="color:var(--acc3)">452<span class="ku">Вт·год</span></div>
<div class="ks">~3.5 км еквівалент</div>
</div>
<div class="kcard">
<div class="kl">Запас ходу (SoC 43%)</div>
<div class="kv blue">33-34<span class="ku">км</span></div>
<div class="ks">калібровано за OBD RR</div>
</div>
<div class="kcard">
<div class="kl">Міськ. цикл k-фактор</div>
<div class="kv orange">1.35×</div>
<div class="ks">vs фіз.модель (steady)</div>
</div>
</div>

<!-- MAIN -->
<div class="main">

```

```

<div class="lcol">

<!-- TABS -->
<div class="tabs">
  <button class="tbtn act" onclick="switchTab('tl',this)">Часовий ряд</button>
  <button class="tbtn" onclick="switchTab('reg',this)">Регресійна модель</button>
  <button class="tbtn" onclick="switchTab('phys',this)">Фіз.модель vs вимір</button>
  <button class="tbtn" onclick="switchTab('rng',this)">Запас ходу</button>
  <button class="tbtn" onclick="switchTab('regen',this)">Рекуперація</button>
</div>

<!-- TAB: TIMELINE -->
<div id="tab-tl" class="tcont act panel">
  <div class="ph">
    <span class="pt">Часові ряди параметрів поїздки</span>
    <span class="pi" id="tl-info">Наведіть курсор</span>
  </div>
  <canvas id="c-tl" height="230"></canvas>
  <div class="leg">
    <div class="li"><div class="ld" style="background:#00e5ff"></div>Швидкість (км/год, шкала 0–100)</div>
    <div class="li"><div class="ld" style="background:#ff6b35"></div>Потужність АКБ (±100 Вт)</div>
    <div class="li"><div class="ld" style="background:#ffd60a"></div>SoC (%)</div>
    <div class="li"><div class="ld" style="background:#a855f7"></div>Запас ходу (км)</div>
  </div>
</div>

<!-- TAB: REGRESSION -->
<div id="tab-reg" class="tcont panel">
  <div class="ph">
    <span class="pt">Регресійна модель: Wh/км = f(швидкість)</span>
    <span class="pi">Поліном 2-го степеня, зважена МНК</span>
  </div>
  <canvas id="c-reg" height="260"></canvas>
  <div class="stat-grid">
    <div class="scard"><div class="scard-v" id="r2-val">0.79</div><div class="scard-l">R2 моделі</div></div>
    <div class="scard"><div class="scard-v" id="rmse-val">9.15</div><div class="scard-l">RMSE (Wh/км)</div></div>
    <div class="scard"><div class="scard-v" style="color:var(--grn)" id="opt-v-val">36.6</div><div class="scard-l">Оптим.
(км/год)</div></div>
  </div>
  <div class="mbox">
    <div>Рівняння регресії:</div>
    <div class="eq">Wh/км = 187.3 – 3.157·v + 0.0432·v2</div>
    <div style="margin-top:4px">Потужність АКБ:</div>
    <div class="eq">P[Вт] = –422.7 + 283.2·v – 2.162·v2</div>
    <div style="margin-top:4px"><span class="r2">R2(P) = 0.972</span> · n = 7 швидкісних зон · зважено по кількості
вимірювань</div>
  </div>
  <div class="leg" style="margin-top:8px">
    <div class="li"><div class="ld" style="background:#ffd60a"></div>Виміряні точки (середні по зонах)</div>
    <div class="li"><div class="ld" style="background:#00e5ff"></div>Крива регресії (Wh/км)</div>
    <div class="li"><div class="ld" style="background:#ff6b35"></div>Крива регресії (Вт, ±50)</div>
  </div>
</div>

<!-- TAB: PHYSICAL MODEL -->
<div id="tab-phys" class="tcont panel">
  <div class="ph">
    <span class="pt">Фізична модель руху vs вимірювання</span>
    <span class="pi">P = (Pкач + Раеро)/η + Рдод</span>
  </div>
  <canvas id="c-phys" height="260"></canvas>
  <div class="mbox">
    <b>Параметри моделі iMiEV:</b> m=1250кг · Cd=0.33 · A=1.96м2 · Cr=0.012 · η=0.877<br>
    <b>Міськ. к-фактор k=1.354</b> – калібровано за виміром при v=65км/год<br>
    <b>Відхилення:</b> при v<40км/год перевищення 66–213% – наслідок прискорень в міст.циклі<br>
    При v=65км/год: модель збігається з виміром (базова точка калібрування)
  </div>
  <div class="leg">
    <div class="li"><div class="ld" style="background:#ffd60a"></div>Виміряна потужність (середня по зонах)</div>
    <div class="li"><div class="ld" style="background:#a855f7"></div>Фіз.модель: steady-state</div>
    <div class="li"><div class="ld" style="background:#ff6b35"></div>Фіз.модель: скориг. (xk)</div>
  </div>
</div>

<!-- TAB: RANGE -->
<div id="tab-rng" class="tcont panel">
  <div class="ph">

```

```

<span class="pt">Прогноз запасу ходу від швидкісного режиму</span>
<span class="pi">E=4389 Вт·год (SoC=43.5%, 31.5Ah×330B×33.5%)</span>
</div>
<canvas id="c-rng" height="260"></canvas>
<div class="mbox">
<b>Алгоритм прогнозу:</b> RR[км] = E_доступна / Wh/км(v)<br>
<b>Оптимальна швидкість</b> 36.6 км/год → RR≈34 км (максимум)<br>
При 80 км/год запас ходу скорочується на <span style="color:var(--red)">38%</span> (34→21 км)<br>
<b>Фактичний RR</b> за OBD при старті: 33 км – підтверджує модель
</div>
<div class="leg">
<div class="li"><div class="ld" style="background:#00e5ff"></div>Прогноз запасу ходу (регресійна модель)</div>
<div class="li"><div class="ld" style="background:rgba(0,200,83,.7)"></div>Оптимальна зона</div>
</div>
</div>
<!-- TAB: REGEN -->
<div id="tab-regen" class="tcont panel">
<div class="ph">
<span class="pt">Аналіз рекуперативного гальмування</span>
<span class="pi">341 подія за 2 сесії</span>
</div>
<canvas id="c-regen" height="230"></canvas>
<div class="leg">
<div class="li"><div class="ld" style="background:#39ff14"></div>Рекуп. потужність по швидкісних зонах</div>
<div class="li"><div class="ld" style="background:#ff6b35"></div>Тягова потужність (для порівняння)</div>
</div>
<div style="margin-top:12px">
<div class="regen-row"><span class="regen-lbl">Кількість рекуп. подій</span><span class="regen-val">341</span></div>
<div class="regen-row"><span class="regen-lbl">Серед. рекуп. потужність</span><span class="regen-val">2 388
Вт</span></div>
<div class="regen-row"><span class="regen-lbl">Макс. рекуп. потужність</span><span class="regen-val">16 214
Вт</span></div>
<div class="regen-row"><span class="regen-lbl">Загальна рекуп. енергія</span><span class="regen-val">452.5
Вт·год</span></div>
<div class="regen-row"><span class="regen-lbl">Еквівалент пробігу</span><span class="regen-val">~3.5 км</span></div>
<div class="regen-row"><span class="regen-lbl">Частка від тягової (оцінка)</span><span class="regen-
val">~68.8%</span></div>
</div>
</div>
</div><!-- /lcol -->
<!-- RIGHT COLUMN -->
<div class="rcol">
<!-- SIMULATOR -->
<div class="sim">
<div class="pt" style="margin-bottom:10px">© Симулятор швидкісного режиму</div>
<div class="spd-row">
<div class="spd-n" id="sv">50</div>
<div class="spd-u">км/год</div>
</div>
<input type="range" id="sl" min="0" max="86" value="50" oninput="updateSim(this.value)" style="--pct:58%">
<div class="pgrid">
<div class="pc"><div class="pcl">Потужність АКБ</div><div class="pcv b" id="pw"></div></div>
<div class="pc"><div class="pcl">Питомі витрати</div><div class="pcv" id="pwh"></div></div>
<div class="pc"><div class="pcl">Запас ходу</div><div class="pcv" id="prr"></div></div>
<div class="pc"><div class="pcl">Ефективність</div><div class="pcv" id="pef"></div></div>
</div>
<div class="rbar"><div class="rfill" id="rfill" style="width:50%"></div></div>
<div class="rlabs"><span>33 км</span><span>Запас ходу</span><span>34 км</span></div>
<div class="tip" id="stip"></div>
</div>
<!-- ZONES TABLE -->
<div class="panel" style="flex:1">
<div class="ph"><span class="pt">Швидкісні зони</span><span class="pi">зважені Wh/км</span></div>
<table class="ztable">
<thead><tr><th>Зона</th><th>Вт</th><th>Wh/км</th><th>n</th></tr></thead>
<tbody id="ztbody"></tbody>
</table>
<div style="margin-top:16px">
<div class="pt" style="margin-bottom:8px">Wh/км по зонах</div>
<div id="wh-bars"></div>
</div>

```

```

<div style="margin-top:16px">
  <div class="pt" style="margin-bottom:8px">Вплив швидкості на пробіг</div>
  <div id="rr-bars"></div>
</div>
</div><!-- /rcol -->
</div><!-- /main -->

<footer>
<span>Дані: OBDZero v4.0 · Mitsubishi iMiEV/CZero/iOn · АКБ 16кВт·год / 50Аг · Остava, 03.11.2021</span>
<span>Спеціальність 174 Автоматизація, КІТ та Робототехніка</span>
</footer>
</div>

<script>
// — DATA —————
const MD = {"speeds": .....};

const TIPS = {
0: 'Стоянка: допоміжне навантаження ~350 Вт (12В система)',
10: 'Низька швидкість: часті прискорення знижують ефективність',
20: 'Хороша зона: прискорення менші, рекуперація активна',
30: '★ Оптимальна зона 30–40 км/год: мінімум 129–130 Wh/км',
40: 'Субоптимально: аеродин.опір зростає пропорційно v³',
50: 'Помітне зростання витрат через квадратичний закон опору',
60: 'Рекомендується знизити: +18% до витрат vs оптимум',
70: 'Значні втрати: +37–63% від оптимуму, скор.пробіг на 25–38%',
80: 'Максимальна швидкість: мінімальний запас ходу ~21 км',
};

// — HELPERS —————
function interp(speeds, vals, v) {
const n = speeds.length;
for (let i=0;i<n-1;i++) {
if (v>=speeds[i] && v<=speeds[i+1]) {
const t=(v-speeds[i])/(speeds[i+1]-speeds[i]);
return vals[i]*(1-t)+vals[i+1]*t;
}
}
return vals[n-1];
}
function cls(v,g,w) { return v<=g?'g':v<=w?'w':'r'; }

// — SIMULATOR —————
function updateSim(v) {
v = parseFloat(v);
const pct = (v/86)*100;
document.getElementById('sl').style.setProperty('--pct', pct+'%');
document.getElementById('sv').textContent = Math.round(v);

const predW = Math.max(0, interp(MD.speeds, MD.w_reg, v));
const predWh = Math.max(0, interp(MD.speeds, MD.wh_reg, v));
const predRR = predWh>0 ? MD.usable_wh/predWh : 0;
const optWh = MD.opt_wh_reg;
const effPct = predWh>0 ? Math.round(optWh/predWh*100) : 0;
const rrPct = Math.min(100,(predRR/34)*100);

document.getElementById('pw').textContent = predW>0 ? (predW/1000).toFixed(1)+' кВт' : '-';
const wEl=document.getElementById('pwh');
wEl.textContent = predWh>0 ? Math.round(predWh)+' Wh/км' : '-';
wEl.className='pcv '+cls(predWh,130,160);
const rEl=document.getElementById('prr');
rEl.textContent = predRR>0 ? Math.round(predRR)+' км' : '-';
rEl.className='pcv '+cls(predRR,30,20,'inv');
// invert: higher is better
rEl.className='pcv '+((predRR>=30?'g':predRR>=22?'w':'r'));
const eEl=document.getElementById('pef');
eEl.textContent = effPct+'%';
eEl.className='pcv '+((effPct>=90?'g':effPct>=75?'w':'r'));
document.getElementById('rfill').style.width=rrPct+'%';

const tipKey=Object.keys(TIPS).reverse().find(k=>v>=parseInt(k))||0;
document.getElementById('stip').textContent='⓪ '+TIPS[tipKey];

document.querySelectorAll('#tbody tr').forEach(tr=>{

```

```

    tr.classList.remove('hl');
    const z=tr.dataset.z?JSON.parse(tr.dataset.z):null;
    if(z&&v>=z.lo&&v<z.hi) tr.classList.add('hl');
  });
}

// — ZONES TABLE —————
function buildZones() {
  const tb = document.getElementById('tbody');
  BINS.forEach(b=>{
    const tr=document.createElement('tr');
    tr.dataset.z=JSON.stringify({lo:b.lo,hi:b.hi});
    const wCol = b.avgWhkm<130?'var(--grn)':b.avgWhkm<160?'var(--acc4)':'var(--red)';
    tr.innerHTML=<td>${b.lo}-${b.hi}</td><td>${b.avgW.toLocaleString('uk')}</td><td style="color:${wCol}">${b.avgWhkm}</td><td style="color:var(--dim)">${b.n}</td></td>;
    tb.appendChild(tr);
  });
}

function buildBars(id, vals, maxVal, col, suffix) {
  const el=document.getElementById(id);
  el.innerHTML=BINS.map(b=>{
    const v=vals(b), pct=(v/maxVal*100).toFixed(1);
    const c=typeof col==='function'?col(b):col;
    return <div class="brow"><div class="lbl">${b.lo}-${b.hi}</div><div class="btrk"><div class="bfl" style="width:${pct}%;background:${c}" data-v="${Math.round(v)}${suffix}"></div></div></div>;
  }).join("");
}

// — CANVAS HELPERS —————
function setupCanvas(id, h) {
  const c=document.getElementById(id);
  c.width=c.parentElement.offsetWidth-44;
  c.height=h;
  return {c, ctx:c.getContext('2d'), W:c.width, H:h};
}

function drawGrid(ctx,pad,W,H,nx,ny) {
  ctx.strokeStyle=rgba(27,47,72,.5);ctx.lineWidth=1;
  for(let i=0;i<ny;i++){const y=pad.t+(H-pad.t-pad.b)/ny*i;ctx.beginPath();ctx.moveTo(pad.l,y);ctx.lineTo(W-pad.r,y);ctx.stroke();}
  for(let i=0;i<nx;i++){const x=pad.l+(W-pad.l-pad.r)/nx*i;ctx.beginPath();ctx.moveTo(x,pad.t);ctx.lineTo(x,H-pad.b);ctx.stroke();}
}

function drawLine(ctx,xs,ys,color,lw,pad,W,H,maxX,minX,maxY,minY=0) {
  const cw=W-pad.l-pad.r, ch=H-pad.t-pad.b;
  const xRange=maxX-minX, yRange=maxY-minY;
  ctx.beginPath();ctx.strokeStyle=color;ctx.lineWidth=lw;
  let first=true;
  for(let i=0;i<xs.length;i++){
    if(xs[i]==null||ys[i]==null){first=true;continue;}
    const x=pad.l+(xs[i]-minX)/xRange*cw;
    const y=pad.t+ch-(ys[i]-minY)/yRange*ch;
    if(first){ctx.moveTo(x,y);first=false;}else ctx.lineTo(x,y);
  }
  ctx.stroke();
}

function yLabel(ctx,pad,H,min,max,steps,fmt,right=false) {
  ctx.fillStyle=rgba(74,106,138,.85);ctx.font='9px JetBrains Mono';
  ctx.textAlign=right?'left':'right';
  for(let i=0;i<=steps;i++){
    const v=min+(max-min)/steps*i;
    const y=pad.t+(H-pad.t-pad.b)/steps*(steps-i);
    ctx.fillText(fmt(v), right?W-pad.r+4:pad.l-5, y+4);
  }
}

function xLabel(ctx,pad,W,H,min,max,steps,fmt) {
  ctx.fillStyle=rgba(74,106,138,.85);ctx.font='9px JetBrains Mono';ctx.textAlign='center';
  for(let i=0;i<=steps;i++){
    const v=min+(max-min)/steps*i;
    const x=pad.l+(W-pad.l-pad.r)/steps*i;
    ctx.fillText(fmt(v), x, H-3);
  }
}

// — CHART: TIMELINE —————
function drawTLO {

```

```

const {c,ctx,W,H}=setupCanvas('c-tl',230);
const pad={t:18,r:12,b:28,l:44};
const cw=W-pad.l-pad.r, ch=H-pad.t-pad.b;
const n=TL.t.length;
ctx.clearRect(0,0,W,H);
drawGrid(ctx,pad,W,H,8,4);

const maxSpd=100,maxW=20000;

// Speed fill
ctx.beginPath();ctx.fillStyle='rgba(0,229,255,.07)';
for(let i=0;i<n;i++){
  const x=pad.l+(i/(n-1))*cw, y=pad.t+ch-((TL.spd[i]||0)/maxSpd)*ch;
  if(i===0) ctx.moveTo(x,pad.t+ch);
  ctx.lineTo(x,y);
}
ctx.lineTo(pad.l+cw,pad.t+ch);ctx.closePath();ctx.fill();

// Lines
const lines=[
  {arr:TL.rr, max:80, col:'rgba(168,85,247,.8)', lw:1.5},
  {arr:TL.soc, max:100, col:'rgba(255,214,10,.8)', lw:1.5},
  {arr:TL.w.map(v=>Math.max(0,v)/100), max:maxW/100, col:'rgba(255,107,53,.85)', lw:1.5},
  {arr:TL.spd, max:maxSpd, col:'rgba(0,229,255,1)', lw:2},
];
lines.forEach(l=>{
  ctx.beginPath();ctx.strokeStyle=l.col;ctx.lineWidth=l.lw;
  let first=true;
  for(let i=0;i<n;i++){
    const v=l.arr[i];if(v===null){first=true;continue;}
    const x=pad.l+(i/(n-1))*cw, y=pad.t+ch-(v/l.max)*ch;
    if(first){ctx.moveTo(x,y);first=false;}else ctx.lineTo(x,y);
  }
  ctx.stroke();
});

// X labels
ctx.fillStyle='rgba(74,106,138,.8)';ctx.font='9px JetBrains Mono';ctx.textAlign='center';
for(let i=0;i<=8;i++){const idx=Math.floor((i/8)*(n-1));ctx.fillText(TL.t[idx],pad.l+(idx/(n-1))*cw,H-4);}
// Y label
ctx.textAlign='right';
for(let i=0;i<=4;i++){ctx.fillText(Math.round(((i-1)/4)*maxSpd),pad.l-5,pad.t+(ch/4)*i+4);}

// Hover
c.onmousemove=e=>{
  const rect=c.getBoundingClientRect();
  const idx=Math.round(((e.clientX-rect.left-pad.l)/cw)*(n-1));
  if(idx<0||idx>=n) return;
  drawTL();
  const x=pad.l+(idx/(n-1))*cw;
  ctx.strokeStyle='rgba(255,255,255,.25)';ctx.lineWidth=1;ctx.setLineDash([3,3]);
  ctx.beginPath();ctx.moveTo(x,pad.t);ctx.lineTo(x,pad.t+ch);ctx.stroke();ctx.setLineDash([]);
  document.getElementById('tl-info').textContent=
    `${TL.t[idx]} | ${TL.spd[idx]||0} км/год | ${((TL.w[idx]||0)/1000).toFixed(1)} κВт | SoC ${TL.soc[idx]||'-'}% | RR ${TL.rr[idx]||'-'}
км';
};
c.onmouseleave=()=>{drawTL();document.getElementById('tl-info').textContent='Наведіть курсор'};
}

// — CHART: REGRESSION —————
function drawReg() {
  const {c,ctx,W,H}=setupCanvas('c-reg',260);
  const pad={t:20,r:60,b:32,l:52};
  const cw=W-pad.l-pad.r, ch=H-pad.t-pad.b;
  ctx.clearRect(0,0,W,H);
  drawGrid(ctx,pad,W,H,9,5);

  const maxV=90, minWh=80, maxWh=260, minW=0, maxW=15000;

  // Draw Wh/km regression curve (left axis)
  ctx.shadowColor='#00e5ff';ctx.shadowBlur=6;
  drawLine(ctx,MD.speeds,MD.wh_reg,'rgba(0,229,255,.9)',2,pad,W,H,maxV,0,maxWh,minWh);
  ctx.shadowBlur=0;

  // Draw W/50 curve (left axis scaled)
  const wScaled=MD.w_reg.map(v=>minWh+(v/maxW)*(maxWh-minWh));
  ctx.shadowColor='#ffb335';ctx.shadowBlur=4;

```

```

drawLine(ctx,MD.speeds,wScaled,'rgba(255,107,53,.7)',1.5,pad,W,H,maxV,0,maxWh,minWh);
ctx.shadowBlur=0;

// Measured bin points
const cvx=v=>pad.l+(v/maxV)*cw;
const cvy=v=>pad.t+ch-((v-minWh)/(maxWh-minWh))*ch;
MD.bins_v.forEach((v,i)=>{
  const wh=MD.bins_wh[i];
  ctx.beginPath();
  ctx.fillStyle='#ffd60a';
  ctx.shadowColor='#ffd60a';ctx.shadowBlur=8;
  ctx.arc(cvx(v),cvy(wh),5,0,Math.PI*2);ctx.fill();
  ctx.shadowBlur=0;
  // error bar style label
  ctx.fillStyle='rgba(255,214,10,.7)';ctx.font='9px JetBrains Mono';ctx.textAlign='center';
  ctx.fillText(wh.toFixed(0),cvx(v),cvy(wh)-10);
});

// Optimal point
const optV=MD.opt_v_reg, optWh=MD.opt_wh_reg;
ctx.beginPath();ctx.arc(cvx(optV),cvy(optWh),7,0,Math.PI*2);
ctx.strokeStyle='var(--grn)';ctx.lineWidth=2;ctx.stroke();
ctx.fillStyle='rgba(0,200,83,.2)';ctx.fill();
ctx.fillStyle='var(--grn)';ctx.font='bold 9px JetBrains Mono';ctx.textAlign='left';
ctx.fillText('★ Опт: ${optV} км/год',cvx(optV)+10,cvy(optWh)+4);

// Axes
ctx.fillStyle='rgba(74,106,138,.85)';ctx.font='9px JetBrains Mono';
ctx.textAlign='right';
[80,100,120,140,160,180,200].forEach(v=>{ctx.fillText(v,pad.l-5,cvy(v)+3)});
ctx.textAlign='center';
[0,10,20,30,40,50,60,70,80,90].forEach(v=>{ctx.fillText(v,cvx(v),H-4)});
// Right axis (W)
ctx.textAlign='left';
[0,3000,6000,9000,12000,15000].forEach(v=>{
  const y=pad.t+ch-((v/maxW)*(maxWh-minWh)/(maxWh-minWh))*ch;
  ctx.fillText((v/1000).toFixed(0)+'кВт',W-pad.r+5,pad.t+ch-((v/maxW))*ch+3);
});
}

// — CHART: PHYSICAL MODEL —————
function drawPhys() {
  const {c,ctx,W,H}=setupCanvas('c-phys',260);
  const pad={t:20,r:12,b:32,l:52};
  const cw=W-pad.l-pad.r, ch=H-pad.t-pad.b;
  ctx.clearRect(0,0,W,H);
  drawGrid(ctx,pad,W,H,9,5);

  const maxV=90, maxW=16000;
  const cvx=v=>pad.l+(v/maxV)*cw;
  const cvy=v=>pad.t+ch-(v/maxW)*ch;

  // Phys steady line
  drawLine(ctx,MD.speeds,MD.wh_phys.map(v=>v*maxW/280),'rgba(168,85,247,.7)',1.5,pad,W,H,maxV,0,maxW);
  // Phys adjusted
  ctx.shadowColor='#ffb335';ctx.shadowBlur=6;
  drawLine(ctx,MD.speeds,MD.w_phys_adj,'rgba(255,107,53,.85)',2,pad,W,H,maxV,0,maxW);
  ctx.shadowBlur=0;
  // Measured bars
  MD.bins_v.forEach((v,i)=>{
    const bw=cw/10*0.6;
    const bh=cvy(0)-cvy(MD.bins_w[i]);
    ctx.fillStyle='rgba(255,214,10,.3)';
    ctx.strokeStyle='rgba(255,214,10,.8)';ctx.lineWidth=1;
    ctx.fillRect(cvx(v)-bw/2,cvy(MD.bins_w[i]),bw,bh);
    ctx.strokeRect(cvx(v)-bw/2,cvy(MD.bins_w[i]),bw,bh);
    ctx.fillStyle='rgba(255,214,10,.8)';ctx.font='9px JetBrains Mono';ctx.textAlign='center';
    ctx.fillText((MD.bins_w[i]/1000).toFixed(1),cvx(v),cvy(MD.bins_w[i])-4);
  });

  // Axes
  ctx.fillStyle='rgba(74,106,138,.85)';ctx.font='9px JetBrains Mono';
  ctx.textAlign='right';
  [0,4000,8000,12000,16000].forEach(v=>{ctx.fillText((v/1000).toFixed(0)+'кВт',pad.l-5,cvy(v)+3)});
  ctx.textAlign='center';
  [0,10,20,30,40,50,60,70,80,90].forEach(v=>{ctx.fillText(v,cvx(v),H-4)});
}

```

```

// — CHART: RANGE —————
function drawRng() {
  const {c,ctx,W,H}=setupCanvas('c-rng',260);
  const pad={t:20,r:12,b:32,l:44};
  const cw=W-pad.l-pad.r, ch=H-pad.t-pad.b;
  ctx.clearRect(0,0,W,H);
  drawGrid(ctx,pad,W,H,9,5);

  // Compute range curve
  const rrCurve=MD.wh_reg.map((wh,i)=>wh>50?MD.usable_wh/wh:0);
  const maxV=90, maxRR=40;
  const cvx=v=>pad.l+(v/maxV)*cw;
  const cvy=v=>pad.t+ch-(v/maxRR)*ch;

  // Optimal zone fill
  ctx.fillStyle='rgba(0,200,83,.08)';
  ctx.fillRect(cvx(25),pad.t,cvx(50)-cvx(25),ch);

  // Curve fill
  ctx.beginPath();ctx.fillStyle='rgba(0,229,255,.07)';
  MD.speeds.forEach((v,i)=>{
    const rr=rrCurve[i];
    if(i===0) ctx.moveTo(cvx(v),pad.t+ch);
    ctx.lineTo(cvx(v),cvy(rr));
  });
  ctx.lineTo(cvx(MD.speeds[MD.speeds.length-1]),pad.t+ch);ctx.closePath();ctx.fill();

  ctx.shadowColor='#00e5ff';ctx.shadowBlur=8;
  drawLine(ctx,MD.speeds,rrCurve,'rgba(0,229,255,.9)',2,pad,W,H,maxV,0,maxRR);
  ctx.shadowBlur=0;

  // Optimal marker
  const optRR=MD.usable_wh/MD.opt_wh_reg;
  ctx.beginPath();ctx.arc(cvx(MD.opt_v_reg),cvy(optRR),6,0,Math.PI*2);
  ctx.strokeStyle='#00c853';ctx.lineWidth=2;ctx.stroke();
  ctx.fillStyle='rgba(0,200,83,.15)';ctx.fill();
  ctx.fillStyle='#00c853';ctx.font='bold 9px JetBrains Mono';ctx.textAlign='left';
  ctx.fillText('★ {optRR.toFixed(0)} км @ ${MD.opt_v_reg}км/год',cvx(MD.opt_v_reg)+9,cvy(optRR)+4);

  // Axes
  ctx.fillStyle='rgba(74,106,138,.85)';ctx.font='9px JetBrains Mono';
  ctx.textAlign='right';
  [0,10,20,30,40].forEach(v=>{ctx.fillText(v+' км',pad.l-5,cvy(v)+3)});
  ctx.textAlign='center';
  [0,10,20,30,40,50,60,70,80,90].forEach(v=>{ctx.fillText(v,cvx(v),H-4)});

  // Hover
  c.onmousemove=e=>{
    const rect=c.getBoundingClientRect();
    const mx=e.clientX-rect.left;
    const v=((mx-pad.l)/cw)*maxV;
    const idx=MD.speeds.findIndex(s=>s>=v);
    if(idx<0) return;
    const rr=rrCurve[idx];
    drawRng();
    ctx.strokeStyle='rgba(255,255,255,.2)';ctx.lineWidth=1;ctx.setLineDash([3,3]);
    ctx.beginPath();ctx.moveTo(cvx(MD.speeds[idx]),pad.t);ctx.lineTo(cvx(MD.speeds[idx]),pad.t+ch);ctx.stroke();
    ctx.setLineDash([]);
    ctx.fillStyle='rgba(0,229,255,.9)';ctx.font='bold 10px JetBrains Mono';ctx.textAlign='center';
    ctx.fillText(`${MD.speeds[idx].toFixed(0)} км/год → ${rr.toFixed(0)} км',cvx(MD.speeds[idx]),pad.t+14);
  };
  c.onmouseleave=()=>drawRng();
}

// — CHART: REGEN —————
function drawRegen() {
  const {c,ctx,W,H}=setupCanvas('c-regen',230);
  const pad={t:20,r:12,b:32,l:52};
  const cw=W-pad.l-pad.r, ch=H-pad.t-pad.b;
  ctx.clearRect(0,0,W,H);
  drawGrid(ctx,pad,W,H,BINS.length,4);

  const n=BINS.length, bw=cw/n*0.35;
  const maxW=14000;
  BINS.forEach((b,i)=>{
    const x=pad.l+(i/n)*cw+bw*0.2;

```

```

// Traction bar
const th=(b.avgW/maxW)*ch;
ctx.fillStyle='rgba(255,107,53,.25)';ctx.strokeStyle='rgba(255,107,53,6)';ctx.lineWidth=1;
ctx.fillRect(x,pad.t+ch-th,bw,th);ctx.strokeRect(x,pad.t+ch-th,bw,th);
// Regen bar (side by side)
const rh=(Math.min(b.avgRegenW,maxW)/maxW)*ch;
ctx.fillStyle='rgba(57,255,20,.3)';ctx.strokeStyle='rgba(57,255,20,.7)';
ctx.fillRect(x+bw+2,pad.t+ch-rh,bw,rh);ctx.strokeRect(x+bw+2,pad.t+ch-rh,bw,rh);
// Label
ctx.fillStyle='rgba(74,106,138,.8)';ctx.font='9px JetBrains Mono';ctx.textAlign='center';
ctx.fillText(b.lo+'-'+b.hi, x+bw, H-4);
ctx.fillStyle='rgba(57,255,20,.8)';
ctx.fillText((b.avgRegenW/1000).toFixed(1),x+bw+2+bw/2,pad.t+ch-rh-4);
});

ctx.fillStyle='rgba(74,106,138,.85)';ctx.font='9px JetBrains Mono';
ctx.textAlign='right';
[0,4,8,12].forEach(v=>{ctx.fillText(v+'κBτ',pad.l-5,pad.t+ch-(v*1000/maxW)*ch+3);});
}

// — TAB SWITCH —————
const drawFns = {tl:drawTL, reg:drawReg, phys:drawPhys, rng:drawRng, regen:drawRegen};
function switchTab(name,btn) {
  document.querySelectorAll('.tcont').forEach(el=>el.classList.remove('act'));
  document.querySelectorAll('.tbtn').forEach(el=>el.classList.remove('act'));
  document.getElementById('tab-'+name).classList.add('act');
  btn.classList.add('act');
  setTimeout(()=>drawFns[name]&&drawFns[name](), 30);
}

// — INIT —————
window.addEventListener('load',()=>{
  buildZones();
  buildBars('wh-bars', b=>b.avgWhkm, 200,
    b=>b.avgWhkm<130?'#00c853':b.avgWhkm<160?'#ffd60a': '#ff3d3d', ' Wh');
  // Range bars: 20–80 km/h
  const rrBins=[20,30,40,50,60,70,80].map(v=>({
    lo:v, rr: MD.usable_wh / Math.max(100, interp(MD.speeds,MD.wh_reg,v))
  }));
  const maxRR=Math.max(...rrBins.map(b=>b.rr));
  const rrEl=document.getElementById('rr-bars');
  rrEl.innerHTML=rrBins.map(b=>{
    const pct=(b.rr/maxRR*100).toFixed(1);
    const col=b.rr>=32?'#00c853':b.rr>=25?'#ffd60a': '#ff3d3d';
    return `<div class="brow"><div class="blbl">${b.lo} км/год</div><div class="btrk"><div class="bfl"
style="width:${pct}%;background:${col}" data-v="${b.rr.toFixed(0)} км"></div></div></div>`;
  }).join("");

  drawTL();
  updateSim(50);

  let rt;
  window.addEventListener('resize',()=>{
    clearTimeout(rt);
    rt=setTimeout(()=>{
      const act=document.querySelector('.tcont.act');
      if(act){const id=act.id.replace('tab-',");drawFns[id]&&drawFns[id]();}
    },120);
  });
});
</script>
</body>
</html>

```

## ДОДАТОК В

### РЕЗУЛЬТАТИ ЗГЕНЕРОВАНОГО ЗВІТУ

#### Підсистема оцінювання впливу швидкісного режиму на енергоспоживання електромобіля

Кваліфікаційна робота бакалавра · Спеціальність 174 — Автоматизація, КІТ та Робототехніка

Автомобіль: **Mitsubishi iMiEV** · Дата збору даних: **03.11.2021** · Інструмент: OBDZero v4.0 (Android, Bluetooth CAN/OBD)

Обсяг даних: **1106 записів**, 2 їздові сесії (16:45–17:16 та 17:20–17:51), 7 файлів типів: OBD, Calc, Cells, CellTemperatures, Info, PID, PIDInt

#### 1. Структура вхідних даних та попередня обробка

OBDZero збирає дані у форматі довгої таблиці (Time; Parameter; Value) у семіколон-розділених .txt файлах. Для аналізу виконується pivot-перетворення, фільтрація усталених режимів руху та обчислення похідних величин.

```
IN [1] DATA_LOADING.PY

import pandas as pd
import numpy as np
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
from sklearn.metrics import r2_score

# Завантаження та об'єднання двох OBD-сесій
FILES = ['OBD_2021_11_03_16_45_51.txt', 'OBD_2021_11_03_17_20_22.txt']

def load_obd(path):
    df = pd.read_csv(path, sep=';', parse_dates=['Time'])
    return df.pivot_table(index='Time', columns='Parameter',
                          values='Value', aggfunc='first')

df = pd.concat([load_obd(f) for f in FILES]).sort_index()

# Обчислення похідних величин
df['Watts'] = df['BatteryV'] * df['BatACalOut'] # P = U * I
df['AuxWatts'] = df['BatteryV'] * (df['HeaterA'] + df['ACAmps'] + df['Charge12Amps'])
df['TractWatts'] = df['Watts'] - df['AuxWatts']

# Фільтр усталеного режиму руху (v>5, P>200W, немає рекуперації)
df_drive = df[(df['Speed']>5) & (df['Watts']>200) & (df['RegenA']>-1)].copy()
df_drive['Wh_km'] = df_drive['Watts'] / df_drive['Speed']

Out [1]

Загальна кількість записів: 1 106
Записи руху (фільтровані): 226
Швидкісний діапазон: 6 - 66 км/год
Параметри: Speed, BatteryV, BatACalOut, HeaterA, ACAmps, RegenA, SoC1, SoC2, MotorRPM, RestRange, BatteryT, BatteryTmax...
```

## 2. Аналіз залежності від швидкості

Вимірювання згруповано у 7 швидкісних зон. По кожній зоні обчислено зважені середні значення потужності та питомого споживання.



Зведена таблиця по швидкісних зонах

Зона, км/год	n	Сер. потужність, Вт	Wh/км	Сер. SoC, %	Примітка
0-10	257	1,041	175.8	60.6	прискорення, стоп-старт
10-20	62	2,744	133.0	55.3	перехідний режим
20-30	50	5,267	129.4	56.3	добра ефективність
30-40	95	6,898	125.4	55.3	★ ОПТИМУМ
40-50	71	7,532	147.9	55.5	субоптимально
50-60	45	10,316	156.3	56.1	аеродин. опір зростає
60-70	62	8,198	153.6	58.0	висока швидкість

## 3. Регресійна модель (МНК, поліном 2-го степеня)

$$\text{Wh/км} = 187.3 - 3.157 \cdot v + 0.0432 \cdot v^2 \quad (R^2 = 0.7935, \text{RMSE} = 9.15 \text{ Wh/км})$$

$$P[\text{Вт}] = -422.7 + 283.2 \cdot v - 2.162 \cdot v^2 \quad (R^2 = 0.9718)$$

$R^2=0.972$  для моделі потужності підтверджує квадратичну природу залежності. Мінімум Wh/км при  $v^*=36.6$  км/год відповідає балансу між низькою аеродинамікою на великих швидкостях та неефективністю стоп-старту на малих.

```
IN [2] REGRESSION.PY  
  
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures  
from sklearn.linear_model import LinearRegression  
from sklearn.metrics import r2_score, mean_squared_error  
  
# Агреговані дані (середні по зонах), зважені на кількість вимірювань  
v_bins = np.array([5, 15, 25, 35, 45, 55, 65])  
wh_bins = np.array([175.8, 133.0, 129.4, 125.4, 147.9, 156.3, 153.6])  
w_bins = np.array([1041, 2744, 5267, 6898, 7532, 10316, 8198])  
weights = np.array([257, 62, 50, 95, 71, 45, 62])  
  
poly = PolynomialFeatures(degree=2)  
X = poly.fit_transform(v_bins.reshape(-1,1))  
reg_wh = LinearRegression().fit(X, wh_bins, sample_weight=weights)  
reg_w = LinearRegression().fit(X, w_bins, sample_weight=weights)  
  
# Оптимальна швидкість = мінімум Wh/км  
v_range = np.linspace(5, 90, 2000)  
wh_curve = reg_wh.predict(poly.transform(v_range.reshape(-1,1)))  
v_opt = v_range[np.argmin(wh_curve)]  
wh_opt = wh_curve.min()  
print(f"R² (Wh/км)={r2_score(wh_bins, reg_wh.predict(X), sample_weight=weights):.4f}, R² (W)=  
{r2_score(w_bins, reg_w.predict(X), sample_weight=weights):.4f}")  
print(f"Оптим. швидкість: {v_opt:.1f} км/год → {wh_opt:.1f} Wh/км")
```

Out [2]

R² (Wh/км)=0.7935, R² (W)=0.9718  
Оптим. швидкість: 36.6 км/год → 129.6 Wh/км

#### 4. Фізична модель руху та верифікація

$$P_{\text{заг}} = (m \cdot g \cdot C_r \cdot v + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^3) / \eta \cdot k + P_{\text{доп}}$$

Параметри:  $m=1250$  кг,  $C_d=0.33$ ,  $A=1.96$  м<sup>2</sup>,  $C_r=0.012$ ,  $\eta=0.877$ ,  $P_{\text{доп}}=350$  Вт,  $k=1.354$  (міськ. к-фактор)

**Ключова знахідка:** відхилення моделі від виміру 66–213% при  $v < 55$  км/год пояснюється прискореннями у міському циклі. При  $v=65$  км/год модель збігається з виміром — базова точка калібрування.

#### 5. Прогноз запасу ходу

Верифікація: OBD-показник RestRange=33 км при старті сесії збігається з прогнозом моделі (33.9 км при 36.6 км/год) — похибка <3%.

Вплив швидкісного режиму на запас ходу ( $E_{\text{доступна}} = 4389$  Вт·год)

Швидкість, км/год	Wh/км	Відхил. від оптимуму	Запас ходу, км	Втрата пробігу, км
36.6	129.6	– (база)	33.9	–
30	131.5	+1.4%	33.4	-0.5
40	130.2	+0.4%	33.7	-0.2
50	137.5	+6.0%	31.9	-2.0
60	153.4	+18.3%	28.6	-5.3
70	178.1	+37.4%	24.6	-9.3
80	211.3	+63.0%	20.8	-13.1
90	253.1	+95.3%	17.3	-16.6

#### 6. Алгоритм рекомендації оптимального швидкісного режиму

- Обчислити доступну енергію:  $E = Cap\_Ah \times U_{\text{ном}} \times (SoC - 10\%) / 100$
- Для кожного  $v \in [v_{\text{min}}, v_{\text{max}}]$ : обчислити  $RR(v) = E / Wh\_km(v)$
- Серед  $v$  де  $RR(v) \geq d_{\text{ціль}}$ : обрати  $v^* = \text{argmin } Wh\_km(v)$
- Якщо мета недосяжна: рекомендувати  $v_{\text{min}}$  для максимізації дальності

Алгоритм верифіковано: при SoC=43.5% та дистанції до 33 км оптимальна швидкість 36.6 км/год забезпечує запас ходу 33.9 км — відповідає OBD RestRange=33 км.

## 6. Алгоритм рекомендації оптимального швидкісного режиму

1. Обчислити доступну енергію:  $E = Cap\_Ah \times U_{ном} \times (SoC - 10\%) / 100$
2. Для кожного  $v \in [v_{min}, v_{max}]$ : обчислити  $RR(v) = E / Wh\_km(v)$
3. Серед  $v$  де  $RR(v) \geq d_{ціль}$ : обрати  $v^* = \operatorname{argmin} Wh\_km(v)$
4. Якщо мета недосяжна: рекомендувати  $v_{min}$  для максимізації дальності

Алгоритм верифіковано: при SoC=43.5% та дистанції до 33 км оптимальна швидкість 36.6 км/год забезпечує запас ходу 33.9 км — відповідає OBD RestRange=33 км.

## 7. Аналіз рекуперативного гальмування

Статистика рекуперації (обидві сесії)

Параметр	Значення
Кількість рекуп. подій	341
Середня рекуп. потужність	2 388 Вт
Максимальна рекуп. потужність	16 214 Вт
Загальна рекупер. енергія	452.5 Вт·год
Еквівалент додаткового пробігу	~3.5 км (при 130 Wh/км)
Відношення рекуп./тягова (оцінка)	~68.8% (від записів з рекуп. моментами)

## 8. Висновки

1. **Оптимальна швидкість 36.6 км/год** забезпечує мінімальне питоме споживання 129.6 Wh/км за умов міської їзди (підтверджено регресійною моделлю  $R^2=0.79$ ).
2. **Збільшення швидкості до 80 км/год** підвищує питомі витрати на 63% та скорочує запас ходу з 34 до 21 км (-38%).
3. **Квадратична регресія потужності** ( $R^2=0.972$ ) підтверджує фізичну природу залежності: аеродинамічний опір  $\propto v^3$ , що домінує при  $v > 50$  км/год.
4. **Відхилення фіз. моделі 66–213%** при низьких швидкостях пояснюється прискореннями в міському циклі. Міський коефіцієнт  $k=1.354$  калібровано за реальними даними.
5. **Рекуперація** повернула 452.5 Вт·год (~3.5 км еквівалентного пробігу) за 2 сесії — суттєвий внесок у загальний енергобаланс.
6. **Алгоритм рекомендації швидкості** верифіковано на реальних даних: похибка прогнозу запасу ходу <3% відносно OBD-показника RestRange.