

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Удосконалення методики нормування витрати електроенергії
електробусом в умовах комунального підприємства «Вінницька транспортна
компанія»»

Виконав: студент 2-го курсу, групи
1АТ-22мз спеціальності 274 –
Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма –
Автомобільний транспорт

Маг Риженков А.І.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ

Смирнов Смирнов Є.В.

« 5 » 06 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. АТМ

Сабунек Сабунек А.В.

« 10 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

Цимбал к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« 2 » 06 2024 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 27 – Транспорт
Спеціальність – 274 – Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

«12» 03 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Риженкову Андрію Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення методики нормування витрати електроенергії електробусом в умовах комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія».

керівник роботи Смирнов Євгеній Валерійович, к.т.н., доцент,
затверджені наказом ВНТУ від «11» березня 2024 року № 81.

2. Строк подання студентом роботи: 03.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до організації експлуатації транспортних засобів (в т.ч. електробусів) на міських автобусних маршрутах (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі пасажирських автомобільних перевезень, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; рухомий склад та виробнича структура автобусного парку КП «Вінницька транспортна компанія»; показники виробничо-технічної бази автобусного парку КП «Вінницька транспортна компанія»; об'єкт дослідження – процес витрачання електроенергії електробусом під час руху на міському регулярному маршруті.

4. Зміст текстової частини:

1 Стан проблеми нормування витрати електроенергії електробусами. Аналіз функціонування КП «Вінницька транспортна компанія».

2 Теоретичне обґрунтування методики нормування витрати електроенергії електробусом.

3 Дослідження витрати електроенергії електробусом.

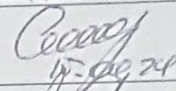
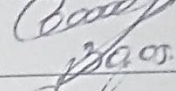
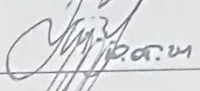
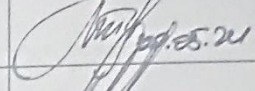
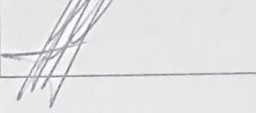
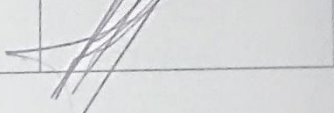
4 Аналіз результатів дослідження та шляхи їх практичного застосування

5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

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

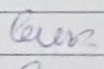
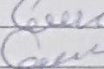
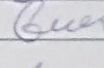
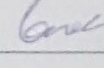
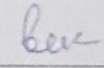
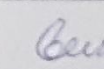
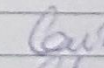
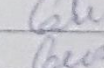
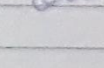
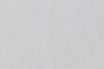
- 1-3 Тема, мета та завдання дослідження.
- 4 Тенденції впровадження електробусів
- 5 Характеристика автобусного парку КП «Вінницька транспортна компанія»
- 6 Фактори, що впливають на витрату електроенергії електробусом
- 7 Оцінка значущості факторів, що впливають на витрату електроенергії електробусом
- 8 Алгоритм нормування витрати електроенергії електробусом.
- 9 Результати дослідження витрати електроенергії електробусом.
- 10-11 Вплив швидкості сполучення і температури навколишнього середовища на витрату електроенергії електробусом.
- 12 Результати перевірки алгоритму нормування витрати електроенергії електробусом.
- 13 Вибір оптимального маршруту для експлуатації електробуса.
- 14 Висновки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

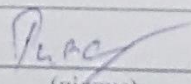
Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Смирнов Є.В., доцент кафедри АТМ	 17.05.24	 17.05.24
Визначення ефективності запропонованих рішень	Макарова Т.В., доцент кафедри АТМ	 17.05.24	 17.05.24
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Поліщук О.В., доцент кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « 12 » березня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

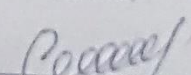
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	12.03-12.04.2024	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	12.03-12.04.2024	
3	Обґрунтування методів досліджень	12.03-12.04.2024	
4	Розв'язання поставлених задач	15.04-29.04.2024	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	30.04-14.05.2024	
6	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	15.05-30.05.2024	
7	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	15.05-30.05.2024	
8	Нормоконтроль МКР	31.05-03.06.2024	
9	Попередній захист МКР	04.06-05.06.2024	
10	Рецензування МКР	06.06-10.06.2024	
11	Захист МКР	11.06.2024	

Студент


(підпис)

Риженков А.І.

Керівник роботи


(підпис)

Смирнов Є.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 656.078

Риженков А.І. Удосконалення методики нормування витрати електроенергії електробусом в умовах комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, освітня програма – Автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2024. 99 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 40 назв; рис.: 20; табл. 27.

В магістерській кваліфікаційній роботі пророблено питання вдосконалення методики нормування витрати електроенергії електробусом на міських регулярних маршрутах шляхом врахування умов експлуатації. У розділі 1 проаналізовано особливості експлуатації електробусів та наявні підходи до нормування витрати електроенергії; проаналізовано стан виробничо-технічної бази автобусного парку КП «Вінницька транспортна компанія». В розділі 2 виконано теоретичне обґрунтування алгоритму нормування витрати електроенергії електробусом з урахуванням фактичних умов експлуатації. В розділі 3 виконано дослідження витрати електроенергії електробусом в залежності від швидкості сполучення і температури навколишнього середовища. В розділі 4 виконано обробку отриманих даних, що дозволило отримати числові значення для алгоритму нормування витрати електроенергії електробусом; на основі отриманих даних виконано порівняння ефективності експлуатації електробуса на різних маршрутах. В розділі охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях розроблено технічні рішення щодо техніки безпеки, виробничої санітарії, безпеки в надзвичайних ситуаціях при виконанні робіт.

Графічна частина складається з 14 плакатів.

Ключові слова: електробус, нормування витрати електроенергії, міський маршрут, умови експлуатації, експлуатаційні фактори.

ABSTRACT

UDC 656.078

Ryzhenkov A.I. Improvement of the method of normalization of electricity consumption by an electric bus in the conditions of the communal enterprise "Vinnitsa Transport Company". Master's qualification work in specialty 274 Automotive transport, educational program Automotive transport. Vinnytsia: VNTU, 20234. 99 p.

In Ukrainian Language. Bibliography: 40 titles; Fig.: 20; table 27.

In the master's qualification work, the issue of improving the method of normalizing electricity consumption on urban regular routes by considering operating conditions was worked out. In section 1, the features of electric bus operation and approaches to normalizing electricity consumption are analyzed; the condition of the production and technical base of the bus fleet of CE "Vinnytsia Transport Company" was analyzed. In section 2, the theoretical justification of the algorithm for normalization of electricity consumption by an electric bus, considering the actual operating conditions, is performed. In section 3, a study of electric power consumption by an electric bus depending on the coupling speed and ambient temperature was performed. In section 4, the processing of the obtained data was performed, which allowed to obtain numerical values for the algorithm of normalization of electricity consumption by electric buses; based on the obtained data, a comparison of the efficiency of the electric bus operation on different routes was made. In the section on occupational health and safety in emergency situations, technical solutions for safety techniques, industrial sanitation, and safety in emergency situations during work are developed.

The graphic part consists of 14 posters.

Key words: electric bus, regulation of electricity consumption, city route, operating conditions, operational factors.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 СТАН ПРОБЛЕМИ НОРМУВАННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОБУСАМИ. АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ КП «ВІННИЦЬКА ТРАНСПОРТНА КОМПАНІЯ»	7
1.1 Тенденції розвитку електробусів.....	7
1.2 Технічні характеристики електробусів та зарядної інфраструктури.....	9
1.3 Особливості експлуатації електробусів на регулярних міських маршрутах	14
1.4 Огляд досліджень у галузі розробки моделей витрати електроенергії електробусами	17
1.5 Загальна характеристика Комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія».....	21
1.6 Аналіз складу, структури і стану рухомого складу	22
1.7 Аналіз стану існуючої виробничо-технічної бази	24
1.8 Висновки	26
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ НОРМУВАННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОБУСОМ	27
2.1 Визначення важливих факторів, що впливають на витрата електроенергії електробусом	27
2.2 Розробка математичної моделі розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом	37
2.3 Математична модель впливу швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом.....	45
2.4 Удосконалення методики нормування витрати електричної енергії електробусом на міському регулярному маршруті	48
2.5 Висновки	52
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОБУСОМ	53
3.1 Передумови дослідження	53
3.2 Обробка отриманих даних.....	55
3.3 Результати експериментальних досліджень.....	58

	3
3.4 Висновки	63
4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ.....	64
4.1 Вплив швидкості сполучення на витрату електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті.....	64
4.2 Вплив температури навколишнього повітря на витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті	67
4.3 Спільний вплив швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом	70
4.4 Перевірка алгоритму нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті.....	73
4.5 Нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті.....	75
4.6 Вибір оптимального маршруту для експлуатації електробуса та визначення економічної ефективності	78
4.7 Висновки	82
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	83
5.1 небезпечні і шкідливі виробничі фактори	83
5.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	84
5.2.1 Мікроклімат	85
5.2.2 Повітря робочої зони	86
5.2.3 Опалення та вентиляція	87
5.2.4 Освітлення.....	88
5.2.5 Шум та вібрація.....	89
5.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи	90
5.4 Пожежна безпека.....	91
ВИСНОВКИ	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	95
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина	100
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	115

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту пов'язані з підвищенням екологічності транспортних засобів, що впливає на формування парку міського пасажирського громадського транспорту. Серед перспективних транспортних засобів виділяються електробуси. Це автомобільні транспортні засоби, що використовують тільки електромеханічний перетворювач енергії для руху і систему зберігання електричної енергії, що перезаряджається. Переваги електробуса перед автобусом з ДВС – екологічність у зоні експлуатації, перед тролейбусом – автономність, мобільність та маневреність.

Існуючі математичні моделі витрати електроенергії електробусом враховують вплив різних факторів: середньої швидкості руху транспортних засобів на перегоні, роботи допоміжного обладнання, кількості пунктів зупинки на маршруті, ухилу дорожнього полотна, довжини перегонів, часу простою на пунктах зупинки. Однак, взаємодія даних факторів та вихідного параметра досліджена недостатньо. Для реалізації наукового підходу до вирішення завдання нормування витрати електроенергії електробусом необхідно виявити закономірності його зміни з урахуванням умов експлуатації (техніко-експлуатаційних показників маршруту, природно-кліматичних факторів). Отримані результати стануть визначальним фактором для обґрунтованого вибору міського регулярного маршруту для експлуатації електробуса та організації на ньому зарядної інфраструктури з урахуванням графіків руху транспортних засобів та необхідних технологічних перерв на підзарядку.

Тому удосконалення методики нормування витрати електроенергії електробусом є важливим завданням, актуальність вирішення якого не викликає сумніву.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження по темі магістерської роботи належить до основних наукових напрямків кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент» Вінницького національного технічного університету.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності експлуатації електробуса на міському регулярному маршруті шляхом нормування витрати електроенергії.

Задачі магістерської кваліфікаційної роботи:

- провести аналіз існуючих методів та наукових підходів нормування витрати електроенергії електробусом;
- проаналізувати сучасний стан рухомого складу та виробничо-технічної бази КП «Вінницька транспортна компанія»;
- визначити найбільш важливі фактори, що впливають на витрату електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті;
- виявити закономірності впливу техніко-експлуатаційних показників маршруту та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом;
- розробити методику та математичну модель маршрутної норми витрати електроенергії електробусом, яка враховує вплив техніко-експлуатаційних показників маршруту та температури навколишнього повітря;
- проаналізувати практичну реалізацію методики при нормуванні витрати електроенергії електробусом в КП «Вінницька транспортна компанія» та визначити економічні показники експлуатації електробуса на різних маршрутах.

Об'єктом дослідження є процес витрачання електроенергії електробусом під час руху на міському регулярному маршруті.

Предметом дослідження є закономірності зміни витрати електроенергії електробусом з урахуванням впливу природно-кліматичних факторів та техніко-експлуатаційних показників маршруту.

Новизна роботи:

- отримано закономірності зміни витрати електроенергії електробусом, що враховують температуру навколишнього повітря та швидкість сполучення;
- отримано методику нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті, який враховує температуру навколишнього повітря та спільний вплив техніко-експлуатаційних показників маршруту.

Апробація результатів. Основні положення магістерської роботи апробовано на ІІІ науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ-2024).

Публікації. За результатами виконання магістерської кваліфікаційної роботи опубліковані 1 тези доповідей [1].



1 СТАН ПРОБЛЕМИ НОРМУВАННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОБУСАМИ. АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ КП «ВІННИЦЬКА ТРАНСПОРТНА КОМПАНІЯ»

1.1 Тенденції розвитку електробусів

Основним сучасним напрямом розвитку автотранспортної галузі є перехід до виробництва та експлуатації екологічно чистих транспортних засобів, до яких відносять електротранспорт. Станом на 1 січня 2021 р. чисельність даного парку у світі перевищила 11 млн од., що на 37,5 % більше ніж на 1 січня 2020 р [2]. Згідно з прогнозами міжнародного енергетичного агентства, кількість електромобілів до 2030 р. досягне 145 млн од., що становитиме 7% від сумарної чисельності парку автомобільного транспорту [2]. В даний час збільшення кількості електричних транспортних засобів зумовлене активним введенням органами влади заходів стимулювання, спрямованих на зниження викидів шкідливих речовин автомобільним транспортом, зокрема CO₂, в атмосферу. Реалізація цих заходів, зазвичай, здійснюється у кілька етапів, де однією з найважливіших є розвиток комерційного транспорту [2]. Станом на 1 січня 2021 р. лідером за чисельністю парку експлуатованих електричних транспортних засобів є Китай. Цьому сприяє введення в дію національного проекту просування та стимулювання нових енергетичних транспортних засобів, згідно з яким розроблено план енергозбереження та їх індустріалізації, 80% електричних транспортних засобів купується державою та муніципалітетами для перевезення пасажирів та багажу.

Введення в експлуатацію електричних транспортних засобів у галузі комерційних перевезень також представлено у програмах розвитку ринку електромобілів у Норвегії та США. Для його реалізації було запроваджено: норми щодо викидів шкідливих речовин в атмосферу, субсидування купівлі екологічно чистих транспортних засобів; інформаційні платформи щодо їх підтримки [3]. В результаті сумарна чисельність експлуатованого комерційного

електротранспорту, а саме електробусів, збільшується і на 1 січня 2021 року вона становила 16% світового автобусного парку, що представлено рис. 1.1.

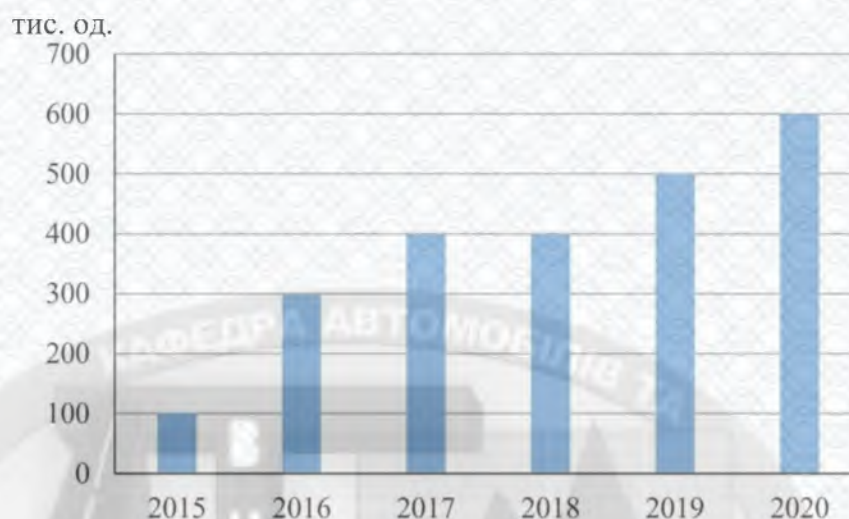


Рисунок 1.1 – Кількість електробусів, що експлуатується в світі

На даний час 98% парку електробусів експлуатується на території Китаю. Однак згідно з даними агентства Bloomberg до 2025 р. цей розподіл зміниться: близько 37% електробусів функціонуватимуть у Китаї, близько 34% – у Європі та близько 28% – в інших регіонах. При цьому темпи впровадження електробусів в експлуатацію будуть одними з найвищих порівняно з іншими видами електричних транспортних засобів, що представлено рис. 1.2.

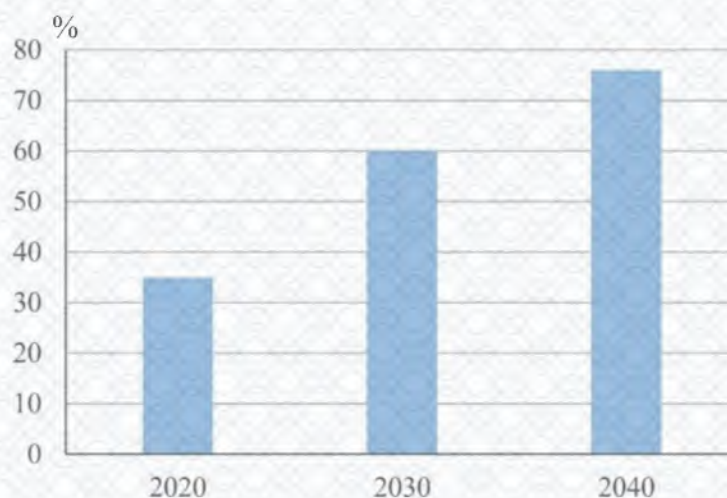


Рисунок 1.2 – Прогноз частки продажів електробусів в загальній кількості автобусів, що продаються

В Україні також наявна тенденція введення в експлуатацію електробусів. Однак ці транспортні засоби переважно функціонують на міських регулярних маршрутах у великих містах, а у інших обласних центрах зазвичай використовуються 1-2 електробуси. Це обумовлено високими капітальними витратами на організацію зарядної інфраструктури та придбання електробуса, технічними обмеженнями існуючих моделей транспортних засобів, що розглядаються, і відсутністю нормативно-правових актів у галузі їх експлуатації.

Обмеженість ємності системи зберігання електроенергії та значна тривалість її заряду є одними з основних технічних обмежень існуючих моделей електробусів, які на практиці викликають утруднення при виборі раціонального маршруту для експлуатації електробуса та розміщення на ньому зарядної інфраструктури.

1.2 Технічні характеристики електробусів та зарядної інфраструктури

На сьогодні існує кілька концепцій, які визначають особливості експлуатації електробусів, а також принципи організації зарядної інфраструктури:

- електробуси з тривалою нічною зарядкою, що мають значний запас автономного ходу, та можливість їх підзарядки на кінцевих пунктах зупинки під час перерв (ONC);
- електробуси з короткими зарядними сесіями, що виконуються на проміжних пунктах зупинки під час руху по маршруту (OC);
- електробуси із динамічною зарядкою (тролейбуси зі збільшеним автономним ходом) (IMC).

Вибір концепції, як правило, ґрунтується на існуючих особливостях організації транспортного обслуговування населення на території міста. Так електробуси з динамічною зарядкою вводяться в експлуатацію на маршрутах тролейбусів, а електробуси з тривалою нічною зарядкою або можливістю виконання коротких зарядних сесій вводяться на автобусні маршрути, що

визначено технічними характеристиками концепцій (зарядної інфраструктури та транспортних засобів), наведених у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики концепцій введення електробуса

Показник	Концепція		
	ONC	OC	IMC
Ємність батареї, кВт*год.	від 250	35 - 120	від 15
Пасажиromісткість, осіб	до 75	75-90	90-100
Запас автономного ходу, км	від 150	10 - 70	2 - 50
Зарядний струм, А	60-90	350 - 500	60 - 180
Час зарядки, хв.	180 - 600	5 - 20	0
Витрата електроенергії, кВт*год/км	1,3 – 2,1	0,8-1,8	0,9-1,8
Тип батареї	Li-ion	Li-ion, суперконденсатори	Li-ion, суперконденсатори

Наведені в таблиці 1.1 технічні характеристики концепцій залежить від вибору виду електробуса. В даний час виробництво цих транспортних засобів тільки починає свій розвиток, у деяких випадках заводи надають дослідні зразки для експлуатації та визначення їх характеристик на реальних маршрутах. У світі найбільша кількість електробусів виробляється в Китаї, що зумовлено їх лідерством у введенні в експлуатацію цих транспортних засобів та розвитком програм субсидування. Проте розвиток виробництва електробусів відбувається і багатьох інших країнах світу. Технічні характеристики деяких типових електробусів наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики електробусів

Показник	Виробник електробуса (модель)						
	Yutong (E12)	BYD (K9)	Skywell (NJL6129 BEV)	Olectra (K9)	Volvo (7900 Electric)	Mercedes (eCitaro)	Scania (Citywide BEV)
1	2	3	4	5	6	7	8
Тип ТАБ*	LiFePO ₄	LiFePO ₄	LiFePO ₄	LiFePO ₄	Li-ion	Li-ion	Li-ion
Ємність ТАБ, кВт*год.	374	313	276,4	180	198, 264 або 330	198, 264, 330, 396	254 або 330
Місце для сидіння	32	37	33	39	39	29	35

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Максимальна швидкість, км/год	н/д	105	70	70	н/д	н/д	100
Концепція зарядки	ОНС	ОНС	ОНС	ОНС	ОНС/ ОС	ОНС/ ОС	ОНС/ ОС
Час заряджання, хв.	180 - 410	150 - 210	40-80	240 - 300	н/д	н/д	н/д

Примітка. * ТАБ – тягова акумуляторна батарея

Власне виробництво електробусів в Україні фактично відсутнє. Першим електробусом виготовленим в Україні став Електрон Е19101, виготовлений концерном «Електронтранс» у Львові у 2015 році. Станом на 2023 рік він залишається у єдиному екземплярі та використовується на тролейбусних маршрутах Львова паралельно зі звичайними тролейбусами. У 2014 р. концерн «Богдан» спільно з польською компанією «Ursus» розробив електробус Богдан А70100. Наразі він успішно експлуатується на маршрутах міста Люблін.

Різна номінальна ємність ТАБ досить суттєво впливає на вибір транспортного засобу та планування маршруту, на якому він буде експлуатуватися. Однак на формування маршруту значний вплив може мати також зарядна інфраструктура. На сьогодні за зарядною сесією виділяють: повільну, ультрашвидку і динамічну зарядну інфраструктуру. Вимоги до організації представлені у таблиці 1.3.

Зарядні станції також поділяються за своїм типом на повільні та ультрашвидкі. Потужність першого типу зарядних станцій може становити від 25 до 150 кВт, тому час виконання зарядної сесії може досягати кількох годин. Потужність ультрашвидких зарядних станцій становить від 150 до 600 кВт, тому здійснюють заряд протягом 6-20 хвилин [4].

На даний час одним із найбільших виробників зарядних станцій у світі для електробусів є компанія АВВ. Вона представляє різні готові рішення для комерційного транспорту. Зокрема, для електробусів зарядну інфраструктуру запропоновано організувати одним із 3 способів [5, 6]:

Таблиця 1.3 - Вимоги до організації зарядної інфраструктури для електробусів

Назва зарядної інфраструктури	Елементи зарядної інфраструктури	Вплив на енергосистему міста
Повільна (ОНС)	Комплектні трансформаторні підстанції та зарядні станції на місці «нічної» стоянки електробусів	Велика генерація додаткових потужностей на території парку
Ультрашвидка (ОС)	Тягові підстанції, мережа зарядних станцій на маршруті	Стрибкоподібна генерація потужностей на кінцевих пунктах зупинки
Динамічна (ІМС)	Тягові підстанції, контактна мережа на маршруті (можливе використання тролейбусної)	Рівномірне споживання енергії протягом робочої зміни

- встановлення зарядної ферми з пантографом для електробусів із контактною системою зарядки на даху. Дані системи зазвичай мають потужність від 150 до 600 кВт. Їхні технічні характеристики представлені в таблиці 1.4;

- встановлення компактної силової шафи та пістолетної зарядної станції/зарядної стійки для електробуса з контактною системою зарядки на даху. В даному випадку залежно від потужності, що підводиться і використовуваних технічних пристроїв, потужність зарядної інфраструктури може становити від 50 до 350 кВт (таблиця 1.5);

- встановлення зарядної станції з автопілотом. Ця технологія розглядається як майбутнє розвитку зарядної інфраструктури. Проте вже зараз на окремих закритих територіях вона може бути застосовна. Наприклад, для послідовної «нічної» зарядки кількох електробусів.

При цьому створення зарядної мережі потребує значних капітальних вкладень.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики зарядних ферм, вироблених АВВ

Найменування характеристики	Модель пантографа			
	HVC 300/450/600PD	HVC 300/450/600PU	HVC 150PD kit	HVC 100/150PU-S
Потужність, кВт	300/ 450/600	300/450/600	150	100/150
Номінальний струм зарядки, А	600	1000	600	350
«Нічна» зарядка	ні	ні	так	так
Ультрашвидка зарядка	так	так	так	ні
Організація паралельного підключення декількох ТЗ	ні	ні	ні	так
Габаритні розміри, мм	5520×1060×4850	5300×1300×4600	800×600×230	450×600×250

Таблиця 1.5 - Технічні показники зарядних станцій, вироблених АВВ

Найменування характеристики	Модель зарядної станції						
	Terra 54 HV	Terra 94 HVC	Terra 124 HVC	Terra 184 HVC	HVC 100	HVC 150	Terra HP
Додаткове обладнання	ні	ні	ні	ні	Зарядна коробка	Зарядна коробка	Пост зарядки
Потужність, кВт	50	90	120	180	100	150	350
Номінальна вихідна потужність, кВт	50	75	100	150	100	150	320
Організація паралельного підключення декількох ТЗ	ні	ні	так	так	так	так	так
Габаритні розміри, мм	1900×565 ×780	1900×565×880			2030×1170×770		2030× 2340×770

Таким чином, існуючі електробуси мають обмеження, пов'язані із запасом ходу та тривалістю відновлення заряду тягових акумуляторних батарей. Розвиток технологій виробництва зарядних станцій і збільшення капітальних витрат дозволяють лише скорочувати час зарядних сесій до 6-20 хв., але при цьому збільшується їх частота, що може спричинити зростання чисельності

експлуатованих електробусів на маршруті або зниження частоти їх руху що, відповідно, впливає на процес транспортного обслуговування населення

1.3 Особливості експлуатації електробусів на регулярних міських маршрутах

Процес транспортного обслуговування населення на регулярних міських маршрутах включає безліч суб'єктів і є складним, що обумовлює необхідність його поділу на кілька підпроцесів:

- допуск перевізника до здійснення регулярних перевезень пасажирів та багажу за муніципальними маршрутами;
- підготовка та випуск транспортного засобу на лінію для здійснення регулярних перевезень пасажирів та багажу за муніципальними маршрутами;
- рух транспортного засобу муніципальним маршрутом регулярних перевезень пасажирів і багажу;
- заходи після повернення транспортного засобу до ПАТП.

Вище подані підпроцеси описують заходи, що виконуються перевізником. Однак у разі транспортного обслуговування населення важливу роль виконують процедури, що реалізуються органами муніципальної влади та спрямовані на планування та організацію регулярних перевезень пасажирів та багажу автомобільним наземним електричним транспортом.

Враховуючи технічні особливості експлуатації електробусів, пов'язані з обмеженим запасом ходу, тривалістю зарядної сесії, введення електробуса для регулярних перевезень муніципальними маршрутами може бути здійснено відповідно до одного з таких варіантів:

1) зміна маршруту, що буде зареєстровано у реєстрі з урахуванням характеристик транспортного засобу. Відповідно запровадження нового маршруту призведе до переоформлення свідоцтва та карти маршруту регулярних перевезень муніципальними маршрутами, проведення нового відкритого

конкурсу, що має бути зазначено у документі планування регулярних перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом;

2) вибір існуючого маршруту з коригуванням розкладу з урахуванням особливостей функціонування електробуса. І тут у реєстрі маршрутів необхідно змінити характеристики транспортного засобу. Зміна розкладу як додатка свідоцтва про здійснення регулярних перевезень не вимагає його переоформлення, але необхідно буде переоформити карту маршруту, де будуть внесені коригування в характеристики транспортного засобу;

3) вибір існуючого маршруту з урахуванням розкладу руху транспортних засобів на маршруті. Реалізація цього варіанта, як і попереднього, призведе до переоформлення карти маршруту регулярних перевезень та внесення зміни характеристик транспортного засобу до реєстру маршрутів.

При введенні в експлуатацію 1-2 електробусів, що спостерігається в даний час в багатьох містах України, реалізація 1 варіанта є трудомісткою і має бути спланованою. При зміні розкладу руху транспортних засобів може змінитися частота їхнього руху з урахуванням тривалої зарядки електробуса, що призведе до зниження якості транспортного обслуговування населення. Для підтримки сталості рівня обслуговування під час введення електробуса рекомендується вводити додаткові транспортні засоби. Тому в результаті аналізу існуючих процедур планування та організації регулярних перевезень муніципальними маршрутами виявлено, що найменш трудомісткою є введення електробуса на існуючий муніципальний маршрут регулярних перевезень з урахуванням розкладу руху транспортних засобів на маршруті.

При введенні електробусів в експлуатацію вимоги до підготовки водіїв досі не визначені нормативно-правовими актами. Однак особливості конструкції цих транспортних засобів подібні до тролейбусів, тому при підготовці водіїв електробусів слід додатково вивчати правила технічної експлуатації електроустановок споживачів та наземного електричного транспорту, а також правила з охорони праці під час роботи з ними. Водій повинен уміти усувати несправності, що не вимагають розбирання вузлів та агрегатів, що виникли в

дорозі за допомогою наявних інструментів. Контролер технічного стану транспортних засобів також повинен мати цю підготовку.

Аналіз нормативно-правових актів, що визначають процес транспортного обслуговування населення за муніципальним регулярним маршрутом дозволив виявити додаткові операції та особливості виконання існуючих при введенні в експлуатацію електробусів. В результаті встановлено, що для мінімізації процедур, пов'язаних із переоформленням діючих свідоцтв та паспортів маршрутів, та збереження якості транспортного обслуговування населення доцільно розглядати показники існуючих маршрутів та обирати раціональні з мережі. У цьому випадку введення електробуса потребує лише: додаткового підвищення кваліфікації водія та контролера технічного стану транспортних засобів; організацію паркувального місця для відновлення заряду тягової акумуляторної батареї із встановленою зарядною станцією. Однак у процесі руху електробуса за маршрутом виникають додаткові операції, які можуть призводити до збільшення простоїв транспортних засобів та зниження ефективності їх експлуатації. Це технологічні перерви відновлення заряду тягових акумуляторних батарей. При цьому у разі раціональної організації процесу вони можуть бути поєднані з існуючими спеціальними перервами для відпочинку водіїв.

У цьому випадку необхідно враховувати технічні обмеження існуючих моделей електробусів за ємністю акумуляторних тягових батарей. Розв'язанням цього завдання є визначення дійсної витрати електроенергії електробусом під час руху маршрутом, який дозволить уточнити запас ходу залежно від умов експлуатації. Це спричиняє необхідність розробки процедур нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті.

1.4 Огляд досліджень у галузі розробки моделей витрати електроенергії електробусами

На сьогодні витрата електроенергії електробусом визначається на основі даних виробника про ємність тягових акумуляторних батарей і запас ходу, що не залежить від умов експлуатації. Відсутність нормативно-правових актів чи методичних рекомендацій, які дозволяють скоригувати це значення, призводить до складності вибору маршруту для експлуатації електробуса та організації у ньому зарядної інфраструктури.

Існуючі підходи розробки моделей витрати електроенергії електробусом можна розділити на кілька типів:

- 1) моделі, засновані на дорожніх та транспортних умовах експлуатації;
- 2) моделі, засновані на показниках роботи електродвигуна та системи зберігання електричної енергії [7-10].

На практиці застосування моделей, заснованих на показниках роботи електродвигуна та системи зберігання електричної енергії, утруднена для процедур нормування, що обумовлено особливостями їх розробки. Як фактор, що враховується, розглядається миттєва швидкість руху транспортного засобу, яка визначає показники роботи систем транспортного засобу і відповідно споживану потужність електродвигуном. В результаті визначення норми витрати електроенергії електробусом на певному маршруті необхідно зчитувати їздовий цикл руху транспортного засобу, що є трудомістким процесом. Дані моделі розроблено для розрахунку ресурсу тягових акумуляторних батарей, виявлення оптимальної швидкості руху транспортного засобу на перегонах та визначення характеристик комбінованої енергетичної установки [7].

Для розташування зарядних станцій на маршруті розроблювані моделі витрати електроенергії електробусом як вхідні параметри враховують умови експлуатації та технічні характеристики транспортних засобів [8, 11-19].

У ході аналізу досліджень в області моделювання витрати електроенергії електробусом як значущі фактори розглядаються так само, як і у випадку

нормування витрати палива міськими автобусами, техніко-експлуатаційні показники маршруту, кількість перевезених пасажирів. При цьому додатково розглядається вплив нахилу дороги та роботи допоміжного обладнання.

У науковому дослідженні [14] автори на основі експериментальних даних про функціонування 883 електробусів на 406 маршрутах з 1 по 7 листопада 2017 р. у м. Пекін було проведено оцінку впливу аналізованих факторів на витрату електроенергії електробусом (рисунок 1.3).

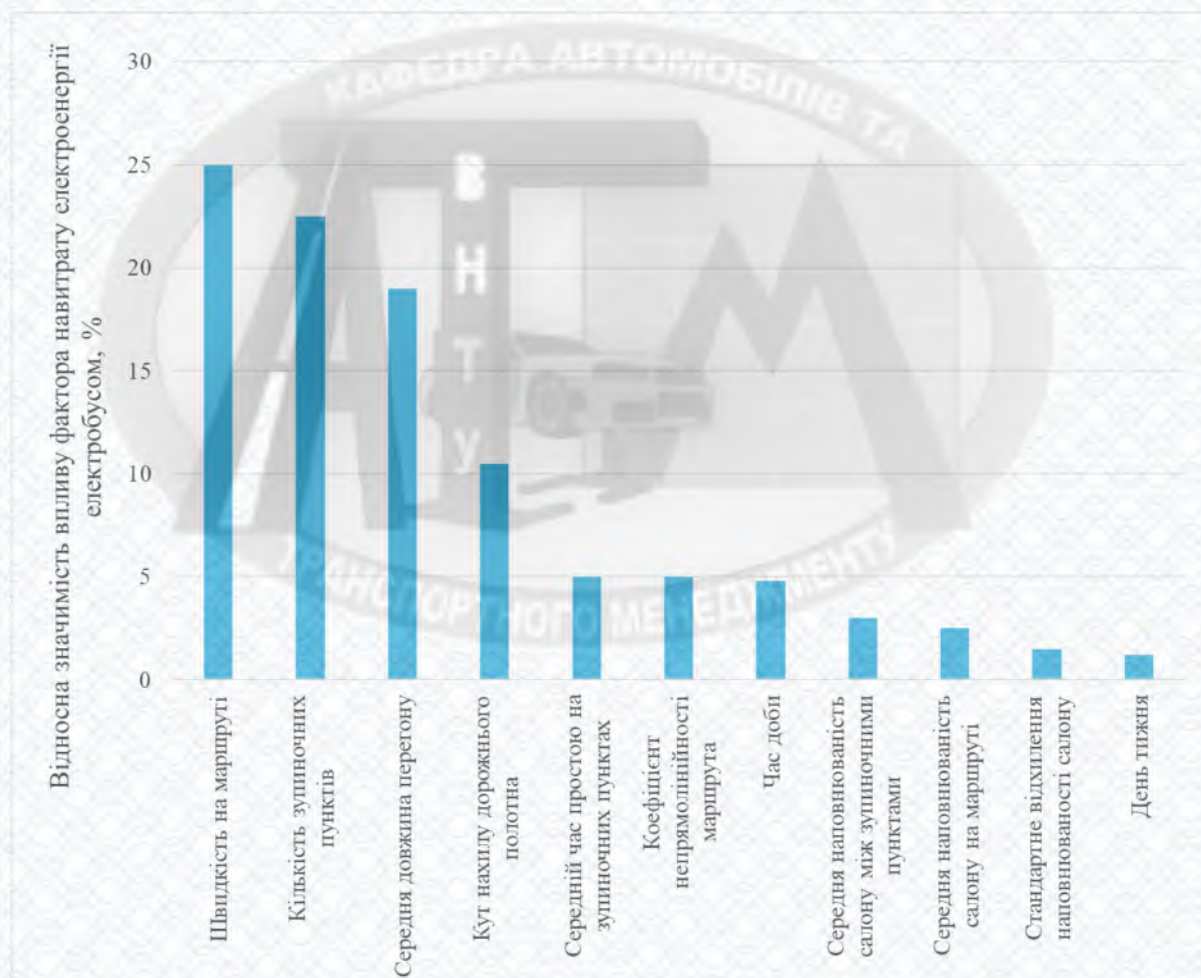


Рисунок 1.3 – Значимість впливу факторів на витрату електроенергії електробусом на міському маршруті у Пекіні

Відповідно до раніше висунутого припущення техніко-експлуатаційні показники маршруту, а саме середня швидкість на маршруті, кількість зупиночних пунктів, середня довжина перегону, середній час простою на зупиночних пунктах, коефіцієнт непрямолінійності маршруту можуть бути враховані за допомогою фактора «швидкість сполучення». Під швидкістю

сполучення розуміється швидкість руху транспортного засобу маршрутом з урахуванням простоїв з причин вулично-дорожнього руху та для посадки та висадки пасажирів на проміжних зупиночних пунктах [20-21]. При цьому додатково необхідно оцінити вплив наповнюваності салону електробуса, кута ухилу дорожнього полотна та роботу допоміжного обладнання, яке в науковому дослідженні [14] приймалося як постійна величина 10 кВт*год.

Температура навколишнього повітря є фактором, що визначає кількість теплоти, яку необхідно підвести або відвести від тягової акумуляторної батареї та з салону електробуса, тому дана величина впливає на кількість енергії, що споживається системою термостатування батарей та установкою «клімат-контроль», якими обладнані електробуси, що експлуатуються в Україні.

Температура тягових акумуляторних батарей впливає на ємність та ресурс їхньої роботи. Так у роботі [10] встановлено оптимальний температурний діапазон їхнього функціонування, який представлений на рис. 1.4.

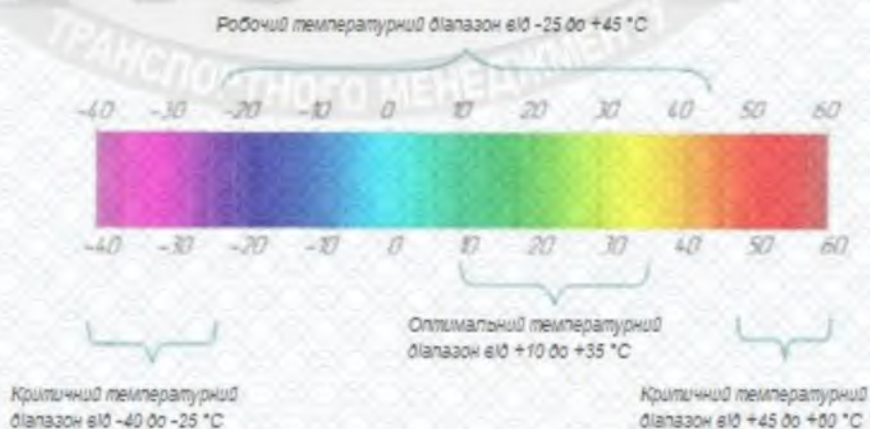


Рисунок 1.4 – Температурний режим експлуатації тягових акумуляторних батарей

Зниження температури навколишнього повітря нижче -25 °C призводить до кристалізації електроліту, а за позитивних критичних температур починаються внутрішні незворотні процеси, які можуть викликати «тепловий розгін» [10]. При цьому температура тягових акумуляторів також залежить від режиму руху транспортного засобу. Так, у роботах [10, 22] встановлено, що прискорення транспортного засобу призводить до збільшення струму розряду до 6С, а

агресивне водіння до 4С, нагрівання тягових акумуляторних батарей при даних струмах розряду представлено рис. 1.5.

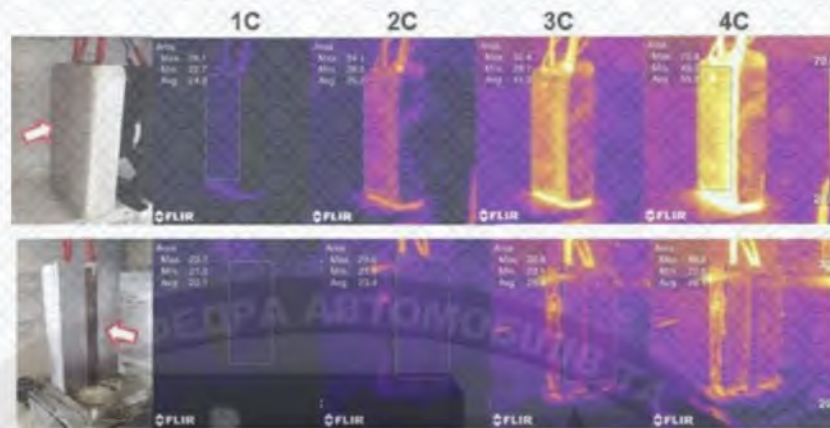


Рисунок 1.5 – Знімки тепловізором температури нагріву тягових акумуляторних батарей при різних струмах розряду/заряду

Обладнання електробусів різними системами контролю за рухом транспортного засобу мінімізує вплив стилю водіння. Однак часті технологічні зупинки при експлуатації електробусів на міському регулярному маршруті зумовлюють високу частоту прискорень, які також впливають на температуру тягової акумуляторної батареї, а отже, на кількість енергії, споживаної системою термостатування з метою підтримки оптимального діапазону, вказаного на рис. 1.4.

Температура навколишнього повітря також впливає на кількість теплоти, що надходить до салону транспортного засобу. У роботі [23] встановлено, що збільшення ефективної температури навколишнього повітря, яка є комплексним показником, що відображає вплив швидкості вітру, вологості та температури повітря, призводить до зростання температури в салоні транспортного засобу та підвищує витрату палива легковим автомобілем.

Електробуси, що експлуатуються, також обладнані установками «клімат-контроль», які дозволяють підтримувати комфортну температуру в салоні транспортного засобу при позитивних температурах і споживають енергію з тягової акумуляторної батареї. Нагрівання салону електробуса здійснюється за

допомогою автономного дизельного обігрівача. Внаслідок цього вплив установки «клімат-контроль» на витрату електроенергії електробусом спостерігатиметься лише за додатних температур. Всі перераховані вище умови призводять до необхідності вивчення механізму впливу температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом та її обліку при нормуванні.

Таким чином, в результаті аналізу раніше виконаних робіт встановлено, що значущими факторами є: техніко-експлуатаційні показники маршруту, які запропоновано враховувати за допомогою фактора швидкість сполучення; наповнюваність салону транспортного засобу; ухил дороги; температура навколишнього повітря, яка дозволяє врахувати вплив роботи системи термостатування тягових акумуляторних батарей та встановлення «клімат-контролю». Досі не виявлено наукових досліджень, що розглядають вплив «швидкості сполучення» та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом.

1.5 Загальна характеристика Комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія»

Комунального підприємства (КП) "Вінницька транспортна компанія" є одним із найпотужніших підприємств Вінниччини, яке надає послуги з регулярних пасажирських перевезень трамвайним, тролейбусним та автобусним транспортом.

Історія КП "Вінницька транспортна компанія" ведеться ще з 1913 року, коли Вінницею почали роботу сім вагонів MAN німецького виробництва. З 2008 року, за рішенням Вінницької міської ради, Вінниця починає відновлювати муніципальний автобусний парк. Базою для цього стає КП «Вінницьке трамвайно-тролейбусне управління», перейменоване згодом у КП «Вінницька транспортна компанія».

Власником КП «Вінницька транспортна компанія» є територіальна громада міста Вінниці через Вінницьку міську раду. Органом управління підприємством виступає Департамент транспорту та міської мобільності.

На сьогоднішній день КП "Вінницька транспортна компанія" є провідним транспортним підприємством міста з чисельністю працівників понад 2000 осіб. У їхньому розпорядженні 74 трамвайні вагони, 131 тролейбус, 72 автобуси. Підприємство забезпечує функціонування 6 трамвайних, 20 тролейбусних та 18 автобусних маршрутів. Завдяки розвиненій виробничо-технічній базі, КП "Вінницька транспортна компанія" самостійно проводить всі види ремонтів транспортних засобів, зокрема капітальні ремонти трамваїв, тролейбусів, автобусів, трамвайних колій та тролейбусних ліній.

Місцезнаходження Комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія»: м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 29; тролейбусне депо: м. Вінниця, вул. Магістратська, 98А. У 2014 році було відкрито автобусний парк КП «Вінницька транспортна компанія», який знаходиться за адресою: м. Вінниця, вул. Сабарівське шосе, 19.

1.6 Аналіз складу, структури і стану рухомого складу

Як зазначалось, для виконання перевезень пасажирів КП «Вінницька транспортна компанія» має у своєму складі автобуси моделей Богдан А701, ЛАЗ А183, АТАМАН А092G6, Otokar Kent C CNG, Skywell NJL6129BEV; тролейбуси моделей Богдан Т70117, PTS-12, ЗиУ-682, Solaris Trollino III, ЛАЗ Е183; трамваї моделей Tatra Т4, Tatra КТ4, «VinWay», Be 4/4 "Karpfen", Be 4/6 "Mirage", Be 4/6 "Tram 2000". Відповідно до специфіки даної магістерської роботи в подальшому в роботі буде розглядатися лише рухомий склад автобусного парку КП «Вінницька транспортна компанія».

Виконаємо аналіз рухомого складу за методикою, наведеною в [24].

Структура парку автобусів наведена в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Основний рухомий склад автобусного парку КП «Вінницька транспортна компанія»

№	Марка, модель	К-ть одиниць	Вид палива	Загальна пасажиро-місткість
1	Богдан А701.10	15	дизель	100
2	Богдан А701.30	4	дизель	106
3	Богдан А701.32	30	дизель	106
4	ЛАЗ А183Д0	2	дизель	100
5	ЛАЗ А183Д1	5	дизель	100
6	Otokar Kent C CNG	10	природний газ	101
7	АТАМАН (ISUZU) А092G6	5	природний газ	43
8	Skywell NJL6129BEV	1	електроенергія	81

Як бачимо, рухомий склад автобусного парку КП «Вінницька транспортна компанія» складють 56 відчизняних дизельних автобуси великого класу, 5 вітчизняних автобусів середнього класу, що працюють на газовому паливі, 10 закордонних автобусів великого класу, що працюють на газовому паливі, та 1 електробус великого класу закордонного виробництва.

Проаналізуємо структуру парку автобусів. В таблиці 1.7 подано віковий розподіл рухомого складу, а в таблиці 1.8 подано розподіл рухомого складу за пробігом з початку експлуатації.

Таблиця 1.7 - Групування автобусів залежно від часу перебування в експлуатації

Тип автобуса	Всього	В т.ч., які перебували в експлуатації з моменту випуску заводом виготовлювачем				
		до 3 років включно	від 3,1 до 5 років включно	від 5,1 до 8 років включно	від 8,1 до 10 років включно	більше 10 років
Автобуси великого класу (дизельні)	56			2	31	23
Автобуси великого класу (газ)	10	10	-	-	-	-
Автобуси середнього класу	5	-	-	5	-	-
Електробуси	1	-	-	1	-	-

Таблиця 1.8 – Групування автобусів за пробігом з початку їх використання

Марки і кількість транспортних машин, од.	Кількість транспортних машин з пробігом за початком роботи в тис. км, од.						
	до 50	Від 50 до 100	Від 100 до 200	Від 200 до 300	Від 300 до 400	Від 400 до 500	Понад 500
Автобуси великого класу (дизельні)	-	-	-	3	5	15	33
Автобуси великого класу (газ)	-	-	10	-	-	-	-
Автобуси середнього класу	-	-	-	3	3	-	-
Електробуси	-	-	1	-	-	-	-

Аналізуючи дані таблиць 1.7 – 1.8 приходимо до висновку, що вік більшості рухомого складу перевищує 8 років, проте є також 10 автобусів з терміном служби до 3 років. Пробіг переважної більшості автобусів перевищує 400 тис км., що свідчить про їх досить інтенсивну експлуатацію. Що стосується електробуса Skywell, то термін його експлуатації нещодавно перевищив 5 років, а пробіг – близько 150 тис.км.

Отже, за результатами цих таблиць бачимо, що автобусний парк КП «Вінницька транспортна компанія» досить інтенсивно експлуатує власний рухомий склад. Підприємство проводить заходи з його оновлення, зокрема запровадженням більш екологічних газових автобусів та електробусів, проте темпи оновлення не відповідають темпам зношення і старіння автобусів.

1.7 Аналіз стану існуючої виробничо-технічної бази

Виконаємо аналіз виробничо-технічної бази за методикою, наведеною в [24, 25].

Площа території автобусного парку КП «Вінницька транспортна компанія» складає приблизно 1 га, щільність забудови близько 40%, коефіцієнт використання території близько 75%. Рух автобусів на території автобусного

парку організований кільцевим способом. В'їзд і виїзд автомобілів на територію здійснюється через проїзд зі сторони вул. Сабарівське шосе. Територія земельної ділянки близька до прямокутної форми, хоч і токовою не є. На території розміщено адміністративний корпус, виробничий корпус, корпус прибирально-мийних робіт, контрольно-пропускний пункт, стоянка автобусів; територію вільну від забудови, проїздів і зон зберігання, впорядковано й озеленено.

В виробничому корпусі знаходяться зона ТО і ПР автобусів, обладнана пересувним напідлоговим підйомником, склад запчастин, санвузол.

Транспортний підрозділ здійснює такі види робіт з ТО і ПР автобусів:

- щоденне обслуговування;
- технічне обслуговування;
- поточний ремонт, окрім робіт, які потребують спеціалізованого обладнання.

Що стосується електробуса Skywell, то його зберігання і передвиїзний контроль здійснюються на базі тролейбусного депо, що пов'язано із великим споживанням електроенергії підчас зарядки акумуляторних батарей. Всі інші роботи здійснюються на виробничій базі автобусного парку.

Виконання прибирально-мийних робіт здійснюється автоматичною порталною мийкою «Kärcher». Зона прибирально-мийних робіт обладнана оборотною системою очищення води.

ТО автобуси проходять за графіком згідно регламентам заводу виробника. Поточний ремонт проводиться по необхідності (за заявками або на основі діагностичних даних). Ремонтні роботи, які транспортний підрозділ не здатний виконати, виконуються ділерськими підприємствами. Ремонт автобусів здійснюється індивідуальним методом. Після проведення відповідних видів обслуговування і поточного ремонту автобуси направляються на стоянку.

В цілому виробничо-технічна база задовольняє потреби автобусного парку в виконанні робіт по ТО і ПР автобусів та електробуса Skywell зокрема. Роботи ПР, які характеризуються малим потоком відмов і потребують наявності дорогартісного спеціалізованого обладнання, на власній ВТБ не виконуються

через економічну недоцільність. Проте підприємство не має великого досвіду з організації експлуатації електробусів.

1.8 Висновки

1. Обмеженість запасу ходу, тривале відновлення заряду тягових акумуляторних батарей є одним із ключових технічних обмежень електробусів. Існуючі технології їх виробництва та зарядних станцій дозволяють вирішити лише одну із зазначених проблем. Це вимагає збільшення кількості експлуатованих електробусів на маршруті або зниження частоти їхнього руху, що впливає на процес транспортного обслуговування населення.

2. У результаті аналізу раніше виконаних робіт у області експлуатації електробусів встановлено, що значущими факторами є: техніко-експлуатаційні показники маршруту, які запропоновано враховувати за допомогою фактора «швидкість сполучення»; наповнюваність салону транспортного засобу; ухил дороги; температура навколишнього повітря, яка дозволяє врахувати вплив роботи системи термостатування тягових акумуляторних батарей та встановлення «клімат-контролю».

3. Виконавши дослідження структури та стану рухомого складу і ВТБ автобусного парку КП «Вінницька транспортна компанія», встановлено, що темпи оновлення не відповідають темпам зношення і старіння парку. Темпи впровадження електробусів занадто низькі. Існуюча ВТБ забезпечує виконання найбільш поширених видів робіт, складні ремонти виконувати на власній ВТБ не доцільно.

Підприємство експлуатує один електробус Skywell вже протягом 5 років, пробіг складає близько 150 тис. км. Це свідчить про те, що автобусний парк не має великого досвіду з експлуатації електробусів та оптимального планування їх роботи.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ НОРМУВАННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОБУСОМ

2.1 Визначення важливих факторів, що впливають на витрата електроенергії електробусом

У роботі розглядається система «електробус – водій – зарядна інфраструктура». Кожен із елементів системи має технічні характеристики, які є обмеженнями та впливають на вибір раціонального міського регулярного маршруту (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Схема системи, що вивчається

Обмеженнями при експлуатації електробуса є значна тривалість зарядної сесії та невеликий запас ходу, що визначається кількістю запасеної електроенергії на борту транспортного засобу, витратою електроенергії та виконуваною транспортною роботою. Кількість запасеної електроенергії залежатиме від виду системи накопичення та її ємності. Для електробусів, що експлуатуються, в даний час на міських регулярних маршрутах дані значення можна прийняти в якості

постійних характеристик і величин. У цьому випадку значний вплив матиме витрата електроенергії електробусом.

Для підвищення ефективності експлуатації електробусів на міському регулярному маршруті відповідно до опису технологічного процесу його функціонування, було запропоновано поєднати спеціальні перерви у роботі водія та технологічні перерви для відновлення заряду тягової акумуляторної батареї. Тому як цільову функцію було обрано мінімум різниці тривалості технологічних перерв для відновлення заряду тягових акумуляторних батарей та спеціальних перерв:

$$\Delta\tau_{\text{прост}} = \tau_{\text{зс}} - \tau_{\text{спец.пер}} \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

де $\tau_{\text{зс}}$ – сумарна тривалість зарядних сесій, що виконуються на маршруті, год;

$\tau_{\text{спец.пер}}$ – сумарна тривалість спеціальних перерв, год.

Важливою умовою досягнення обраної цільової функції є збіг тривалості зарядної сесії та спеціальної перерви. Тривалість зарядної сесії залежить від кількості електричної енергії, спожитої електробусом під час руху маршрутом, та швидкості її передачі зарядною станцією:

$$\tau_{\text{зс}} = \frac{Q_{\text{еє}}}{\vartheta_{\text{зс}}}, \quad (2.2)$$

де $Q_{\text{еє}}$ – кількість електричної енергії, спожитої електробусом під час руху маршрутом, кВт*год.;

$\vartheta_{\text{зс}}$ - швидкість заряду тягової акумуляторної батареї зарядною станцією, кВт.

Кількість електричної енергії, спожитої електробусом під час руху за маршрутом, визначається формулою:

$$Q_{\text{еє}} = q_{\text{еє}} \cdot L, \quad (2.3)$$

де q_{ee} – маршрутна норма витрати електричної енергії електробусом, кВт·год/км;

L - пробіг транспортного засобу за маршрутом, км.

При цьому для зниження кількості спожитої енергії під час руху електробуса за маршрутом та збільшення пробігу між зарядними сесіями, додатково як цільова функція також розглядається мінімізація витрати електроенергії електробусом:

$$q_{ee} \rightarrow \min. \quad (2.4)$$

Витрата електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті залежить від технічних і конструкційних характеристик транспортного засобу, а також умов експлуатації, що відносяться до зовнішнього середовища стосовно системи, що розглядається. У цьому випадку частина факторів дорожніх та транспортних умов експлуатації належать до групи техніко-експлуатаційних показників маршруту, які також впливають на витрату електроенергії електробусом. В результаті для систематизації впливу основних факторів на витрату електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті було побудовано структурно-логічну схему, представлену на рис. 2.2.

Сумарна витрата електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті складається з кількох складових, величина яких визначається енергією, необхідною для роботи окремих вузлів транспортного засобу. Основна кількість енергії споживається електродвигуном і перетворюється на механічну енергію шляхом обертання ротора електромашини. Однак при цьому необхідно враховувати наявність втрат енергії в тяговому інверторі та в самому двигуні. Далі механічна енергія передається трансмісії та рушію і перетворюється на кінетичну, яка рухає транспортний засіб. Однак для цього необхідно подолати сили опору, що визначаються особливостями режиму руху. Так при русі з постійною швидкістю діють сили опору коченню та аеродинамічного опору, величина яких залежить від технічних та конструкційних характеристик транспортного засобу, а також швидкості руху, стану і типу дорожнього покриття.

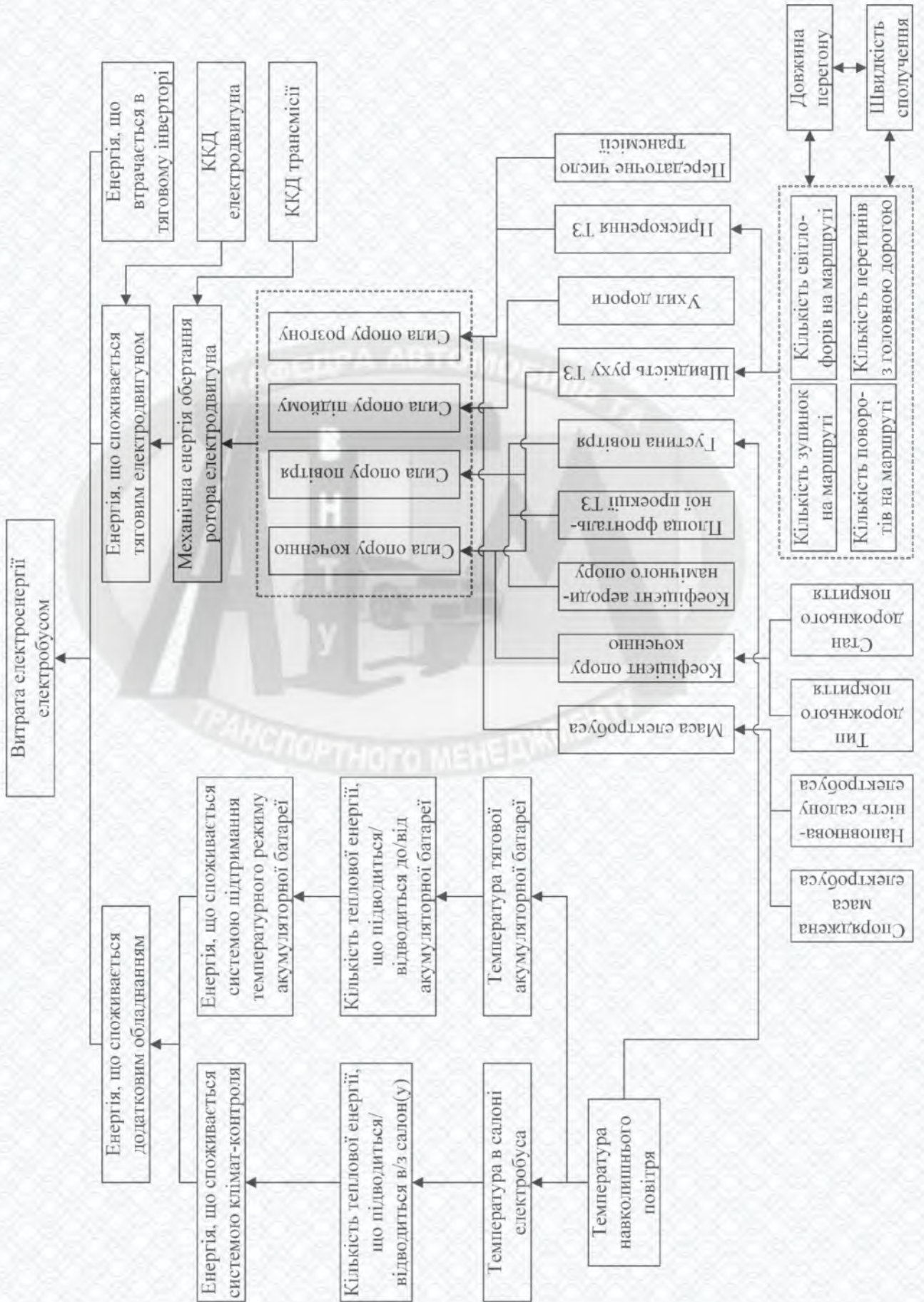


Рисунок 2.2 – Структурно-логічна схема впливу основних факторів умов експлуатації на витрати електроенергії електробусом на міському маршруті

За наявності ухилу дорожнього полотна на маршруті виникає додаткова сила опору руху на підйом, що визначається кутом ухилу дорожнього полотна та масою транспортного засобу. При прискоренні/уповільненні також виникає додаткова сила опору, що залежить від технічних характеристик транспортного засобу та величини прискорення/уповільнення. В результаті при постійних технічних і конструкційних характеристиках експлуатованих в даний час моделей електробусів, визначальними факторами, що впливають на кількість енергії, що споживається тяговим електродвигуном, є стан та тип дорожнього покриття, кут ухилу дорожнього полотна, а також швидкість руху і величина прискорення/уповільнення. Останні два фактори визначаються кількістю зупиночних пунктів, світлофорів, перетинів, поворотів на маршруті, які у свою чергу впливають на довжину перегону на маршруті та пов'язані зі швидкістю сполучення.

У процесі функціонування електробуса на міському регулярному маршруті енергія з тягової акумуляторної батареї також витрачається на роботу допоміжного обладнання, до якого відноситься система рульового управління, бортового і салонного освітлення; склоочисники; бортова електроніка; установка «клімат-контроль» та система термостатування тягових акумуляторних батарей. При цьому останні дві системи найбільше впливають на витрату електроенергії електробусом, оскільки вони включені в роботу на тривалий період (установка «клімат-контроль» при позитивних температурах) і мають значну потужність споживання. Кількість енергії, яку споживає установка «клімат-контроль», залежить від кількості теплоти, яку необхідно відвести з салону або підвести до нього. Дане значення, у свою чергу, визначається температурою в салоні транспортного засобу і температурою навколишнього повітря. Кількість енергії, яку споживає система термостатування тягових акумуляторних батарей, також залежить від їх температури, на величину якої впливає не тільки температура навколишнього повітря, але також і режим руху транспортного засобу. Як було виявлено, в ході аналізу раніше виконаних робіт найбільший приріст температури в процесі експлуатації викликає прискорення транспортного засобу.

В результаті систематизації основних факторів, що впливають на витрату електроенергії електробусом, виявлено, що в ході подальших досліджень необхідно оцінити значущість наступних величин: швидкості сполучення, кута ухилу дорожнього полотна, типу та стану дорожнього покриття, наповнюваність салону транспортного засобу пасажирами, температури навколишнього повітря. Технічні та конструктивні характеристики в даному дисертаційному дослідженні були прийняті як постійні величини через подібність експлуатованих в даний час моделей електробусів в Україні.

Для виявлення найбільш важливих факторів, що впливають на витрату електроенергії електробусом, було проведено опитування експертів шляхом їхнього (факторів) попарного порівняння.

Вибір даного методу був заснований на таких положеннях:

- простота інтерпретації результатів;
- простота оцінки факторів, що сприяє підвищенню якості результатів;
- можливість проведення статистично обґрунтованого аналізу узгодженості думок експертів.

Проведення експертної оцінки для виявлення значущих факторів, що впливають на витрату електроенергії електробусом, включає наступні етапи [26]:

- 1) складання анкети, що включає опис мети і завдань опитування, правил її заповнення та таблиць, що дозволяють порівняти фактори між собою за значимістю;
- 2) розрахунок необхідної чисельності експертів та їх добір;
- 3) анкетування експертів;
- 4) обробка отриманих результатів, що включає оцінку компетентності експертів, узгодженості їх думок, визначенні значущих факторів.

Відповідно до обраного методу опитування експертів як основне робоче поле анкети було складено матрицю попарного зіставлення, фрагмент якої представлений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Фрагмент матриці попарного порівняння значущості факторів, що впливають на витрату електроенергії електробусом

Фактор (x_i)	Фактор (x_j)				
	Ухил дорожнього полотна	Стан дорожнього покриття	Наповнюваність салону	Швидкість сполучення	Робота допоміжного обладнання
Ухил дорожнього полотна	X	1-0,5	1-1	1-0,5	1-1
Стан дорожнього покриття	0,5	X	1-1	1-0,5	1-1
Наповнюваність салону	1	1	X	1-0,5	1-1
Швидкість сполучення	0,5	0,5	0,5	X	1-1
Робота допоміжного обладнання	1	1	1	1	X

Чисельні значення в осередках матриці заповнювалися відповідно до умов, представлених за допомогою формули:

$$X_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_i \text{ важливіше, ніж } x_j \\ 0,5, & \text{якщо } x_i \text{ так само важливе, як } x_j \\ 0, & \text{якщо } x_j \text{ важливіше, ніж } x_i \end{cases} \quad (2.5)$$

де x_i - фактор, вказаний у рядку;

x_j – фактор, вказаний у стовпці.

Заповнення матриці експертом здійснювалося лише нижче головної діагоналі. Комірki, які були розташовані вище, заповнювалися автоматично в результаті розрахунку, поданого у таблиці 2.1.

Кількість експертів, які беруть участь в опитуванні, була попередньо розрахована за формулою (2.6) з метою отримання достовірної оцінки [26]:

$$m \geq 0,5 \left(\frac{3}{b} + 5 \right), \quad (2.6)$$

де b - припустима помилка експертного аналізу.

В результаті було обрано 10 експертів, під час опитування яких відповідно до формули (2.6) припустима помилка не повинна перевищити 0,2. З метою її зниження додатково в ході обробки даних оцінювалася компетентність експертів шляхом порівняння власного числа матриці з максимальним допустимим значенням при кількості факторів. Також при підборі експертів враховувалася їх спеціалізація, досвід роботи в галузі експлуатації електробусів не менше 3 років та відсутність спільної участі в експертних опитуваннях. В опитуванні брали участь фахівці підрозділів КП «Вінницька транспортна компанія», відповідальні за експлуатацію електробусів та обслуговування зарядної інфраструктури.

Достовірність думок експертів оцінювалася в результаті розрахунку коефіцієнта конкордації, який дозволяє визначити їхню узгодженість. Розрахунок коефіцієнта здійснюється за формулою [26, 27]:

$$W = \frac{12 \cdot S}{n^2 (m^2 - m)}, \quad (2.7)$$

де S - сума квадратів відхилень всіх оцінок рангів кожного об'єкта експертизи від середнього значення;

n – кількість експертів, задіяних у опитуванні;

m – кількість факторів, що оцінюються.

Отриманий результат повинен належати до діапазону від мінімального коефіцієнта конкордації, який розраховується відповідно до кількості факторів,

що враховуються, до 1. Мінімальний коефіцієнт конкордації визначається за формулою [26, 27]:

$$W_{\min} = \begin{cases} \frac{n-1}{2n}, & \text{якщо } n\text{-непарне число;} \\ \frac{n-2}{2(n-1)}, & \text{якщо } n\text{-парне число.} \end{cases} \quad (2.8)$$

Агрегування думок експертів здійснювалося шляхом розрахунку сумарного значення виставлених балів. Результати розрахунку представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати агрегування думок експертів щодо значущості факторів, що впливають на витрату електроенергії електробусом

Фактор	Бали, виставлені експертом										Сума балів
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ухил дорожнього полотна	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,5	2,5	23,5
Стан дорожнього покриття	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,5	2,5	2,0	23,0
Наповнюваність салону	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,0	3,5	3,5	4,0	36,0
Швидкість сполучення	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	45,0
Робота допоміжного обладнання	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	35,0
Тип дорожнього покриття	1,5	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	3,5
Температура навколишнього повітря	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	45,0

Отримані результати були побудовані як зменшення значущості і побудована діаграма Парето (рисунк 2.3).

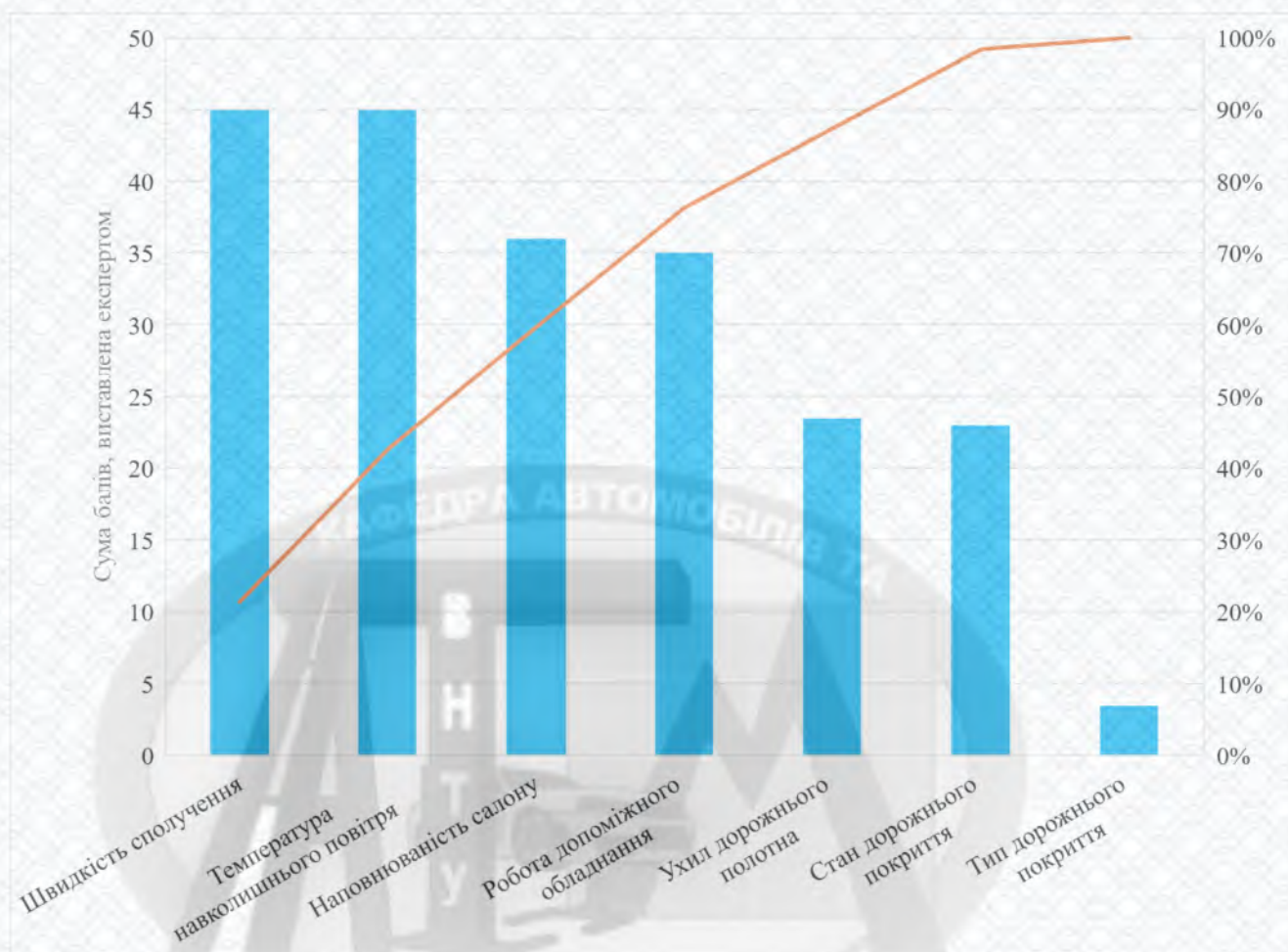


Рисунок 2.3 – Результати експертної оцінки значущості факторів, що впливають на витрату електроенергії електробусом

Вона дозволила виявити фактори, які, на думку експертів, надають 80% впливу на витрату електроенергії електробусом на міському регулярному маршруту. Коефіцієнт конкордації становив 0,71. Отримане значення потрапило до діапазону між мінімальним коефіцієнтом конкордації 0,44 і 1. Це дозволяє зробити висновок про узгодженість думок експертів.

Таким чином, на основі даних кумулятивної кривої можна зробити висновок про значущість впливу швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом на маршруті.

2.2 Розробка математичної моделі розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом

Отримані результати експертної оцінки значущості факторів підтвердили можливість урахування швидкості сполучення та температури навколишнього повітря як значущих факторів при розрахунку витрати електроенергії електробусом, що математично може бути описано за допомогою формули:

$$q_{ee} = f(v_c, t), \quad (2.9)$$

де v_c - швидкість сполучення, км/год;

t – температура навколишнього повітря, °С.

Таким чином для розробки математичної моделі розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом попередньо необхідно встановити закономірності впливу швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на результуючий параметр.

Швидкість сполучення в даній магістерській роботі розглядається як фактор, що враховує техніко-експлуатаційні показники маршруту: кількість пунктів зупинки, час простою на них, середню довжину перегону, кількість світлофорів, поворотів на маршруті, перетинів з головною дорогою, що представлено на рис. 2.2. У ході аналізу раніше виконаних досліджень [11, 14, 28] виявлено закономірності впливу деяких із виділених показників на витрату електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті, що представлено на рис. 2.4.

Закономірності, представлені на рисунку 2.4, були отримані внаслідок обробки даних про функціонування 883 електробусів на 406 маршрутах з 1 по 7 листопада 2017 р. у Пекіні. Вони дозволяють зробити висновок про збільшення витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті зі збільшенням кількості зупиночних пунктів на маршруті та часу простою на них і відповідно до зниження середньої довжини перегону. Відповідно до раніше

представлених результатів наукового дослідження [29] зменшення середньої довжини перегону призводить до зниження експлуатаційної швидкості або швидкості сполучення. Тому на підставі аналізу результатів раніше проведених досліджень можна зробити висновок про те, що при зниженні швидкості сполучення витрата електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті збільшується.

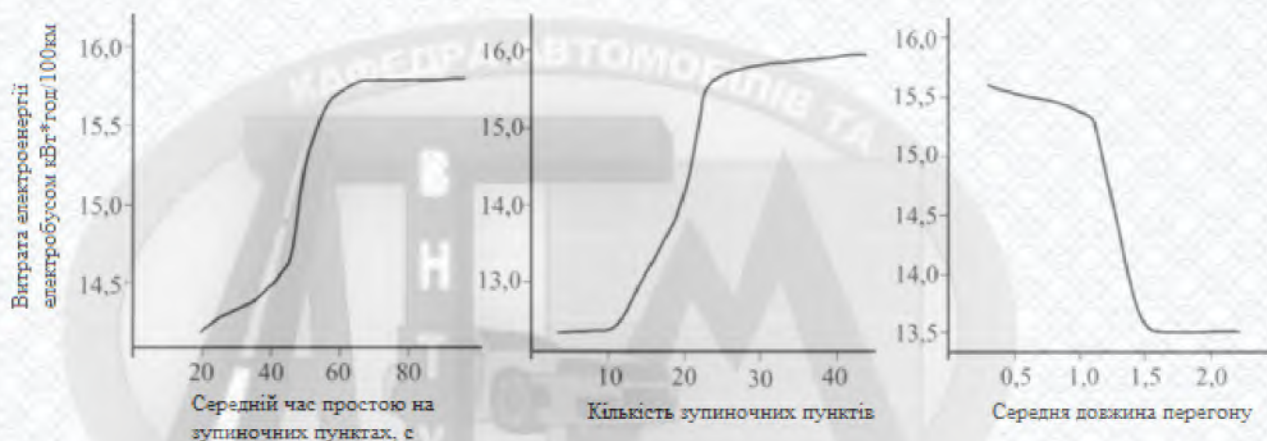


Рисунок 2.4 – Вплив техніко-експлуатаційних показників на витрату електроенергії електробусом

Рух електробуса на міському регулярному маршруті є сукупністю розгонів, підтримки постійної швидкості, вибігів, гальмування. При цьому гальмування може здійснюватися: електромашиною, у ході якого частина енергії може повернутися до тягової акумуляторної батареї; або робочою гальмівною системою. Відповідно до роботи [29] найбільш енерговитратними етапами руху транспортного засобу є розгін і рух на підйом, так як вони характеризуються виникненням додаткових сил опору (рисунок 2.2), що викликають різке збільшення необхідного крутного моменту на валу електродвигуна, який відповідно до (2.10) спільно з частотою обертання визначає споживану їм потужність [7]:

$$P_{ед} = \frac{M \cdot n_k}{9550}, \quad (2.10)$$

де M - необхідний крутний момент на валу електродвигуна, Н · м;

n_k – частота обертання валу тягового електродвигуна, хв⁻¹, що залежить від швидкості руху транспортного засобу:

$$n_k = \frac{30 \cdot V \cdot i_{2n} \cdot i_{kn}}{\pi \cdot r_k}, \quad (2.11)$$

де r_k - радіус кочення колеса, м;

V – швидкість руху, м/хв;

i_{2n} - передатне число головної передачі;

i_{kn} – передавальне число коробки.

Умови функціонування електробуса на міському регулярному маршруті характеризуються частими зупинками, пов'язаними з прискореннями транспортного засобу. При цьому зниження середньої довжини перегонів, яке спостерігається при зниженні швидкості сполучення на міському регулярному маршруті, призводить до збільшення кількості прискорень, що призводить до збільшення витрати електроенергії електробусом. При цьому рекуперативне гальмування, яке дозволяє повернути частину енергії в тягову акумуляторну батарею, визначатиметься відповідно до формули (2.12) початковою швидкістю руху транспортного засобу:

$$N_{рек} = \max_{5 \leq V_i \leq 50} \left(\frac{V_i \cdot m (a_i \cdot \delta - g \cdot f_k)}{3600} \right), \quad (2.12)$$

де V_i - початкова швидкість при i -му гальмуванні, км/год;

m – маса електробуса, кг;

a_i – уповільнення електробуса, м/с²;

δ – коефіцієнт врахування обертових мас;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

f_k – коефіцієнт опору коченню.

Однак попередньо для того, щоб повернути енергію в тягову акумуляторну батарею необхідно витратити значну кількість енергії на розгін транспортного засобу. В результаті аналізу раніше виконаних робіт було встановлено, що застосування рекуперативного гальмування дозволяє повернути до 25% енергії від витраченої на розгін транспортного засобу. У цій роботі прийнято, що водії електробусів навчені ефективному застосуванню рекуперативного гальмування та використовують його під час руху маршрутом.

Таким чином, в результаті аналітичних досліджень встановлено, що зниження швидкості сполучення, пов'язане зі зниженням середньої довжини перегону та збільшенням кількості прискорень у процесі руху, призводить до зростання витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті.

Математично вплив швидкості сполучення на витрати електроенергії електробусом можна представити за допомогою формули:

$$q_{eev} = q_{vc} - a \cdot v_c, \text{ при } v_c = (10; 30], v_i < 60, \quad (2.13)$$

де q_{vc} – номінальна витрата електроенергії електробусом на маршруті, кВт·год/км;

v_c – швидкість сполучення, км/год;

a – параметр моделі, кВт·год²/км²,

v_i – швидкість руху електробуса на перегоні, км/год.

Температура навколишнього повітря впливає на температуру тягової акумуляторної батареї, температуру в салоні електробуса, що представлено на рисунку 2.2.

Як було зазначено в розділі 1 електробуси, що експлуатуються в Україні, обладнані системами термостатування, які відводять або підводять необхідну кількість теплоти і підтримують діапазон значень температури тягової акумуляторної батареї від +10 до +35°C. В даний час використовується рідинна система, яка має в середньому такі технічні характеристики (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики системи термостатування тягових акумуляторних батарей

Характеристика	Значення
Максимальна потужність охолодження (теплова/електрична), кВт	7/3,8
Максимальна потужність нагріву (теплова/електрична), кВт	14/14
Робоча температура повітря при експлуатації, °С	-40 ... +55
Гранична робоча температура повітря при експлуатації, °С	-50 ... +60
Маса, кг	50
Номінальна продуктивність насоса не менш, л/хв	45

Як було зазначено раніше, кількість споживаної електричної енергії системою термостатування залежить від температури навколишнього повітря та визначається режимами її роботи, які включаються системою управління. Система включена в роботу постійно та функціонує по одному з режимів: циркуляція теплоносія, коли працює тільки насос та радіатор пасивного охолодження; охолодження, коли працює насос та чилер; підігрів, коли працює насос та підігрівач [12].

Датчики визначають температуру тягової акумуляторної батареї. Якщо вона перевищує 25°C, то починається її охолодження лише на рівні 1, коли температура теплоносія становить 21°C. У цьому режимі система функціонує доти, доки температура тягової акумуляторної батареї не опуститься до 21°C. Коли температура тягової акумуляторної батареї знижується нижче 19°C, починається її підігрів, який забезпечується за допомогою теплоносія, підігрітого до температури 23°C. Подібні дії спостерігаються і на наступному рівні охолодження та підігріву, тільки в цьому випадку забезпечується нижча температура теплоносія у першому випадку та вища – у другому.

При цьому, як раніше було вказано, температура тягової акумуляторної батареї також залежить і від режиму руху транспортного засобу. Збільшення кількості прискорень призводить до зростання показника, що розглядається, в

результаті даний процес збільшує інтенсивність роботи системи термостатування [22]. Так у роботі [10] зазначено, що за цикл експлуатації електробуса, що дорівнює 2,5 години, температура акумулятора підвищується на 8°C . При цьому використання ультрашвидкої зарядної станції для відновлення заряду призводить до подальшого зростання різниці понад 10°C .

В результаті можна висунути припущення про те, що при температурі акумуляторної тягової батареї від $+14$ до $+30^{\circ}\text{C}$ спостерігається мінімальна кількість споживаної енергії системою термостатування. Подальше її відхилення призводить до збільшення різниці температури теплоносія і температури тягової акумуляторної батареї, що збільшує інтенсивність роботи системи, що розглядається. При цьому необхідно враховувати, що в режимі експлуатації електробуса на регулярному міському маршруті при відновленні заряду за допомогою ультрашвидких зарядних станцій температура тягової акумуляторної батареї збільшується більш ніж на 10°C . Зростання прискорень на регулярному міському маршруті сприяє збільшенню даного значення.

Температура в салоні електробуса підтримується за допомогою встановлення системи «клімат-контроль», що створює комфортні умови для пасажирів під час поїздки. Включення в роботу даного обладнання також призводить до зростання витрати електроенергії електробусом, оскільки воно споживає енергію з тягової акумуляторної батареї. Потужність, споживана установкою «клімат-контроль» залежить від різниці температури навколишнього повітря та в салоні транспортного засобу. Відповідно до соціального стандарту транспортного обслуговування населення в салоні транспортного засобу повинна підтримуватися температура не вище 25°C при середньодобовій температурі навколишнього повітря вище 20°C . І не менше 12°C за середньодобової температури навколишнього повітря нижче 5°C .

Для обігріву салону та кабіни водія електробуса, для зниження витрати електроенергії, вони обладнані дизельними автономними обігрівачами. У ході аналізу даних про експлуатацію електробусів було встановлено, що при температурі навколишнього повітря нижче 5°C для обігріву салону та кабіни

транспортного засобу використовують зазначене обладнання, що дозволяє зробити висновок про необхідність вивчення впливу встановлення системи «клімат-контроль» на витрату електроенергії електробусом лише за додатних температур навколишнього повітря.

Відповідно до відомих даних, збільшення ефективної температури навколишнього повітря призводить до збільшення температури в салоні транспортного засобу, а, отже, збільшує різницю між фактичним і необхідним значенням. В результаті спостерігається збільшення споживаної потужності установкою «клімат-контроль» та збільшується розрядна потужність тягової акумуляторної батареї. При цьому в результаті теплообміну з навколишнім середовищем різниця температур становить 8°C і більше.

Відповідно до представлених результатів аналізу раніше виконаних робіт та особливостей експлуатації існуючих електробусів можна зробити висновок про те, що при температурі понад 18°C включається в роботу установка «клімат-контроль», потужність якої визначається різницею температур зовнішнього та внутрішнього повітря. За негативних температур установка «клімат-контроль» не працює, оскільки опалення слона та кабіни відбувається за допомогою автономного дизельного обігрівача.

Як було встановлено раніше, витрата електроенергії електробусом визначається споживаною потужністю тяговим електродвигуном, яка залежить від сил опору, що долаються (рисунок 2.2), а, отже, таких величин, як коефіцієнт опору коченню і густина повітря. При зниженні температури навколишнього повітря спостерігається зростання даних величин, що також впливає на витрату електроенергії електробусом на міському регулярний маршруті.

Внаслідок впливу умов експлуатації, що визначаються температурою навколишнього повітря та впливають на зміну витрати електроенергії електробусом, представлено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Складові витрати електроенергії електробусом, що залежать від температури навколишнього повітря

Складові витрати електроенергії електробусом	Наявність або відсутність складової	
	Низькотемпературні умови експлуатації	Високотемпературні умови експлуатації
Збільшення опору шин	+	-
Підвищення аеродинамічного опору	+	-
Робота системи термостатування тягових батарей	+	+
Робота установки «клімат-контроль» в салоні автобуса	-	+

Таким чином, на основі наведених положень висунуто припущення про вплив температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом: відхилення температури навколишнього повітря від оптимального значення у бік позитивних або негативних величин призводить до збільшення витрати електроенергії електробусом. Даний вплив графічно можна подати за допомогою квадратичної функції, що відображено на рисунк 2.5.



Рисунок 2.5 – Вплив температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом

Аналіз форми аналізованої закономірності дозволяє висунути припущення про вид математичної моделі впливу температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом:

$$q_{eet} = q_{t0} - c(t - t_0)^2, \quad (2.14)$$

де q_{t0} - оптимальна витрата електроенергії електробусом по температурі, кВт·год/км;

c – параметр моделі, кВт·год/(км·°C²);

t – фактична температура навколишнього повітря, °C;

t_0 – оптимальна температура навколишнього повітря за витратою електроенергії електробусом, °C.

2.3 Математична модель впливу швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом

Отримані однофакторні моделі, представлені в підрозділі 2.2, є основою багатфакторної моделі, яка дозволить враховувати спільний вплив швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом у методиці, що розробляється. Для розробки багатфакторної моделі спочатку було виконання перемноження однофакторних моделей:

$$\begin{aligned} q_{ee} &= q_{eev} \times q_{eet} = (q_{vc} - a \cdot v_c) (q_{t0} - c(t - t_0)^2) = \\ &= q_{vc} q_{t0} - a v_c q_{t0} + q_{vc} c (t - t_0)^2 - a v_c c (t - t_0)^2. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Враховуючи, що в аналізованому рівнянні як змінні використовується тільки v_c і $(t - t_0)$, багатфакторна модель виглядатиме таким чином:

$$q_{ee} = q_{ee0} - a_1 v_c + c_1 (t - t_0)^2 - b_1 v_c (t - t_0)^2, \text{ при } v_c = (10; 30], v_i < 60, \quad (2.16)$$

де q_{ee0} – коректована витрата електроенергії електробусом з урахуванням умов експлуатації, кВт·год/км;

a_1, c_1, b_1 – параметри моделі, кВт·год²/км², кВт·год/(км·°C²), кВт·год²/(км·°C)².

Додатково при розробці багатофакторної моделі були проаналізовані існуючі їх види: мультиплікативна або адитивна – та умови вибору.

Мультиплікативна модель застосовується за наявності спільного впливу факторів як на вихідний параметр, так і один на одного. Вона має вигляд:

$$Y = \prod_{i=1}^n f(x_i). \quad (2.17)$$

За наявності незалежних ефектів впливу факторів на вихідний параметр застосовується адитивна модель:

$$Y = \sum_{i=1}^n f(x_i). \quad (2.18)$$

Вибір моделі здійснюється з урахуванням її складності, точності, ефективності, наочності та простоти застосування [27]. Важливим етапом є оцінка чисельних значень, які отримуються в результаті застосування моделі. Так, у мультиплікативної моделі рівність нулю одного з факторів призводить до обнулення одержуваного результату, що не спостерігається при використанні адитивної моделі.

При виборі виду багатофакторної моделі необхідно враховувати такі умови:

- характер зміни функції, наявність екстремуму чи монотонності зміни параметрів;

- наявність асимптот при $x \rightarrow 0$ та при $x \rightarrow \infty$;

- природа впливу факторів на функцію відгуку;

- наявність обов'язкових точок при побудові графіка залежності.

Висунуті раніше припущення дозволяють зробити висновок про те, що витрата електроенергії електробусом монотонно зменшується зі збільшенням швидкості сполучення в діапазоні.

Відповідно до рисунка 2.5, який відображає вплив температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом, встановлено, що функція відгуку має екстремум, що досягається при оптимальному значенні температури навколишнього повітря та відповідає мінімуму вихідного параметра (витрата електроенергії електробусом).

Для виявлення обов'язкових точок при побудові графіка попередньо було призначено координатні осі вхідним та вихідним параметрам функції:

- вісь OX визначає значення швидкості сполучення електробуса на маршруті, км/год;
- вісь OY визначає значення температури навколишнього повітря, С;
- вісь OZ визначає витрату електроенергії електробусом, кВт·год/км.

На підставі поданих вище положень висунуто припущення про обов'язкові точки. Це точки, які обмежують аналізований діапазон значень швидкості сполучення - $(X_{\max}; Y_2; Z_2); (X_{\min}; Y_1; Z_1)$. Також слід задати точку на площині, яка буде відповідати нульовій температурі навколишнього повітря, але при цьому збережеться вплив швидкості сполучення на функцію відгуку $(X_3; 0; Z_3)$. Точка екстремуму, що виникає в результаті впливу температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом, може бути задана $(X_4; t_0; q_{ee4})$. Дані точки свідчать про незалежність впливу кожного з факторів на функцію відгуку, що свідчить про необхідність застосування адитивної моделі та підтверджує отриманий вираз (2.16). Результати аналізу умов, що враховуються під час виборів багатofакторної моделі, представлені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Результати аналізу виду впливу швидкості повідомлення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом

Характеристики функції	Опис характеристик функції	
	$q_{eev} = f(v_c)$	$q_{eei} = f(t)$
Характер монотонності функції	монотонно зменшується зі збільшенням v_c	немонотонна при $t \in (-\infty; t)$ зменшується, а при $t \in (t; +\infty)$ зростає
Наявність обмежень діапазону	(10;30]	немає
Обов'язкові точки графіка	$(v_{cmin}; t1; q_{ee1}); (v_{cmax}; t2, q_{ee2}); (v_{c3}; 0; q_{ee3}); (v_{c4}; t0; q_{ee4})$	

Однак при розгляді отриманої багатofакторної математичної моделі (2.16) необхідно зазначити, що там є змішаний ефект. Необхідність врахування змішаного ефекту в моделі ґрунтується на пошуку балансу між простотою, адекватністю та фізичним змістом. Адекватність отриманої моделі буде розрахована далі. У цьому підрозділі можна зробити висновок про необхідність врахування змішаного ефекту. Це пов'язано з тим, що температура тягової акумуляторної батареї залежить не тільки від температури навколишнього повітря, а й від швидкості сполучення. При цьому температура навколишнього повітря також впливає на сили опору при русі транспортного засобу. Таким чином, висунуто припущення про вид математичної моделі у вигляді (2.16), яка враховує як головні, а й змішаний ефект.

2.4 Удосконалення методики нормування витрати електричної енергії електробусом на міському регулярному маршруті

Розроблена математична модель, яка описує вплив швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом, є

основою методики, що пропонується. Необхідність створення методики нормування витрати електроенергії електробусом обумовлена відсутністю чинних нормативно-правових актів у галузі, що розглядається, і підвищенням точності розрахунку аналізованого вихідного параметра для коректного визначення запасу ходу і відповідно вибору раціонального міського регулярного маршруту для введення в експлуатацію та розташування на ньому зарядної інфраструктури.

Для розробки процедур нормування було запроваджено поняття питомої та маршрутної норми витрати електроенергії електробусом. *Питома норма витрати електроенергії електробусом* – це розрахункова величина, що визначається відповідно до даних виробника та відповідає кількості електричної енергії, що витрачається електробусом на рух та його допоміжні потреби. Вимірюється у кВт·год/км. *Маршрутна норма витрати електроенергії* – це кількість електричної енергії, що споживається електробусом при переміщенні на 1 км за маршрутом, що характеризується дорожніми, транспортними та природно-кліматичними умовами. *Коефіцієнт врахування техніко-експлуатаційних показників маршруту та природнокліматичних факторів* – це коефіцієнт, що коригує значення питомої норми витрати електроенергії електробусом та дозволяє розрахувати маршрутну норму. В результаті розроблена математична модель (2.16) у методиці використовується для розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом. Питома норма витрати електроенергії електробусом розраховується як відношення ємності тягової акумуляторної батареї до встановленого виробником запасу ходу:

$$q_{еввир} = \frac{Q_{ТАБ}}{L}, \quad (2.19)$$

де $Q_{ТАБ}$ – ємність тягової акумуляторної батареї, кВт · год;

L - запас ходу електробуса, км.

Відношення маршрутної до питомої норми витрати електроенергії електробусом дозволяє розрахувати коефіцієнт врахування показників маршруту та природно-кліматичних факторів:

$$k = \frac{q_{ee}}{q_{ee\text{вир}}}, \quad (2.19)$$

де q_{ee} - маршрутна норма витрати електроенергії електробусом, кВт · год / км;

$q_{ee\text{вир}}$ – питома норма витрати електроенергії електробусом, кВт·год/км.

Процеси, що протікають при функціонуванні системи «електробус-зарядна інфраструктура», можуть мати випадковий характер. Так однакова маршрутна норма витрати електроенергії електробусом може бути досягнута за різних значень факторів. У цьому їх зміна відбувається у часі. Тому для коректного врахування факторів, що впливають на маршрутну норму витрати електробуса, та їх вплив на вибір раціонального міського регулярного маршруту для його експлуатації, необхідно це положення враховувати при розробці алгоритму, який представлений на рисунку 2.6.

Як вихідні дані алгоритму використовуються ряди значень швидкості сполучення та температури навколишнього повітря, які можуть спостерігатися на міському регулярному маршруті. На основі даних розраховується маршрутна норма витрати електроенергії електробусом для кожної комбінації. При цьому попередньо на основі даних про запас ходу та ємності тягових акумуляторних батарей розраховується питома норма витрати електроенергії електробусом. Відношення маршрутної норми до цієї величини дозволяє визначити додатково коефіцієнт врахування техніко-експлуатаційних показників маршруту та швидкості сполучення.

За отриманими значеннями маршрутної норми витрати електроенергії електробусом та коефіцієнта врахування техніко-експлуатаційних показників маршруту та природно-кліматичних факторів розраховуються їхні математичні очікування, які виводяться внаслідок виконання алгоритму.

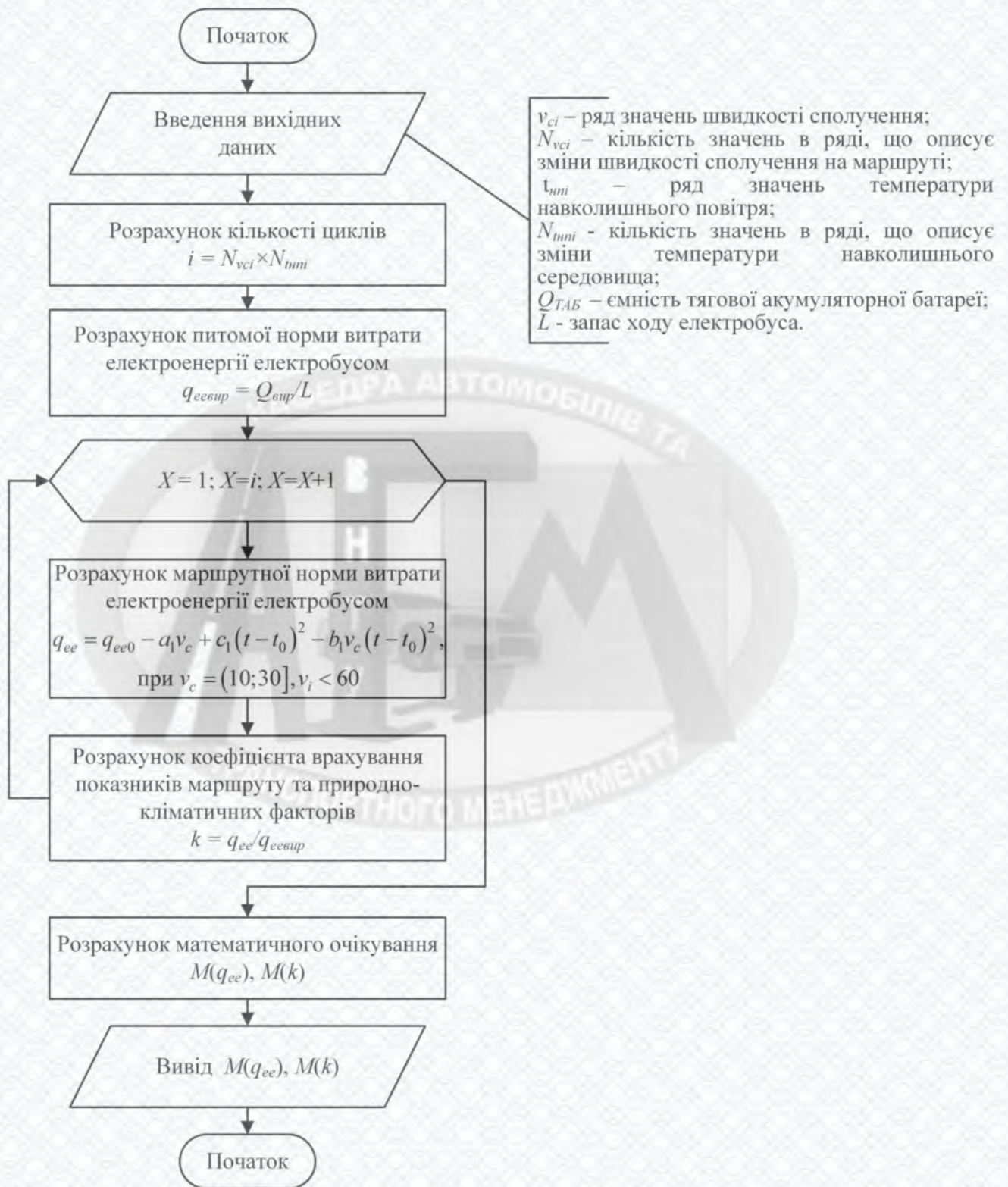


Рисунок 2.6 – Алгоритм нормування витрати електроенергії електробусом на міському маршруті

2.5 Висновки

1. У результаті систематизації дорожніх та транспортних умов експлуатації, що впливають на витрату електроенергії електробусом, сформульовано пропозицію про можливість як комплексний фактор розглядати швидкість сполучення. З природно-кліматичних умов у міському середовищі за високої щільності забудови встановлено, що переважаючим чинником є температура навколишнього повітря. Висунуті припущення про значущість даних факторів при розрахунку витрати електроенергії електробусом підтверджені шляхом опитування експертів методом їхнього попарного порівняння.

2. Виявлено вид закономірності впливу швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на маршрутну норму витрати електроенергії електробусом. Виявлені закономірності враховані при розробці математичної моделі маршрутної норми витрати електроенергії електробусом.

3. Розроблено алгоритм нормування витрати електроенергії електробусом, основу якого є математична модель. Він дозволяє за рахунок урахування значень швидкості сполучення та температури навколишнього повітря розрахувати маршрутну норму витрати електроенергії електробусом та коефіцієнт врахування техніко-експлуатаційних показників маршруту та природно-кліматичних факторів.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОБУСОМ

3.1 Передумови дослідження

В даному розділі наведено дослідження витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті. Методика досліджень передбачає проведення пасивного експерименту і включає наступні укрупнені етапи:

1) збір вихідних даних про техніко-експлуатаційні показники маршрутів; умови експлуатації електробусів;

2) розрахунок витрати електричної енергії електробуса на міському регулярному маршруті;

3) виявлення закономірностей впливу швидкості сполучення на витрату електроенергії електробусом;

4) виявлення закономірностей впливу температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом;

5) визначення параметрів математичної моделі та перевірка її адекватності.

Вибір пасивного експерименту в ході проведення дослідження обумовлений зниженням трудомісткості та тривалості виміру необхідних значень. Сучасні системи збору даних про функціонування транспортних засобів на маршруті дозволили отримати вихідні дані для розрахунку у період 2023-2024 років для електробуса КП «Вінницька транспортна компанія».

Збір вихідних даних виконувався при експлуатації електробуса Skywell на маршруті №19.

Попередньо перед початком розрахунку було прийнято такі припущення:

1) заряд тягової акумуляторної батареї перед початком зміни становить 100%;

2) заряд електробуса відбувається тільки в депо.

В результаті для розрахунку аналізованого вихідного параметра необхідно було тільки зіставити дані про кількість спожитої електричної енергії електробусом і пробіг, виконаний на момент початку зарядної сесії. Потім отримані значення витрати електроенергії електробусом зіставлялися з даними про швидкість сполучення та температуру навколишнього повітря на маршруті при виконанні рейсів між зарядними сесіями. При виконанні декількох рейсів між зарядними сесіями для розрахунку приймалося математичне очікування факторів, що враховуються в моделі.

Швидкість сполучення була розрахована на основі даних про час прибуття на кінцеві зупинки, які дозволили розрахувати час руху транспортного засобу по довжині маршруту. Розрахункові значення даного фактора були занесені до таблиці, за якою розраховувалося математичне очікування величини, що розглядається, для рейсів, що виконуються між зарядними сесіями. Температура навколишнього повітря фіксувалася кожні 3 години на території, де пролягає маршрут.

В результаті було отримано таблицю, в якій для кожного значення витрати електроенергії на маршруті було визначено швидкість сполучення та температура навколишнього повітря. Фрагмент результатів подано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фрагмент результатів розрахунку витрати електроенергії електробусом на маршруті, швидкості сполучення та температури навколишнього повітря

Температура навколишнього повітря, °С	Швидкість сполучення, км/год	Витрата електроенергії електробусом, кВт·год/км
6	14,5	1,01
-7	14,8	1,45
11	14,8	0,76
32	14,8	2,32
10	15,0	1,01
-14	15,2	1,06
-15	15,3	1,91
-14	15,5	1,04
-22	16,1	0,96
30	16,4	1,33

3.2 Обробка отриманих даних

Як було зазначено у розділі 2, процеси, що протікають при функціонуванні електробусів, мають випадковий характер. Це зумовлює особливості обробки отриманих даних, а саме, необхідність угруповання значень та розрахунку математичного очікування факторів та вихідного параметра для кожного діапазону. Однак попередньо одержана вибірка була перевірена на наявність грубих помилок за критерієм Шарльє. У цьому випадку значення відхиляється за умови (3.1):

$$|x_i - \bar{x}| > K_s S, \quad (3.1)$$

де x_i - значення вихідного параметра, що розглядається;

\bar{x} – середнє значення вихідного параметра, що розглядається;

K_s – критичне значення критерію Шарльє;

S – стандартне відхилення.

Кількість діапазонів розрахована відповідно до формули Стерджеса:

$$N = \text{int}(1 + 3.21 \lg n), \quad (3.2)$$

де n – обсяг вибірки.

У кожному діапазоні розраховані коефіцієнти варіації витрати електроенергії електробуса та побудовано експериментальну функцію щільності розподілу для перевірки її відповідності нормальному закону розподілу. У разі підтвердження нормального закону розподілу за критерієм Пірсона (χ^2) розрахований мінімальний обсяг вибірки в діапазоні, що розглядається, за формулою:

$$n = \frac{v^2 t_\alpha^2}{\Delta^2}, \quad (3.3)$$

де ν - коефіцієнт варіації витрати електроенергії електробусом;

t_α – статистика Стюдента, яка залежить від прийнятої довірчої ймовірності α ;

Δ – відносна помилка.

У результаті кожного виділеного діапазону розраховане математичне очікування витрати електроенергії електробусом, швидкості сполучення та температури навколишнього повітря. Отримані значення зведено загальну таблицю, що стала основою розробки регресійних моделей. Оскільки математична модель, що розробляється, вид яка представлена в розділі 2, не є лінійною, то для визначення її параметрів і статистичних характеристик попередньо проводилася її лінеаризація шляхом заміни змінних відповідно до формул, представлених у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Лінеаризація математичних моделей

Вихідна математична модель	Лінеаризуюче перетворення для переходу до рівняння $q_{ee}=a_0+a_1(t)$		Параметри вихідного рівняння	
	q_{ee}	(t)	q_{vcmin}	$a(c)$
$q_{ee} = q_{eevcmin} + c(t-t_0)^2$	q_{ee}	$(t-t_0)^2$	$q_{eevcmin}$	c

Отримані значення параметрів математичних моделей було підставлено у рівняння (2.13), що дозволило розрахувати її статистичні характеристики.

Кореляційне відношення для однофакторних моделей та коефіцієнт множинної кореляції для багатофакторної моделі з метою оцінки тісноти зв'язків факторів та витрати електроенергії електробусом були розраховані за формулами (3.4) та (3.5) відповідно:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_{eee} - q_{eem})^2}{S_{q_{ee}}^2}}, \quad (3.4)$$

де n - кількість значень у вибірці;

q_{eee} – експериментально отримане значення витрати електроенергії електробусом, кВт·год/км;

q_{eem} – розрахункове значення витрати електроенергії електробусом, кВт·год/км;

S_{qee} – стандартне відхилення витрати електроенергії електробусом, кВт·год/км.

$$\hat{R} = \sqrt{1 - \frac{\frac{1}{n-m-1} \sum_{i=1}^n (q_{eee} - q_{eem})^2}{S_{qee}^2}}, \quad (3.5)$$

де m - кількість факторів, що враховуються в моделі.

Отримане значення вважається значущим під час виконання умови:

$$t = \frac{|\eta|}{\sqrt{1-\eta^2}} \sqrt{n-2} \geq t_p, \quad (3.6)$$

де t_p – довідкове значення критерію Стьюдента при довірчій ймовірності p та числі ступенів свободи $n-2$.

Адекватність отриманої математичної моделі оцінюється шляхом порівняння дисперсійного відношення та критерію Фішера за умовою:

$$F = \frac{S_{qee}^2}{S_{скв}^2} \geq F_p, \quad (3.7)$$

де $S_{скв}$ - середньоквадратичне відхилення розрахункових значень від експериментальних;

F_p - довідкове значення критерію Фішера при довірчій ймовірності p і ступенів свободи $n-2$.

3.3 Результати експериментальних досліджень

Відповідно до методики експериментальних досліджень обробка даних складається з кількох етапів:

- 1) розрахунок витрати електроенергії електробусом, визначення швидкості сполучення та температури навколишнього повітря;
- 2) формування вибірки для регресійного та кореляційного аналізу шляхом угруповання вихідних даних;
- 3) регресійний та кореляційний аналіз.

Обробка експериментальних досліджень виконувалася за допомогою програми MS Office Excel.

Загальний обсяг вибірки для попереднього аналізу даних становив 385 значень. Сформований ряд попередньо було перевірено на наявність грубих помилок за допомогою критерію Шарльє за формулою (3.1). Внаслідок їх виключення з вихідних даних обсяг вибірки скоротився до 369 значень. Відповідно до представленої методики експериментальних досліджень попередньо отримані значення були згруповані на кілька діапазонів, кількість яких була розрахована за формулою (3.2). За швидкістю сполучення дані були згруповані в 10 діапазонів, і така кількість груп даних було отримано за температурою навколишнього повітря. Таким чином, вибірка була поділена на 100 діапазонів. Довжина інтервалу була розрахована як відношення розмаху варіювання кількості інтервалів. За швидкістю сполучення довжина інтервалу становила 1,3 км/год, а, по температурі навколишнього повітря – 5,7°C. Для кожного з них була отримана функція щільності розподілу ймовірностей, на вигляд якої було обрано закон розподілу. В результаті було встановлено, що отримані розподіл випадкової величини можуть бути описані за допомогою нормального закону розподілу. Це припущення було підтверджено за допомогою критерію Пірсона (χ^2), розрахованого за формулою:

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^N \frac{(f_{емп}^{(i)} - f_{теор}^{(i)})^2}{f_{теор}^{(i)}} h_i \leq \chi_p^2, \quad (3.8)$$

де n - кількість значень у вибірці;

$f_{емп}^{(i)}$ - емпіричне значення диференціальної функції розподілу в i -му інтервалі;

$f_{теор}^{(i)}$ - теоретичне значення диференціальної функції розподілу в i -му інтервалі;

h_i - довжина інтервалу;

χ_p - довідникове значення критерію Пірсона за ймовірності p та числі ступенів свободи $n-2$.

Результати розрахунку критерію Пірсона представлено таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати розрахунку критерію Пірсона

Температура навколишнього повітря, °C	Швидкість сполучення, км/год	Розрахункове значення критерію Пірсона	Табличне значення критерію Пірсона	Ймовірність
1	2	3	4	5
-21,3...-15,7	12,8...14,1	0,20	106,5	0,90
-15,7...-10,0	12,8...14,1	0,04	106,5	0,90
-10,0...-4,3	12,8...14,1	0,10	63,2	0,90
-4,3...1,3	12,8...14,1	0,13	13,4	0,90
1,3...7,0	12,8...14,1	0,13	17,3	0,90
7,0...12,7	12,8...14,1	0,20	30,8	0,90
12,7...18,3	12,8...14,1	0,15	19,8	0,90
18,3...24,0	12,8...14,1	0,06	13,4	0,95
24,0...29,7	12,8...14,1	0,10	27,2	0,90
29,7...35,3	12,8...14,1	0,08	27,2	0,90
-21,3...-15,7	14,1...15,4	0,44	40,3	0,90
-15,7...-10,0	14,1...15,4	0,21	17,3	0,90
-10,0...-4,3	14,1...15,4	0,11	10,6	0,90
-4,3...1,3	14,1...15,4	0,20	12,0	0,90
1,3...7,0	14,1...15,4	0,17	14,7	0,90
7,0...12,7	14,1...15,4	0,22	19,8	0,90
12,7...18,3	14,1...15,4	0,35	21,1	0,90
18,3...24,0	14,1...15,4	0,07	24,8	0,90

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
24,0...29,7	14,1...15,4	0,08	24,8	0,90
29,7...35,3	14,1...15,4	0,02	19,8	0,90
-21,3...-15,7	15,4...16,7	1,05	247,3	0,90
-15,7...-10,0	15,4...16,7	0,73	268,5	0,90
-10,0...-4,3	15,4...16,7	0,08	166,1	0,90
-4,3...1,3	15,4...16,7	0,07	103,2	0,90
1,3...7,0	15,4...16,7	0,26	41,4	0,90
7,0...12,7	15,4...16,7	0,21	9,2	0,90
12,7...18,3	15,4...16,7	0,11	115,2	0,90
18,3...24,0	15,4...16,7	0,24	35,6	0,90
24,0...29,7	15,4...16,7	0,02	13,4	0,90
29,7...35,3	15,4...16,7	0,07	19,8	0,90
-21,3...-15,7	16,7...18,0	0,01	9,2	0,90
-15,7...-10,0	16,7...18,0	0,12	30,8	0,90
-10,0...-4,3	16,7...18,0	0,02	33,2	0,90
-4,3...1,3	16,7...18,0	0,12	84,4	0,90
1,3...7,0	16,7...18,0	0,03	88,8	0,90
7,0...12,7	16,7...18,0	0,18	40,3	0,90
12,7...18,3	16,7...18,0	0,07	34,4	0,90
18,3...24,0	16,7...18,0	0,21	26,0	0,90
24,0...29,7	16,7...18,0	0,01	9,2	0,90
29,7...35,3	16,7...18,0	0,01	14,7	0,90
-21,3...-15,7	18,0...19,2	0,29	22,3	0,90
-15,7...-10,0	18,0...19,2	0,25	22,3	0,90
-10,0...-4,3	18,0...19,2	0,05	7,8	0,90
-4,3...1,3	18,0...19,2	0,02	30,8	0,90
1,3...7,0	18,0...19,2	0,19	13,4	0,90
7,0...12,7	18,0...19,2	0,04	13,4	0,90
12,7...18,3	18,0...19,2	0,01	30,8	0,90
18,3...24,0	18,0...19,2	0,02	30,8	0,90
24,0...29,7	18,0...19,2	0,30	22,3	0,90
29,7...35,3	18,0...19,2	0,05	7,8	0,90
-21,3...-15,7	19,2...20,5	0,30	22,3	0,90
-15,7...-10,0	19,2...20,5	0,02	16,0	0,90
-10,0...-4,3	19,2...20,5	0,19	13,4	0,90
-4,3...1,3	19,2...20,5	0,07	13,4	0,90
1,3...7,0	19,2...20,5	0,09	9,2	0,90
7,0...12,7	19,2...20,5	0,19	13,4	0,90
12,7...18,3	19,2...20,5	0,05	13,4	0,90
18,3...24,0	19,2...20,5	0,08	30,8	0,90

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
24,0...29,7	19,2...20,5	0,05	30,8	0,90
-21,3...-15,7	20,5...21,8	0,03	10,6	0,90
-15,7...-10,0	20,5...21,8	0,13	16,0	0,90
-10,0...-4,3	20,5...21,8	0,05	13,4	0,90
-4,3...1,3	20,5...21,8	0,09	9,2	0,90
1,3...7,0	20,5...21,8	0,19	9,2	0,90
7,0...12,7	20,5...21,8	0,17	10,6	0,90
12,7...18,3	20,5...21,8	0,10	9,2	0,90
18,3...24,0	20,5...21,8	0,13	16,0	0,90
24,0...29,7	20,5...21,8	0,02	30,8	0,90
29,7...35,3	20,5...21,8	0,19	13,4	0,90
-21,3...-15,7	21,8...23,1	0,29	17,3	0,90
-15,7...-10,0	21,8...23,1	0,04	19,8	0,90
-10,0...-4,3	21,8...23,1	0,13	9,2	0,90
-4,3...1,3	21,8...23,1	0,09	13,4	0,90
1,3...7,0	21,8...23,1	0,06	10,6	0,90
7,0...12,7	21,8...23,1	0,23	14,7	0,90
12,7...18,3	21,8...23,1	0,02	10,6	0,90
18,3...24,0	21,8...23,1	0,16	10,6	0,90
24,0...29,7	21,8...23,1	0,03	13,4	0,90
29,7...35,3	21,8...23,1	0,04	29,6	0,90
-21,3...-15,7	23,1...24,4	0,10	19,8	0,90
-15,7...-10,0	23,1...24,4	0,30	21,1	0,90
-10,0...-4,3	23,1...24,4	0,22	13,4	0,90
-4,3...1,3	23,1...24,4	0,03	14,7	0,90
1,3...7,0	23,1...24,4	0,01	12,0	0,90
7,0...12,7	23,1...24,4	0,13	17,3	0,90
12,7...18,3	23,1...24,4	0,03	12,0	0,90
18,3...24,0	23,1...24,4	0,18	13,4	0,90
24,0...29,7	23,1...24,4	0,03	13,4	0,90
-21,3...-15,7	24,4...25,7	0,20	13,4	0,90
-15,7...-10,0	24,4...25,7	0,20	13,4	0,90
-10,0...-4,3	24,4...25,7	0,08	14,7	0,90
-4,3...1,3	24,4...25,7	0,08	21,1	0,90
1,3...7,0	24,4...25,7	0,08	13,4	0,90
7,0...12,7	24,4...25,7	0,05	17,3	0,90
12,7...18,3	24,4...25,7	0,01	19,8	0,90
18,3...24,0	24,4...25,7	0,54	16,0	0,90
24,0...29,7	24,4...25,7	0,11	16,0	0,90
29,7...35,3	24,4...25,7	0,10	16,0	0,90

Аналіз результатів розрахунку критерію Пірсона, під час якого було встановлено відсутність розрахункових значень критерію Пірсона, що перевищують довідкові значення, дозволив дійти висновку про можливість застосування нормального закону розподілу. У ході розрахунку відносну помилку було прийнято рівною 10%, довірна ймовірність становила 0,90.

Таким чином, на основі проведеного попереднього аналізу даних та угруповання їх за інтервалами була отримана матриця двофакторного пасивного експерименту (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Матриця двофакторного пасивного експерименту

Температура навколишнього повітря, °С	Швидкість сполучення, км/год					
	13,4	14,7	17,3	19,9	22,4	25,1
	Витрата електроенергії електробусом, кВт·год/км					
-18,5	1,75	1,35	1,23	1,03	0,95	0,88
-12,8	1,68	1,36	1,14	0,99	0,89	0,82
-7,2	1,59	1,20	1,09	0,94	0,83	0,81
-1,5	1,43	1,19	1,05	0,83	0,77	0,75
4,2	1,37	1,15	1,00	0,83	0,75	0,73
9,8	1,43	1,17	1,04	0,87	0,76	0,72
15,5	1,52	1,19	1,07	0,88	0,80	0,74
21,2	1,6	1,26	1,09	0,97	0,90	0,77
26,8	1,69	1,28	1,20	1,01	0,95	0,81
32,5	1,85	1,44	1,32	1,09	0,97	0,94

Отримані значення стали вихідними даними для регресійного та кореляційного аналізу, який дозволив перевірити висунуті теоретичні припущення про вид закономірностей та математичних моделей впливу швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом.

3.4 Висновки

1. Розроблено методику експериментальних досліджень, яка передбачає збір інформації про особливості функціонування електробусів на міських регулярних маршрутах, температурі навколишнього повітря та параметрах роботи зарядних станцій.

2. Проведено збір даних про витрату електроенергії електробусом Skywell КП «Вінницька транспортна компанія» на маршруті № 19. За отриманими даними, виконано розрахунок витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті.

3. На основі аналізу результатів та розрахунку критерію Пірсона підтверджено припущення про нормальний закон розподілу витрати електроенергії в двофакторній моделі.

4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

4.1 Вплив швидкості сполучення на витрату електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

У ході розробки методики нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті було висунуто припущення про вид закономірності впливу швидкості сполучення на вихідний параметр, що розглядається. Для його підтвердження в ході експериментальних досліджень було отримано дані про швидкість сполучення, які дозволили встановити закономірність її впливу на витрату електроенергії на міському регулярному маршруті на основі експериментальних даних (рисунок 4.1) та порівняти її з теоретичною кривою.

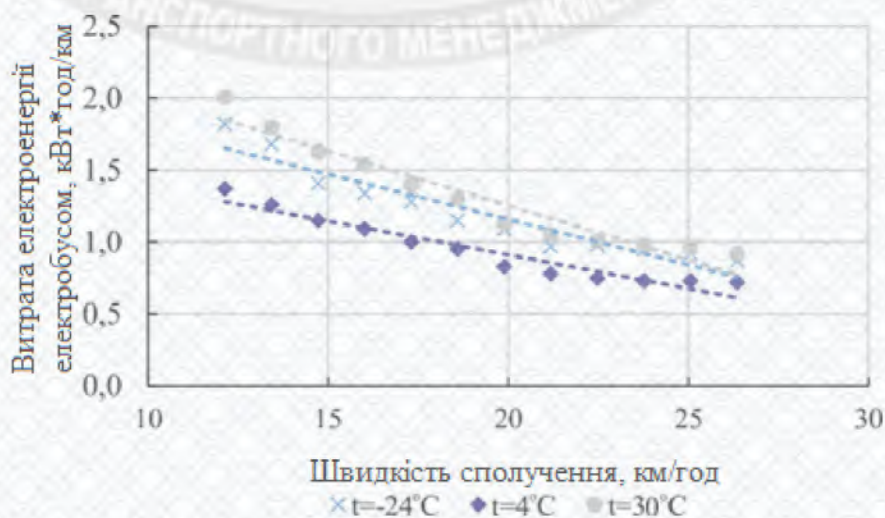


Рисунок 4.1 – Вплив швидкості сполучення на витрату електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

Зростання швидкості сполучення на міському регулярному маршруті сприяє зниженню витрати електроенергії електробусом. Діапазон варіювання залежить

від температури навколишнього повітря та становить від 47,4 до 53,2% (0,65 – 1,09 кВт·год/км), що представлено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Приріст витрата електроенергії електробусом при зниженні швидкості сполучення на міському регулярному маршруті за різної температури навколишнього повітря

	Температура навколишнього повітря, °С									
	-19	-13	-7	-2	4	10	16	21	27	33
Приріст витрати електроенергії електробусом, %	52	52	51	48	47	48	50	50	53	53

Найменший приріст витрати електроенергії електробусом спостерігається за температури навколишнього повітря, якій відповідає мінімальне значення вихідного параметра. Відхилення від цієї величини у бік позитивних чи негативних температур призводить до збільшення діапазону варіювання, що зумовлює зростання значимості впливу дорожніх умов на споживану потужність електродвигуном.

Отримані закономірності можуть бути математично описані за допомогою формули (2.13). Параметри моделей розраховані за допомогою методу найменших квадратів, виконаного для лінеаризованих рівнянь, як зазначено в таблиці 3.2. В результаті підстановки розрахованих значень параметрів отримано однофакторні математичні моделі, які дозволяють визначити витрату електроенергії електробусом за вказаної температури навколишнього повітря на маршруті:

$$\text{При } t = -18,5^{\circ}\text{C}, \quad q_{eev} = 2,35 - 0,06 \times v_c, \text{ при } v_c = [10; 30], v_i < 60.$$

$$\text{При } t = -12,8^{\circ}\text{C}, \quad q_{eev} = 2,25 - 0,06 \times v_c, \text{ при } v_c = [10; 30], v_i < 60.$$

$$\text{При } t = -7,2^{\circ}\text{C}, \quad q_{eev} = 2,07 - 0,05 \times v_c, \text{ при } v_c = [10; 30], v_i < 60.$$

$$\text{При } t = -1,5^{\circ}\text{C}, \quad q_{eev} = 1,91 - 0,05 \times v_c, \text{ при } v_c = [10; 30], v_i < 60.$$

$$\text{При } t = 4,2^{\circ}\text{C}, \quad q_{eev} = 1,85 - 0,05 \times v_c, \text{ при } v_c = [10; 30], v_i < 60.$$

$$\text{При } t = 9,8^{\circ}\text{C}, \quad q_{eev} = 1,93 - 0,05 \times v_c, \text{ при } v_c = [10; 30], v_i < 60.$$

При $t = 15,5^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,02 - 0,05 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = 21,2^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,12 - 0,05 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = 26,8^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,30 - 0,06 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = 32,5^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,51 - 0,07 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

Для отриманих математичних моделей відповідно до методики експериментальних досліджень визначено значення статистичних характеристик, які дозволяють оцінити їхню адекватність та тісноту зв'язків вхідного та вихідного параметрів, які представлені в таблиці 4.2.

Кореляційне відношення, що перевищує значення 0,88, свідчить про високу тісноту кореляційних зв'язків між швидкістю сполучення та витратою електроенергії електробусом. Достовірність даних значень підтверджується виконанням умови, за якої розрахункове значення критерію Стьюдента значно перевищує табличне. Отримані математичні моделі вважатимуться адекватними, оскільки дисперсійне ставлення перевищує критерій Фішера, а середня помилка апроксимації становить менше 10%.

Таблиця 4.2 - Статистичні характеристики математичних моделей

Температура навколишнього повітря, °C	Статистичні характеристики						
	Кореляційне відношення	Розрахункове значення критерія Стьюдента	Табличне значення критерія Стьюдента	Дисперсійне відношення Фішера	Критерій Фішера	Середня помилка апроксимації, %	Довірача ймовірність
-18,5	0,94	8,35	2,18	7,97	2,82	7,87	0,95
-12,8	0,95	9,53	2,18	10,09	2,82	6,41	0,95
-7,2	0,91	7,03	2,18	5,94	2,82	8,66	0,95
-1,5	0,94	9,11	2,18	9,29	2,82	6,41	0,95
4,2	0,90	6,45	2,18	5,15	2,82	8,05	0,95
9,8	0,95	9,23	2,18	9,52	2,82	6,31	0,95
15,5	0,93	8,23	2,18	7,77	2,82	7,35	0,95
21,2	0,88	5,75	2,18	4,30	2,82	9,19	0,95
26,8	0,95	10,04	2,18	11,08	2,82	5,86	0,95
32,5	0,93	7,85	2,18	7,16	2,82	7,14	0,95

Таким чином, отримані експериментально закономірності впливу швидкості сполучення на витрату електроенергії електробусом підтверджують висунуте припущення про їхній вид у ході розробки методики. Результати розрахунку статистичних характеристик математичних моделей, що наведено вище, дозволяють їх застосовувати в ході практичної діяльності.

4.2 Вплив температури навколишнього повітря на витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

Відповідно до теоретично висунутого припущення закономірність впливу температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом має деяке оптимальне значення, при якому спостерігається мінімальне значення вихідного параметра, що розглядається. Відхилення від цієї температури навколишнього повітря у бік позитивних чи негативних значень призводить до зростання витрати електроенергії електробусом. Для підтвердження припущення в ході експериментальних досліджень були отримані дані про температуру навколишнього повітря на маршрутах протягом кожних трьох годин, що дозволило встановити вид експериментальної закономірності (рисунок 4.2) і порівняти її з теоретичної, а також розрахувати параметри математичних моделей та їх статистичні характеристики.

При температурі навколишнього повітря, що дорівнює $+4^{\circ}\text{C}$, спостерігається мінімальна витрата електроенергії електробусом, що дозволяє прийняти це значення як оптимальне. Відхилення від цієї температури навколишнього повітря у бік позитивних чи негативних значень призводить до збільшення витрати електроенергії електробусом на 21,7 – 31,8% (0,20 – 0,64 кВт·год/км), що наведено у таблиці 4.3.

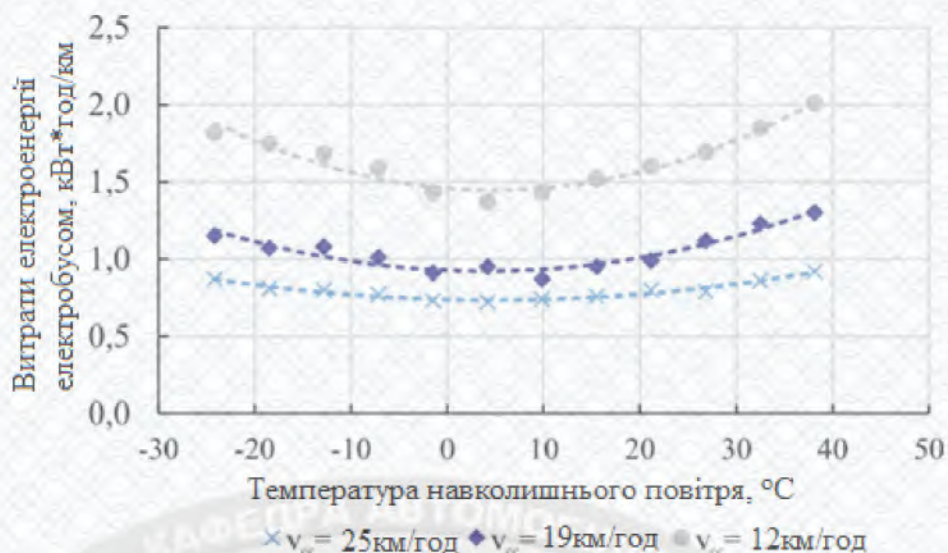


Рисунок 4.2 – Вплив температури навколишнього повітря на витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

Діапазон варіювання витрати електроенергії електробусом за температурою навколишнього повітря збільшується у разі зниження швидкості повідомлення. Це зумовлено збільшенням частки прискорень у режимі руху транспортного засобу, що призводить до підвищення температури тягової акумуляторної батареї та витрат енергії на роботу системи термостатування.

Таблиця 4.3 – Приріст витрати електроенергії електробусом у разі відхилення температури навколишнього повітря від оптимального значення при різних швидкостях сполучення

	Швидкість сполучення, км/год										
	12	13	15	16	17	19	20	21	22	24	25
Приріст витрати електроенергії електробусом, %	32	30	29	29	29	27	27	26	26	26	24

На основі експериментальних даних за допомогою методу найменших квадратів попередньо лінеаризованих рівнянь (таблиця 3.2) розраховано параметри математичної моделі (2.14). В результаті підстановки розрахованих значень (2.14) були отримані математичні моделі (при різних швидкостях сполучення):

При $v_c = 13,4$ км/ч,	$q_{eet} = 1,36 + 0,000454 \times (t-4)^2$.
При $v_c = 14,7$ км/ч,	$q_{eet} = 1,14 + 0,000360 \times (t-4)^2$.
При $v_c = 16,0$ км/ч,	$q_{eet} = 1,10 + 0,000368 \times (t-4)^2$.
При $v_c = 17,3$ км/ч,	$q_{eet} = 1,02 + 0,000354 \times (t-4)^2$.
При $v_c = 18,6$ км/ч,	$q_{eet} = 0,92 + 0,000330 \times (t-4)^2$.
При $v_c = 19,9$ км/ч,	$q_{eet} = 0,87 + 0,000263 \times (t-4)^2$.
При $v_c = 21,2$ км/ч,	$q_{eet} = 0,82 + 0,000203 \times (t-4)^2$.
При $v_c = 22,5$ км/ч,	$q_{eet} = 0,78 + 0,000236 \times (t-4)^2$.
При $v_c = 23,8$ км/ч,	$q_{eet} = 0,76 + 0,0002 \times (t-4)^2$.
При $v_c = 25,1$ км/ч,	$q_{eet} = 0,74 + 0,000226 \times (t-4)^2$.

Для математичних моделей відповідно до методики експериментальних досліджень були розраховані їх статистичні характеристики, які дозволяють оцінити їхню адекватність і тісноту зв'язків факторів і вихідного параметра, що розглядається (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 - Статистичні характеристики математичних моделей

Швидкість сполучення, км/год	Статистичні характеристики						
	Кореляційне відношення	Розрахункове значення критерія Стьюдента	Табличне значення критерія Стьюдента	Дисперсійне відношення Фішера	Критерій Фішера	Середня помилка апроксимації, %	Довірча ймовірність
13,4	0,95	9,20	2,18	9,46	2,82	3,04	0,95
14,7	0,93	8,13	2,18	7,61	2,82	2,52	0,95
16,0	0,99	18,74	2,18	36,11	2,82	1,30	0,95
17,3	0,98	17,57	2,18	31,87	2,82	1,50	0,95
18,6	0,95	9,84	2,18	10,68	2,82	3,18	0,95
19,9	0,95	9,23	2,18	9,51	2,82	2,76	0,95
21,2	0,91	6,88	2,18	5,74	2,82	3,18	0,95
22,5	0,93	7,71	2,18	6,94	2,82	3,42	0,95
23,8	0,94	8,85	2,18	8,84	2,82	2,59	0,95
25,1	0,93	7,95	2,18	7,31	2,82	2,95	0,95

Перевищення кореляційного відношення 0,91 свідчить про високий рівень тісноти кореляційного зв'язку між температурою навколишнього повітря та витратою електроенергії електробусом. Значимість розрахованих значень кореляційного відношення підтверджена, оскільки розрахункове значення критерію Стюдента перевищує табличний. Перевищення дисперсійного відношення Фішера стосовно критерію, а також значення середньої помилки апроксимації, що не перевищує 10%, дозволяють зробити висновок про те, що отримані математичні моделі є адекватними.

В результаті одержані закономірності на основі експериментальних даних підтверджують теоретично висунуті припущення про вид закономірностей впливу температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом. Розраховані статистичні характеристики математичних моделей дозволяють їх застосовувати в практичній діяльності.

4.3 Спільний вплив швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом

У ході обробки експериментальних даних додатково було розглянуто спільний вплив швидкості сполучення та температури навколишнього повітря. У підрозділах 4.1 – 4.2 представлені деякі особливості спільного впливу факторів, що враховуються, на вихідний параметр. Однак для більш наочного подання та аналізу даних побудовано поверхню функції відгуку (рисунок 4.3).

В результаті встановлено, що мінімальне значення вихідного параметра в ряді експериментальних даних, що розглядається, спостерігається при оптимальному значенні температури навколишнього повітря за витратою електроенергії електробусом і максимальної швидкості сполучення. Зниження швидкості сполучення призводить до зростання витрати електроенергії електробусом. Ця величина додатково збільшується при відхиленні температури навколишнього повітря від оптимального значення.

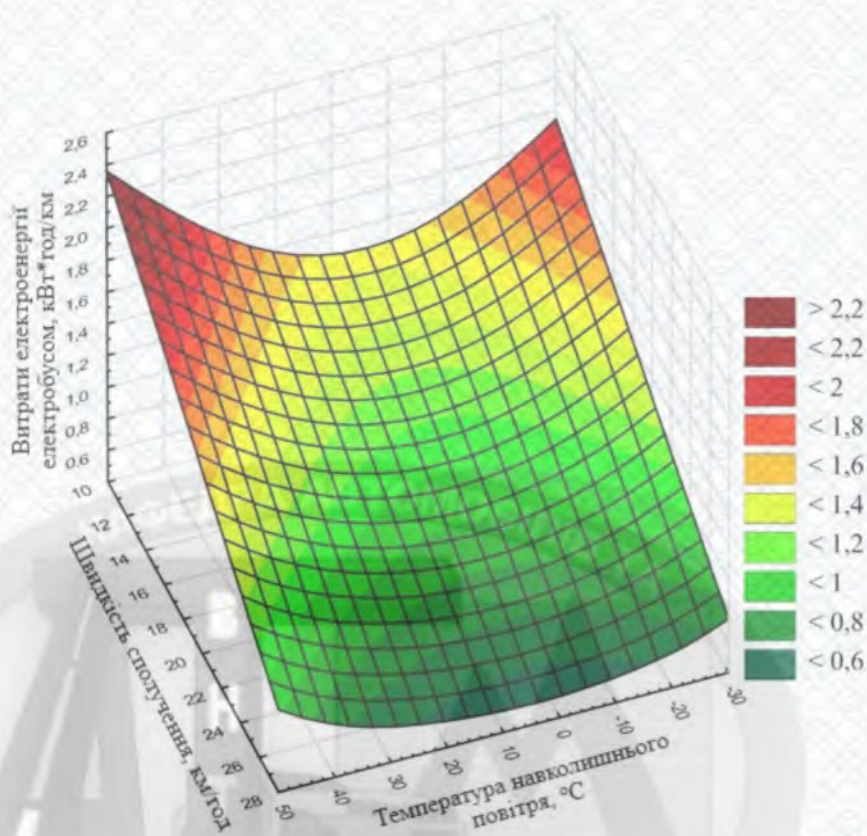


Рисунок 4.3 – Спільний вплив швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

Описані вище особливості формування вихідного параметра відображені в результаті розрахунку абсолютних значень відхилення витрати електроенергії електробусом від мінімального (при максимальній швидкості сполучення, що розглядається, і оптимальній температурі навколишнього повітря) (таблиця 4.5).

Як раніше було зазначено витрата електроенергії електробусом на маршруті, розрахована з урахуванням швидкості сполучення та температури навколишнього повітря, є маршрутною нормою витрати електроенергії електробусом. Тому в результаті обробки експериментальних даних було отримано параметри математичної моделі розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом:

$$q_{ee} = 1,92 - 0,049v_c + 0,000709(t - 4)^2 - 0,000021v_c(t - 4)^2, \quad (4.1)$$

при $v_c = (10; 30], v_i < 60$.

Таблиця 4.5 - Абсолютні значення відхилення витрати електроенергії електробусом від мінімального

Температура навколишнього повітря, °С	Швидкість сполучення, км/год							
	12,1	14,7	16,0	18,6	19,9	22,5	23,8	26,4
	Абсолютне відхилення витрати електроенергії електробусом від мінімального значення при $v_c = 26,4$ км/ч и $t = 4^\circ\text{C}$							
-18,5	0,99	0,62	0,58	0,38	0,30	0,23	0,23	0,29
-12,8	0,88	0,56	0,49	0,34	0,26	0,21	0,17	0,23
-7,2	0,76	0,52	0,44	0,29	0,24	0,13	0,16	0,17
-1,5	0,62	0,47	0,40	0,18	0,14	0,10	0,10	0,05
4,2	0,61	0,44	0,35	0,18	0,13	0,08	0,08	0,00
9,8	0,68	0,45	0,39	0,22	0,17	0,09	0,07	0,04
15,5	0,74	0,52	0,42	0,23	0,22	0,18	0,09	0,11
21,2	0,83	0,57	0,44	0,32	0,28	0,21	0,12	0,15
26,8	0,97	0,64	0,55	0,36	0,31	0,25	0,16	0,25
32,5	1,07	0,75	0,67	0,44	0,37	0,30	0,29	0,34

Для оцінки можливості її подальшого застосування попередньо відповідно до методики експериментальних досліджень було розраховано статистичні характеристики, які дозволили визначити тісноту кореляційного зв'язку факторів та вихідного параметра, а також встановити адекватність отриманої двофакторної моделі (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 - Статистичні характеристики математичної моделі розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом

Кореляційне відношення	Розрахункове значення критерія Стьюдента	Табличне значення критерія Стьюдента	Дисперсійне відношення Фішера	Критерій Фішера	Середня помилка апроксимації, %	Довірча ймовірність
0,96	40,05	1,98	12,30	1,32	6,56	0,95

Отримане значення кореляційного відношення, значимість якого підтверджена в результаті порівняння розрахункового та табличного критеріїв Стьюдента, свідчить про високу тісноту кореляційного зв'язку факторів та вихідного параметра. Дисперсійне ставлення Фішера значно перевищує критерій Фішера, що свідчить про адекватність моделі. Це також підтверджує значення середньої помилки апроксимації, яка не перевищує 10%. Тому розроблена математична модель (4.1) може бути включена до методики нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті.

4.4 Перевірка алгоритму нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

Методика нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті ґрунтується на алгоритмі, який включає розроблену математичну модель розрахунку витрати електроенергії електробусом. Тому під час експериментальних досліджень необхідно додатково оцінити похибку розрахунку витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті з допомогою розробленого алгоритму (рис. 2.10).

За експериментальними даними, отриманими на маршруті №19 у м. Вінниці, було побудовано функцію розподілу щільності ймовірності витрати електроенергії електробусом (рисунок 4.4).

Характеристики функції розподілу наступні:

- Математичне очікування витрати електроенергії електробусом – 0,86 кВт·год/км;
- Коефіцієнт варіації витрати електроенергії електробусом – 0,21;
- Середньоквадратичне відхилення витрати електроенергії електробусом – 0,18.

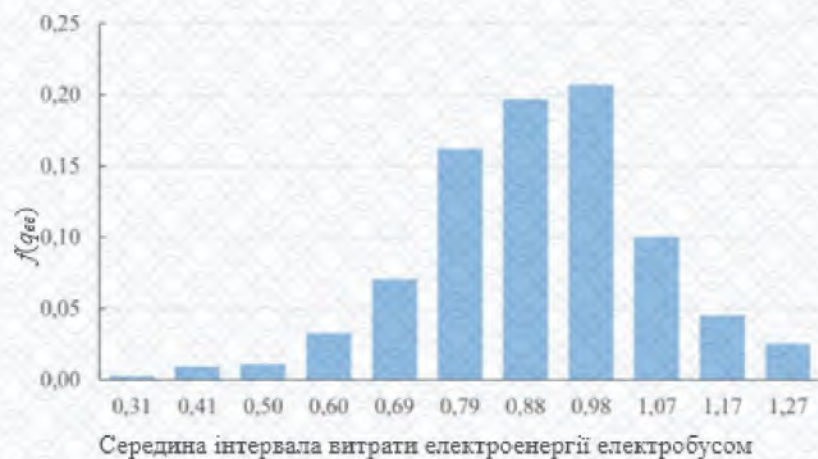


Рисунок 4.4 – Експериментальна функція розподілу витрати електроенергії електробусом на маршруті №19

Вихідними даними для розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом є ряди значень швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на міському регулярному маршруті. Діапазон зміни швидкості сполучення становив від 12 до 25 км/год, а температури навколишнього повітря -24 до 32°C. В результаті для кожної комбінації факторів було розраховано швидкість сполучення та побудовано функцію розподілу щільності ймовірності, яка представлена на рисунку 4.5.

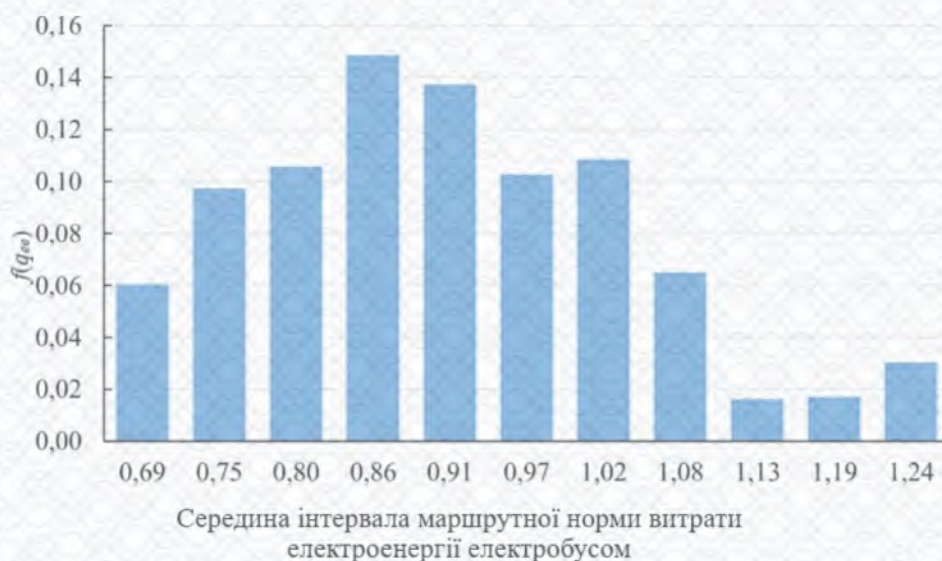


Рисунок 4.5– Функція розподілу маршрутної норми витрати електроенергії електробусом на маршруті №19

Характеристики функції розподілу маршрутної норми витрати електроенергії електробусом наступні:

- Математичне очікування витрати електроенергії електробусом – 0,89 кВт·год/км;
- Коефіцієнт варіації витрати електроенергії електробусом – 0,15;
- Середньоквадратичне відхилення витрати електроенергії електробусом – 0,13.

Розрахункове значення маршрутної норми витрати електроенергії електробусом внаслідок застосування розробленого алгоритму становило 0,89 кВт·год/км.

Таким чином, відхилення розрахункового значення від фактичного складає 0,03 кВт·год/км (3,5%). Порівняння маршрутної норми витрати електроенергії електробусом із фактичним значенням дозволило зробити висновок про можливість застосування розробленого алгоритму на практиці.

4.5 Нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

В результаті теоретичного обґрунтування методики нормування витрати електроенергії електробусом та проведених експериментальних досліджень були виявлені закономірності впливу швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на аналізований вихідний параметр. Дані особливості функціонування електробуса на міському регулярному маршруті враховує маршрутна норма витрати електроенергії електробусом, визначення якої подано у розділі 2.

Для застосування на практиці розробленого підходу відповідно до проведеного аналізу стану питання було запропоновано розробити коефіцієнт врахування показників маршруту та природно-кліматичних факторів, який дозволяє на основі питомої норми витрати електроенергії електробусом та даних

про швидкість сполучення та температуру навколишнього повітря розрахувати маршрутну норму витрати електроенергії електробусом:

$$q_{ee} = k_{vc,t} \cdot q_{eevup}, \quad (4.2)$$

де q_{eevup} – питома норма витрати електроенергії електробусом, розрахована з урахуванням даних виробника, кВт·год/км;

$k_{vc,t}$ – коефіцієнт врахування показників маршруту та природно-кліматичних умов.

Значення коефіцієнта врахування параметрів маршруту та природно-кліматичних факторів сформовані у вигляді табличних даних. Для застосування даного коефіцієнта попередньо на міському регулярному маршруті необхідно розрахувати математичне очікування швидкості сполучення та температури навколишнього повітря та для даних значень за таблицею 4.7 визначити його величину.

Таблиця 4.7 – Фрагмент результатів розрахунку коефіцієнта врахування показників маршруту та природно-кліматичних факторів для електробуса Skywell

Температура навколишнього повітря, °С	Швидкість сполучення на маршруті, км/год							
	12,1	14,7	16,0	18,6	19,9	22,5	23,8	26,4
-24,5	1,53	1,38	1,30	1,15	1,09	0,92	0,84	0,68
-12,8	1,32	1,19	1,13	1,00	0,93	0,81	0,74	0,61
4,2	1,21	1,09	1,03	0,92	0,86	0,74	0,69	0,57
15,5	1,26	1,14	1,08	0,96	0,89	0,77	0,71	0,59
26,8	1,42	1,28	1,21	1,07	1,00	0,86	0,79	0,65
32,5	1,54	1,39	1,31	1,15	1,07	0,92	0,84	0,69

Подані значення були отримані за допомогою алгоритму нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті (розділ 2) та питомої норми витрати електроенергії електробусів Skywell. Це значення може бути скориговано шляхом зміни вихідних даних про ємність тягових акумуляторних батарей та запас ходу в розробленому алгоритмі, який з

урахуванням розробленої математичної моделі розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом має вигляд, представлений на рисунку 4.6.

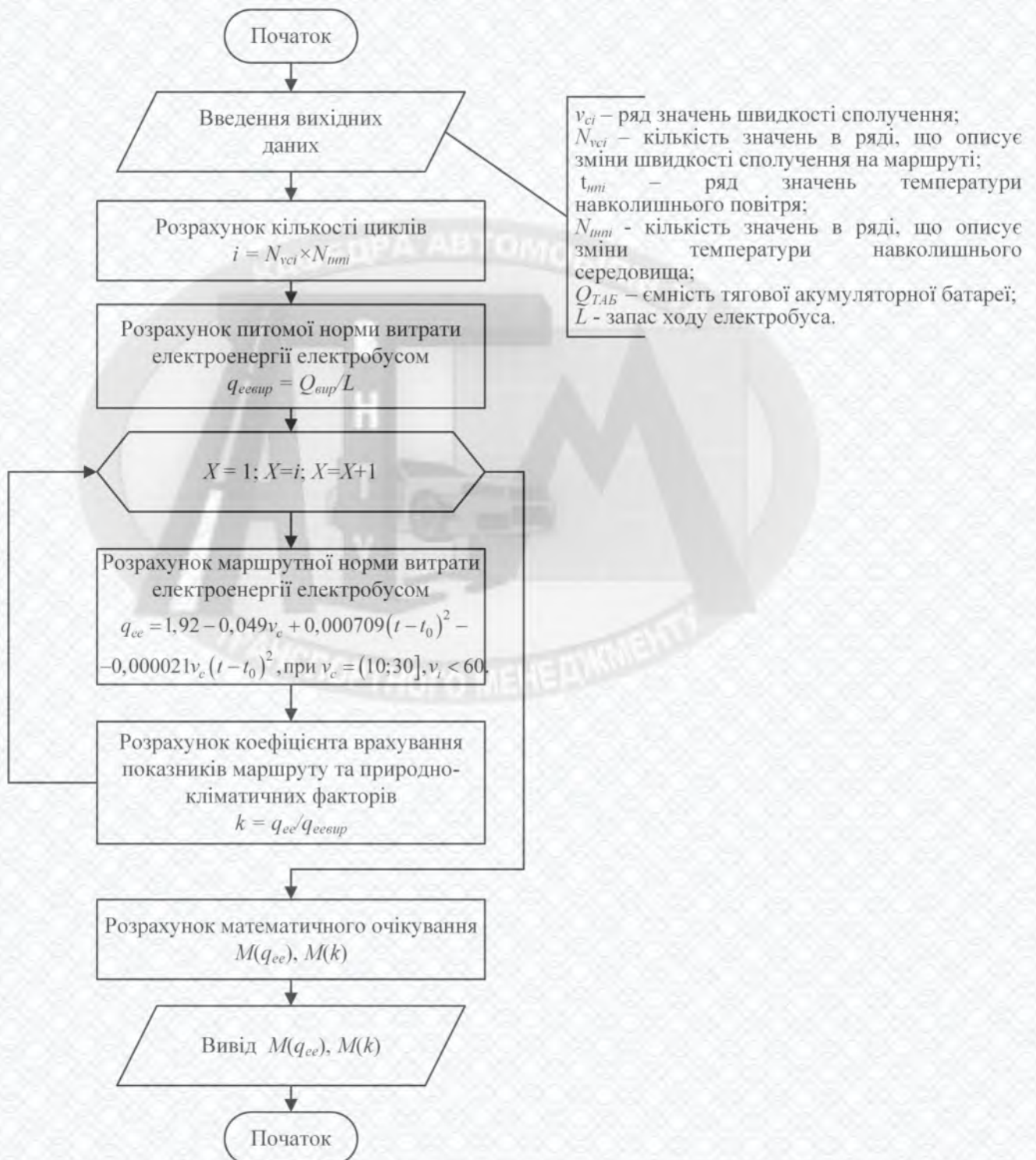


Рисунок 4.7 – Алгоритм нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

Поданий алгоритм також може бути використаний самостійно для розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті.

Таким чином, нормування витрати електроенергії електробуса на міському регулярному маршруті відповідно до розробленого підходу може бути реалізовано двома способами:

1) послідовний розрахунок: математичного очікування швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на міському регулярному маршруті; коефіцієнта врахування параметрів маршруту та природно-кліматичних факторів та маршрутної норми витрати електроенергії електробусом;

2) визначення маршрутної норми витрати електроенергії електробусом за рядами значень швидкості сполучення та температури навколишнього повітря, а також даних про ємність тягових акумуляторних батарей та запас ходу транспортного засобу за допомогою розробленого алгоритму (рис.4.7).

Отримане значення та розташування зарядних станцій дозволить оцінити раціональність введення електробуса в експлуатацію на регулярному міському маршруті.

4.6 Вибір оптимального маршруту для експлуатації електробуса та визначення економічної ефективності

Розрахунок економічного ефекту від застосування запропонованої методики було виконано для двох міських регулярних маршрутів у м. Вінниці – №19 та №24, для яких пропонується експлуатація електробуса Skywell. Схеми автобусних маршрутів №19 Вишенька – Вінницькі Хутори та №24 Вишенька – Бучми (ліс) наведено на рис. 4.8 та 4.9 відповідно. Загальна характеристика маршрутів наведена в таблиці 4.8

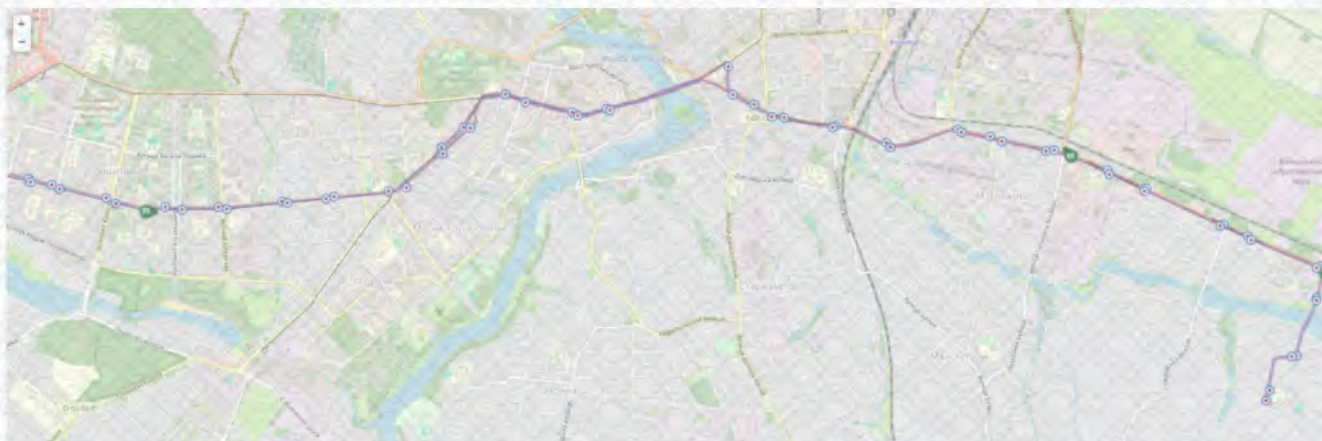


Рисунок 4.8 – Схема маршруту №19

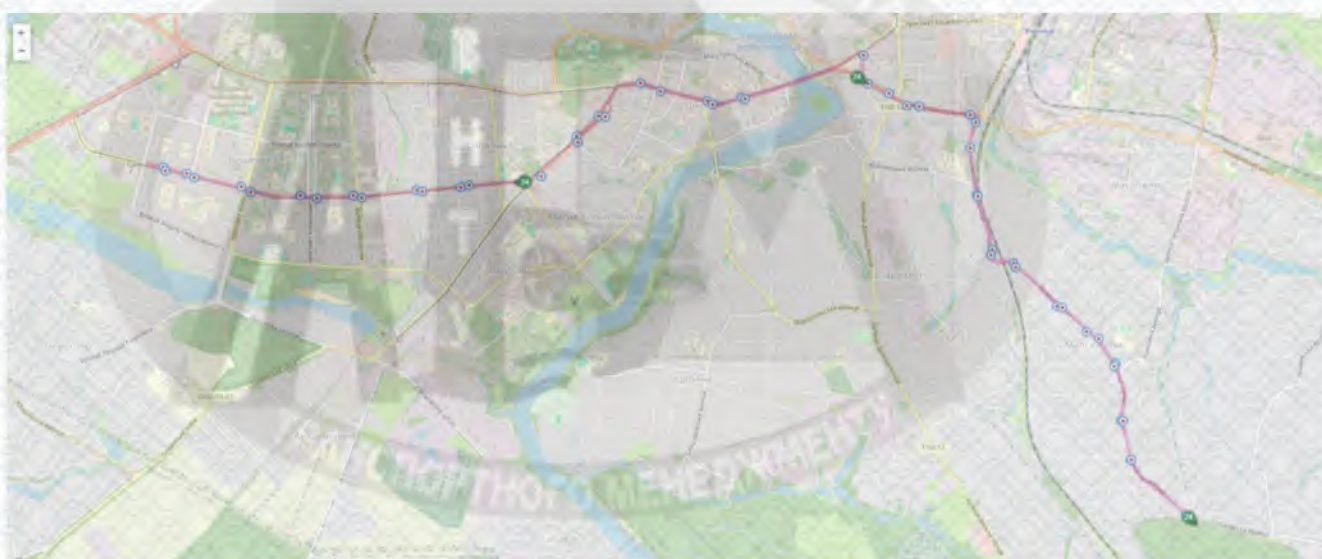


Рисунок 4.9 – Схема маршруту №24

Таблиця 4.8 – Загальна характеристика маршрутів

Показник	Маршрут №19 Вишенька – Вінницькі Хутори	Маршрут №24 Вишенька – Бучми (ліс)
Довжина маршруту, км	14,58	12,86
Кількість перегонів	28	25
Середня довжина одного перегону, км	0,52	0,51
Діапазон зміни швидкості сполучення на маршруті, км/год	13,2 – 17,1	13,8 – 17,5
Питома кількість регульованих перехресть на маршруті, од./км	1,6	1,3
Ємність тягових акумуляторних батареї, кВт*год	276,4	276,4

На основі даних про запас ходу електробуса Skywell та ємності тягових акумуляторних батарей розраховано питому норму витрати електроенергії, що склала 0,93 кВт·год/км. Відповідно до алгоритму, представленого на рис.4.7, розраховано математичне очікування маршрутної норми витрати електроенергії електробусом, яке склало 1,29 кВт·год/км та 1,22 кВт·год/км для маршрутів №19 та №24 відповідно. Отримані значення перевищують питому норму витрати електроенергії електробусом на 39% та 33% відповідно і дозволяють визначити фактичний запас ходу на міському регулярному маршруті, а отже, оцінити можливість здійснення необхідної кількості рейсів між зарядними сесіями для підвищення ефективності його експлуатації. В результаті аналізу значень маршрутної норми витрати електроенергії електробусом можна зробити висновок про важливість врахування як швидкості сполучення, так і температури навколишнього повітря на маршруті. Одночасне зниження температури навколишнього повітря та швидкості сполучення призводить до значного відхилення маршрутної норми витрати електроенергії електробусом від питомої.

Значення маршрутної норми витрати електроенергії електробусом, отримані в розрахунках дозволяють визначити кількість рейсів, які може здійснити електробус на одному заряді батареї. Так кількість повних рейсів становитиме для маршрута №19 – 14, а для маршрута №24 – 17. Таким чином запасу ходу електробуса має вистачити на повний робочий день за кожним маршрутом. Проте по мірі зношування акумуляторних батарей їх ємність знижується, що може потребувати підзаряджання на маршруті. Проте дане підзаряджання можна здійснювати в депо під час технологічної перерви для виконання зарядної сесії та зміни водіїв. Відповідно організація зарядної інфраструктури на маршруті не потрібна.

Надалі розрахунок собівартості виконано відповідно до методичних рекомендацій щодо розрахунку економічно обґрунтованої вартості перевезення пасажирів та багажу у міському та приміському сполученні автомобільним та міським наземним електричним транспортом загального користування. Вартість утилізації тягових акумуляторних батарей враховується в ході розрахунку шляхом

збільшення суми первинної вартості електробуса на величину витрат на утилізацією тягових акумуляторних батарей. В даний час утилізація тягових акумуляторних батарей здійснюється одним із трьох способів: прямою переробкою, на пірометалургічному або гідрометалургічному підприємстві. У цьому вартість утилізації залежить від обсягу переробки. В результаті аналізу джерел інтернету в роботі прийнята орієнтовна вартість переробки 1500 грн/кВт*год. Результати розрахунку собівартості наведено в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 - Оцінка собівартості 1 км пробігу електробуса

Показник	Маршрут №19	Маршрут №24
Витрати на оплату праці водіїв, грн/км	12	12
Витрати на електроенергію із застосування методики/ без застосування методики, грн/км	10,6 / 7,8	10,1 / 7,8
Амортизація електробуса и витрати на утилізацію грн/км	42	42
Витрати на ремонт и знос шин, грн/км	1,5	1,5
Витрати на технічне обслуговування і ремонт, грн/км	6,5	6,5
Інші витрати, грн/км	10	10
Разом (із застосуванням методики), грн/км	82,6	82,1

Як бачимо за результатами розрахунків собівартості 1 км перевезень, що наведені в табл. 4.9, експлуатація електробуса Skywell на маршруті №24 і більш вигідною, ніж на маршруті №19. Проте різниця складає лише $\approx 0,2\%$, що робить доцільність використання електробуса на кожному із маршрутів практично однаковою.

Порівнюючи між собою витрати електроенергії, розраховані із застосуванням методики і лише за даними виробника електробуса, отримали перевищення за маршрутами №19 і №24 на 40% і 34% відповідно. Така відмінність вже є суттєвою при плануванні роботи електробуса. Порівнюючи результати розрахунків із фактичними, було встановлено, що похибка не перевищує 5 %.

Таким чином, розроблений алгоритм дозволяє розрахувати маршрутну норму витрати електроенергії електробусом, яка, як було зазначено вище,

змінюється як від швидкості сполучення, так і від температури навколишнього повітря на цьому маршруті, і дозволяє оцінити раціональність його вибору на основі даних про вартість зарядної інфраструктури, яка впливає на собівартість перевезення. Введення в експлуатацію електробуса на нераціональний міський регулярний маршрут може призвести до зниження доходу внаслідок організації додаткових технологічних перерв та побудови додаткової зарядної інфраструктури.

4.7 Висновки

1. На основі даних пасивного експерименту встановлено закономірності впливу швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом. На основі даних дослідження визначено параметри математичних моделей, розроблених у розділі 2, та підтверджено їх адекватність шляхом розрахунку дисперсійного відношення та критерію Фішера, а також середньої помилки апроксимації, значення якої не перевищило 10%. Також в ході обробки експериментальних даних оцінено похибку використання алгоритму розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом, яка склала менше 5%.

2. Розроблено шляхи практичного застосування методики нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті, що передбачають розрахунок маршрутної норми на основі значень питомої норми та коефіцієнта обліку показників маршруту та природно-кліматичних факторів або застосування алгоритму, поданого у розділі 2.

3. Застосування методики нормування витрати електроенергії електробусом Skywell показала, що реальні витрати електроенергії перевищують дані виробника для маршрутів №19 і № 24 на 39% і 33% відповідно. Розрахунки собівартості 1 км використання електробуса на маршрутах №19 і №24 склала 82,6 грн/км і 82,1 грн/км відповідно. Таким чином використання електробуса на обох маршрутах є приблизно однаковою.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори

Нові форми організації праці, поява нових структур соціальних відносин в суб'єктах господарювання та інші подібні процеси кидають виклик фахівцям з охорони праці. Це змушує їх застосовувати інноваційні підходи та методи роботи з персоналом.

Розробка таких методів забезпечення безпеки праці повинна ґрунтуватися на науково обґрунтованих інструментах, створених на основі передового досвіду зарубіжних країн. Питання забезпечення безпеки праці стає особливо актуальним як серед вітчизняних, так і зарубіжних фахівців у сфері охорони праці.

Це також потребує тісної співпраці між науковими установами та підприємствами для адаптації існуючих методів до сучасних реалій.

Вдосконалення методики нормування витрати електроенергії електробусом на базі КП «Вінницька транспортна компанія» проводилось у кімнаті, оснащений комп'ютеризованими робочими місцями. На розробника, згідно з ДСанПіН «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [30], впливали такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні:

- Підвищена запыленість та загазованість повітря робочої зони.
- Підвищений рівень шуму на робочому місці.
- Підвищена чи понижена вологість повітря.
- Підвищений рівень статичної електрики.
- Підвищений рівень електромагнітного випромінювання.
- Пряма і відбита блискість.
- Підвищена або понижена яскравість освітлення.
- Понижена контрастність між об'єктами.

2. Психофізіологічні:

- Розумове перевантаження зумовлене інтенсивною розумовою діяльністю.
- Перенапруга аналізаторів із втотою органів чуття (зору, слуху).
- Статичне перевантаження спричинене тривалим перебуванням в одній позі.

5.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Робота пов'язана із вдосконалення методики нормування витрати електроенергії електробусом на базі КП «Вінницька транспортна компанія» передбачає використання комп'ютерної техніки та периферійних пристроїв. Вимоги безпеки та охорони здоров'я при використанні комп'ютерної техніки регулюються стандартами, встановленими у наказі Міністерства соціальної політики від 14.02.2018 № 207 (НПАОП 0.00-7.15-18) [31]. Під час організації такого робочого місця слід вибирати обладнання, яке не створює надмірного шуму і не випромінює зайвого тепла. Робочі місця мають бути спроектовані так, щоб працівники мали достатньо простору для зміни позиції та виконання рухів [32]. Роботодавець зобов'язаний організувати внутрішні регламентовані перерви для відпочинку відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 [33].

Організація робочого простору з комп'ютером має забезпечувати комфортну позу працівника та сприяти збереженню його здоров'я, зокрема зору та хребта. Робочі столи рекомендується розташовувати так, щоб природне світло падало зліва. Норми площі на одне робоче місце залежать від типу приміщення та потреб працівника, зокрема людей з інвалідністю, які використовують крісла-коляски. У приміщеннях з комп'ютерами повинні бути аптечки першої медичної допомоги, а у виробничих приміщеннях необхідно облаштувати кімнати для відпочинку та психологічного розвантаження. У разі використання великогабаритного обладнання площа приміщення може бути збільшена [32].

5.2.1 Мікроклімат

Комфортний мікроклімат на робочому місці (температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та природне освітлення зліва) сприяє підвищенню продуктивності праці, зниженню втоми та ризику професійних захворювань. Оптимальні параметри мікроклімату забезпечують нормальну терморегуляцію організму, запобігають перегріву або переохолодженню, підтримують здоров'я очей та дихальної системи.

Роботи за енерговитратами відносяться до категорії І б (легка, роботи, що виконуються сидячи, або пов'язані із ходьбою, але не потребують систематичного напруження або піднімання та перенесення вантажів). Енерговитрати за таких робіт відповідно складають 105...140 Дж/с (І а) та 138...174 Дж/с (І б). Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Дійсні та допустимі параметри мікроклімату [34]

Період року	Категорія робіт	Температура		Вологість		Швидкість	
		дійсн	допуст	дійсн.	допуст	дійсн.	допуст
Холодний	І б	15-19	15-21	60-75	75	0,2-0,4	0,4
Теплий		20-25	16-27	60-75	70	0,2-0,4	0,2-0,5

Для забезпечення комфортного мікроклімату на робочому місці де здійснюється вдосконалення методики нормування витрати електроенергії електробусом на базі КП «Вінницька транспортна компанія», крім підтримання оптимальних параметрів температури, вологості та швидкості руху повітря, рекомендується:

- Використовувати кондиціонери або вентилятори для регулювання температури та циркуляції повітря, особливо в спекотну пору року.
- Застосовувати зволожувачі повітря взимку, коли опалення сушить повітря.
- Регулярно провітрювати приміщення, щоб забезпечити приплив свіжого повітря.

- Використовувати жалюзі або штори для регулювання природного освітлення та захисту від прямих сонячних променів.
- Розміщувати робоче місце подалі від джерел тепла або холоду, таких як батареї, кондиціонери або вікна.
- Підтримувати чистоту на робочому місці, регулярно видаляючи пил та бруд, які можуть погіршувати якість повітря.
- Забезпечити достатнє освітлення робочого місця, використовуючи лампи денного світла або світлодіодні лампи з нейтральним білим світлом.

5.2.2 Повітря робочої зони

Нормальний склад повітря робочої зони розробника повинен відповідати гігієнічним нормативам, встановленим законодавством України. Це означає, що вміст шкідливих речовин у повітрі не повинен перевищувати гранично допустимі концентрації (ГДК).

Допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони:

- Вуглекислий газ (CO_2): не більше 0,1% (1000 ppm)
- Озон (O_3): не більше 0,1 мг/м³
- Формальдегід (HCHO): не більше 0,003 мг/м³
- Фенол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$): не більше 0,3 мг/м³

Для забезпечення нормального складу повітря слід:

- Забезпечити ефективну вентиляцію приміщення, використовуючи природну або примусову вентиляцію. Регулярно провітрювати приміщення, особливо після використання оргтехніки, яка може виділяти шкідливі речовини.
- Використовувати оргтехніку та меблі з низьким рівнем виділення шкідливих речовин.
- Використовувати очищувачі повітря з HEPA-фільтрами та фільтрами з активованим вугіллям для видалення пилу, алергенів та шкідливих газів.

Регулярно проводити моніторинг якості повітря робочої зони за допомогою спеціальних приладів або лабораторних досліджень.

Під час експлуатації оргтехніки відбувається іонізація повітря – це процес утворення позитивних та негативних іонів у повітрі під впливом різних факторів, таких як космічне випромінювання, електричні розряди, радіоактивні елементи тощо.

Нормативні рівні іонізації повітря у виробничих та громадських приміщеннях наведені в санітарних правилах і нормативах СанПіН 2.2.4.1294-03. Так рекомендовані рівні іонізації для робочих приміщень: 1000-5000 пар іонів на 1 см³ повітря.

Слід враховувати, що:

- Надлишок позитивних іонів може негативно впливати на здоров'я, викликаючи головний біль, втому, подразнення дихальних шляхів.
- Негативні іони вважаються корисними для здоров'я, оскільки вони сприяють покращенню самопочуття, підвищенню працездатності, зміцненню імунітету.

Оптимальний рівень іонізації повітря можна забезпечити:

- Регулярним провітрюванням приміщень.
- Використанням зволожувачів повітря, які допомагають підтримувати оптимальний рівень вологості, що сприяє утворенню негативних іонів.
- Використання іонізаторів повітря може бути корисним для підвищення концентрації негативних іонів, особливо в приміщеннях з кондиціонерами або опаленням, які можуть знижувати природний рівень іонізації.

5.2.3 Опалення та вентиляція

Для забезпечення комфортних умов праці розробника необхідно підтримувати температуру повітря в приміщенні в рекомендованих межах (див. табл. 5.1) в теплий період, використовуючи терморегулятори. Важливо забезпечити рівномірний розподіл тепла по всьому приміщенню, уникаючи зон перегріву або переохолодження, за допомогою вентиляторів або системи «тепла підлога». Рекомендується віддавати перевагу сучасним, безпечним та

енергоєфективним системам опалення, регулярно їх перевіряючи та обслуговуючи.

Особливу увагу слід приділити вологості повітря, підтримуючи її в рекомендованих межах (див. табл. 5.1), та вентиляції приміщення, регулярно провітрюючи його або встановивши систему припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла. Необхідно враховувати індивідуальні особливості працівників, надаючи їм можливість регулювання температури на робочому місці.

Також рекомендується уникати використання обігрівачів з відкритим нагрівальним елементом, розміщувати робочі місця подалі від вікон та використовувати термоізоляційні матеріали для утеплення приміщення.

5.2.4 Освітлення

Освітлення робочого місця розробника має бути комфортним, безпечним та ефективним, сприяючи збереженню зору та підвищенню продуктивності праці. Рівень освітленості є важливим аспектом: загальне освітлення має бути в межах 300-500 лк, місцеве освітлення для клавіатури та документів – 500 лк, а освітленість екрану не повинна перевищувати 300 лк. Важливо уникати відблисків на екрані монітора, використовуючи матові поверхні та розміщуючи джерела світла так, щоб вони не створювали відблисків. Освітлення має бути рівномірним по всій робочій поверхні, без різких тіней або зон переосвітлення. Рекомендується використовувати джерела світла з нейтральною або теплою білою колірною температурою (3000-4000 К) та коефіцієнтом пульсації світла не більше 10% [35].

Робоче місце має бути розташоване так, щоб природне світло падало зліва або спереду, використовуючи жалюзі або штори для регулювання його інтенсивності. Для штучного освітлення рекомендується комбінація загального та місцевого освітлення. Для загального освітлення підійдуть світлодіодні або люмінесцентні світильники з рівномірним розподілом світла, а для місцевого – настільні лампи з регульованим напрямком світла. Регулярне очищення

світильників та вікон, перевірка та заміна ламп, а також врахування індивідуальних особливостей зору працівників допоможуть створити оптимальні умови для роботи з ПК.

5.2.5 Шум та вібрація

На робочому місці розробника джерелами шуму можуть бути системні блоки, вентилятори, принтери, сканери, клавіатури, кондиціонери, а також зовнішні фактори, такі як вуличний шум, робота зовнішнього обладнання, шум від транспорту, розмови колег, телефонні дзвінки. Вібрації зазвичай виникають від роботи жорстких дисків, вентиляторів та іншого обладнання.

Допустимий рівень шуму на робочому місці розробника не повинен перевищувати 50 дБА протягом робочого дня. Вібрації, що передаються на руки, не повинні перевищувати 120 дБ [36]. Перевищення цих норм може призвести до негативних наслідків для здоров'я оператора, таких як зниження слуху, головний біль, підвищена стомлюваність, погіршення концентрації уваги, зниження продуктивності праці, а також до розвитку професійних захворювань.

Для зниження впливу шуму та вібрацій рекомендується:

- Використовувати тиху оргтехніку та обладнання з низьким рівнем вібрації.
- Розміщувати шумне обладнання (наприклад, принтери) в окремих приміщеннях або якомога далі від робочих місць.
- Використовувати звукоізоляційні матеріали для стін, стелі та підлоги.
- Встановлювати звукопоглинальні екрани або перегородки між робочими місцями.
- Використовувати антишумові навушники або беруші, якщо рівень шуму неможливо знизити іншими способами.
- Регулярно проводити технічне обслуговування та ремонт оргтехніки та обладнання для зниження рівня шуму та вібрації.

- Організувати робочий процес таким чином, щоб мінімізувати необхідність використання шумного обладнання.
- Забезпечувати працівникам регулярні перерви для відпочинку та відновлення сил.

5.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

Організація безпечних умов праці розробника включає комплекс заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків для здоров'я та створення комфортного робочого середовища. Технічні рішення відіграють важливу роль у цьому процесі.

Важливо забезпечити ергономічність робочого місця. Це включає використання регульованих столів і стільців, підставок для ніг, підлокітників, а також спеціальних клавіатур і мишок, які зменшують навантаження на кисті рук. Правильне розташування монітора на відстані витягнутої руки та на рівні очей також сприяє зниженню напруги очей і шиї.

Електробезпека.

Окрему увагу слід приділити електробезпеці. Важливо використовувати тільки справну оргтехніку та електропроводку, регулярно перевіряти їх стан та заземлення. Необхідно уникати перевантаження електромережі, використовуючи подовжувачі та розгалужувачі з урахуванням їхньої максимальної потужності. Також слід уникати контакту з оголеними проводами та вологими поверхнями при роботі з електроприладами [37].

Для забезпечення електробезпеки можна використовувати різні технічні рішення, такі як:

- Захисне відключення, що автоматично відключатиме електроживлення при виникненні витоку струму.

- Встановлення диференціального автоматичного вимикача, що поєднує в собі функції автоматичного вимикача та захисного відключення, забезпечуючи захист від перевантаження, короткого замикання та витоку струму.
- Стабілізатори напруги, що захищають обладнання від перепадів напруги, які можуть призвести до його пошкодження.
- Джерела безперебійного живлення, забезпечують тимчасове електроживлення при відключенні електроенергії, дозволяючи зберегти дані та завершити роботу.

5.4 Пожежна безпека

Пожежна безпека в приміщенні, де розташоване робоче місце розробника є критично важливою для забезпечення безпеки праці та збереження життя і здоров'я співробітників. Пожежі в таких приміщеннях, де активно використовується комп'ютерна техніка, можуть виникнути з різних причин, включаючи коротке замикання в електропроводці або обладнанні, перевантаження електромережі, неправильну експлуатацію електроприладів (наприклад, залишення увімкнених приладів без нагляду, використання пошкоджених кабелів або розеток), необережне поводження з вогнем (паління, використання відкритого полум'я поблизу легкозаймистих матеріалів) або самозаймання матеріалів (наприклад, паперу, тканини) внаслідок перегріву від сонячних променів або несправного обладнання.

Такі пожежі можуть мати різний характер, включаючи горіння твердих матеріалів (дерево, папір, пластик), рідких речовин (очисники та побутова хімія), газів (пропан, бутан, метан) або електрообладнання під напругою. Наслідки пожеж можуть бути катастрофічними, включаючи загибель або травмування людей внаслідок отруєння чадним газом, опіків або інших травм, матеріальні збитки (знищення майна, обладнання, документів), порушення роботи підприємства через втрату даних, обладнання та робочого часу, а також

забруднення навколишнього середовища токсичними продуктами горіння.

У разі виникнення пожежі персонал повинен негайно сповістити пожежну службу за номером 101, повідомити про пожежу керівника та колег, відключити електроживлення, якщо це безпечно, і спробувати загасити пожежу на початковій стадії за допомогою первинних засобів пожежогасіння. На кожному робочому місці має бути вогнегасник вуглекислотний або порошковий, а також протипожежне покривало з розрахунку 1 вогнегасник на 20 м² приміщення. Кількість засобів пожежогасіння залежить від площі приміщення та кількості робочих місць, і може бути збільшена у разі потреби. Після використання первинних засобів пожежогасіння або якщо пожежа не вдається контролювати, персонал повинен негайно евакуюватися з приміщення, дотримуючись плану евакуації [39, 40].

Важливо, щоб всі працівники були ознайомлені з правилами пожежної безпеки та порядком дій при виникненні пожежі. Регулярні навчання та тренування з евакуації допоможуть персоналу діяти швидко та злагоджено у разі надзвичайної ситуації. Також необхідно забезпечувати своєчасну перевірку та перезарядку вогнегасників, не захаращувати проходи та евакуаційні виходи, а також дотримуватися правил експлуатації електроприладів та електропроводки, використовуючи лише справне обладнання та уникаючи перевантаження електромережі. Дотримання цих заходів допоможе створити безпечне робоче середовище та мінімізувати ризик виникнення пожеж [39,40].

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи було досліджено питання нормування витрати електроенергії електробусом в реальних умовах експлуатації.

1. На основі дослідження встановлено, що найбільш важливими факторами, що визначають маршрутну норму витрати електроенергії електробусів, є швидкість сполучення, яка дозволяє враховувати техніко-експлуатаційні показники маршруту та сприяє спрощенню моделі витрати електроенергії та температура навколишнього повітря. Їх значущість доведена внаслідок експертної оцінки методом попарного порівняння факторів.

2. Аналіз структури і стану рухомого складу та ВТБ КП «Вінницька транспортна компанія», дозволив встановити, що темпи старіння перевищують темпи оновлення. На даний момент АТП експлуатує лише 1 електробус Skywell, тобто впровадження в експлуатацію електробусів знаходиться на низькому рівні.

3. Розроблено двофакторну математичну модель розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом, що враховує вплив швидкості сполучення та температури навколишнього повітря. Вид моделі обумовлений особливостями впливу даних факторів на вихідний параметр, і підтверджено в результаті обробки експериментальних даних про функціонування електробуса Skywell в м. Вінниця.

4. Розроблено методику нормування витрати електроенергії електробусом, яка включає математичну модель маршрутної норми витрати електроенергії електробусом. Встановлено, що відхилення фактичного значення маршрутної норми витрати електроенергії електробусом від розрахункового за методикою менше 5%.

5. Застосування методики нормування витрати електроенергії електробусом Skywell показала, що реальні витрати електроенергії перевищують дані виробника для маршрутів №19 і № 24 на 39% і 33% відповідно. Розрахунки собівартості 1 км

використання електробуса на маршрутах №19 і №24 склала 82,6 грн/км і 82,1 грн/км відповідно. Таким чином використання електробуса на обох маршрутах є приблизно однаковою.

6. В п'ятому розділі пророблено питання з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Риженков А.І., Смирнов Є. В. Щодо питання нормування витрати електроенергії електробусом // Матеріали ЛІІІ науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ-2024). URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2024/paper/view/20533>
2. International Energy Agency. Global EV Outlook 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/global-evoutlook-2021?mode=overview> - 20.04.2024
3. United States Environmental Protection Agency. Summary of the Energy Policy Act / URL: <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-energy-policy-act>
4. Правила експлуатації міського електричного транспорту: навч. посібник / В. Х. Далека, В. Б. Будниченко, В. І. Коваленко та ін.; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – 447 с.
5. Houbbadi, A., Trigui R., Pelissier S., Bouton T. & Eduardo R.-I. (2017). Multi-Objective Optimisation of the Management of Electric Bus Fleet Charging. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2017.8331015>.
6. Smarter Mobility. ABB charging portfolio for electric buses / URL: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A6983&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
7. Мокін, О. Б., Мокін, Б. І. і Фолішняк, О. Д. Оптимізація руху електромобіля по горизонтальному прямолінійному відрізку дороги за критерієм мінімуму витрат енергії акумуляторної батареї, Вісник Вінницького політехнічного інституту, №2, 2011. с. 96–100.
8. Czogalla, O. Design and control of electric bus vehicle model for estimation of energy consumption / O. Czogalla, U. Jumar // IFAC PapersOnLine, 52. 2019. pp. 59-64.
9. Lander, L. Financial viability of electric vehicle lithium-ion battery recycling / L. Lander, T. Cleaver [et al.] // iScience, 24. 2021. 102787. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102787>.

10. Waldmann, Th. Temperature dependent ageing mechanisms in Lithium-ion batteries - A Post - Mortem study / Th. Waldmann, M. Kasper, M. Fleischhammer, M. Wohlfahrt-Mehrens // *Journal of Power Sources*, 363. 2014. pp. 129-135.
11. Basma, H. Comprehensive energy modeling methodology for battery electric buses / H. Basma, Ch. Mansour, M. Haddad, M. Nemer, P. Stabat // *Energy*, 207. 2020. 118241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118241>
12. Gallet, M. Estimation of the energy demand of electric buses based on real-world data for large-scale public transport networks / M. Gallet, T. Massier, Th. Hamacher // *Applied Energy*, 230. - 2018. - pp. 344-356.
13. Lopez-Ibarra, J.A. Plug-in hybrid electric buses total cost of ownership optimization at fleet level based on battery aging/ J.A. Lopez-Ibarra, H. Gaztanaga, A. Saez-de-Ibarra, H. Camblong // *Applied Energy*, 280. 2020. 115887. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115887>.
14. Ma, Xi. Examining influential factors on the energy consumption of electric and diesel buses: A data-driven analysis of large-scale public transit network in Beijing / Xi. Ma, R. Miao, Xi. Wu, Xi. Liu // *Energy*, 216. 2021. 119196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119196>
15. Pamula, T. Estimation of the energy consumption of battery electric buses for public transport network using real-world data and deep learning / T. Pamula, W. Pamula // *Energies*, 13. 2020. 2340. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/en13092340>
16. Tesar, M. Design Methodology for the Electrification of Urban Bus Lines with Battery Electric Buses / M. Tesar, K. Berthold, J. P. Gruhler, P. Gratzfeld // *Transportation Research Procedia*, 48. - 2020. - pp. 2038-2055.
17. Torabi, S. Energy minimization for an electric bus using a genetic algorithm / S. Torabi, M. Bellone, M. Wahde // *European Transport Research Review*, 12. - 2020. - 1186. doi: <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0393-1>
18. Vepsalainen, J. Development and validation of energy demand uncertainty model for electric city buses / J. Vepsalainen, K. Kivekas, K. Otto, A. Lajunen, K. Tammi // *Transportation Research Part D*, 63. - 2018. - pp. 347-361.

19. Zhou, B. Real-world performance of battery electric buses and their life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions / B. Zhou, Ye. Wu, B. Zhou, R. Wang, W. Ke, Sh. Zhang, J. Hao // *Energy*, 96. 2016. pp. 601-613
20. Організація та управління пасажирськими перевезеннями: підручник/ за ред. доц. В.С. Маруніч, проф. Л.Г. Шморгуна – К.: Міленіум, 2017. – 528 с.
21. Ігнатенко О.С., Маруніч В.С. Організація автобусних перевезень у містах: Навч. посібник. – К.: УТУ, 1998. – 196 с.
22. Wang, O. Experimental investigation on EV battery cooling and heating by heat pipes / O. Wang, B. Jiang, Q. Xue, H. Sun, B. Li, H. Zou, Y.Y. Yan // *Elsevier Journal of Applied Thermal Engineering*. 2014. pp.1-7.
23. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Особливості оцінки витрати палива міськими маршрутними автобусами оснащеними «Клімат-контролем». Новітні технології розвитку автомобільного транспорту : наук. праці Міжнарод. наук.-практич. конф., 16–19 жовт. 2018 р. Харків : ХНАДУ. С. 124–126.
24. Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Варчук В. В.. Автомобілі та автомобільне господарство. Дипломне проектування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 171 с.
25. Виробничо-технічна база підприємств автомобільного транспорту. Навчальний посібник / [В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, С.О. Романюк, Є.В. Смирнов]. Вінниця, ВНТУ, 2013. Режим доступу : <http://posibnyky.vntu.edu.ua/newauto/5/index.html>.
26. Грабовецький, Б. Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія / Б. Є. Грабовецький. Вінниця : ВНТУ, 2010. 171 с.
27. Василенко О. А. Математично-статистичні методи аналізу у прикладних дослідженнях: навч. посіб. / О. А. Василенко, І. А. Сенча. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2011. – 166 с.
28. Moataz, M. Electric Buses: A Review of Elternative Powertrains / M. Moataz, M.R. Ferguson, R. Garnett // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62. - 2016. - pp. 673-684.

29. Сахно В. П., Савостін-Косяк Д. О. Нормування витрати палива для міських автобусів з дизельним двигуном. Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки. Київ : НТУ, 2017. Вип. 3. С. 141–15.

30. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

31. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php

32. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

33. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

34. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс] – Режим доступу до сторінки: http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819

35. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

36. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

37. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

38. СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.vrednost.ru/2241191-03.php>

39. Наказ МВС України № 1417 від 30.12.2014 «Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>

40. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека Загальні положення. Київ ДП «УкрНДНЦ», 2020. 87 с.



Додаток А
(обов'язковий)



ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

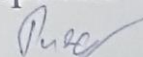
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ НОРМУВАННЯ ВИТРАТИ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОБУСОМ В УМОВАХ КОМУНАЛЬНОГО
ПІДПРИЄМСТВА «ВІННИЦЬКА ТРАНСПОРТНА КОМПАНІЯ»

Вінницький національний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

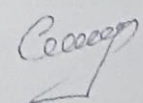
Ілюстративний матеріал до
магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

**Удосконалення методики нормування витрати електроенергії
електробусом в умовах комунального підприємства «Вінницька
транспортна компанія»**

Розробив: ст. гр. 1АТ-22мз

 Риженков А.І.

Керівник: к. т. н., доцент

 Смирнов Є. В.

Вінниця - 2024

Мета роботи – підвищення ефективності експлуатації електробуса на міському регулярному маршруті шляхом нормування витрати електроенергії.

Завдання дослідження

- провести аналіз існуючих методів та наукових підходів нормування витрати електроенергії електробусом;
- проаналізувати сучасний стан рухомого складу та виробничо-технічної бази КП «Вінницька транспортна компанія»;
- визначити найбільш важливі фактори, що впливають на витрату електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті;
- виявити закономірності впливу техніко-експлуатаційних показників маршруту та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом;
- розробити методику та математичну модель маршрутної норми витрати електроенергії електробусом, яка враховує вплив техніко-експлуатаційних показників маршруту та температури навколишнього повітря;
- проаналізувати практичну реалізацію методики при нормуванні витрати електроенергії електробусом в КП «Вінницька транспортна компанія» та визначити економічні показники експлуатації електробуса на різних маршрутах.

Об'єкт дослідження – процес витрачання електроенергії електробусом під час руху на міському регулярному маршруті.

Предмет дослідження – закономірності зміни витрати електроенергії електробусом з урахуванням впливу природно-кліматичних факторів та техніко-експлуатаційних показників маршруту.

Новизна отриманих результатів

- отримано закономірності зміни витрати електроенергії електробусом, що враховують температуру навколишнього повітря та швидкість сполучення;
- отримано методичку нормування витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті, який враховує температуру навколишнього повітря та спільний вплив техніко-експлуатаційних показників маршруту.

Тенденції впровадження електробусів

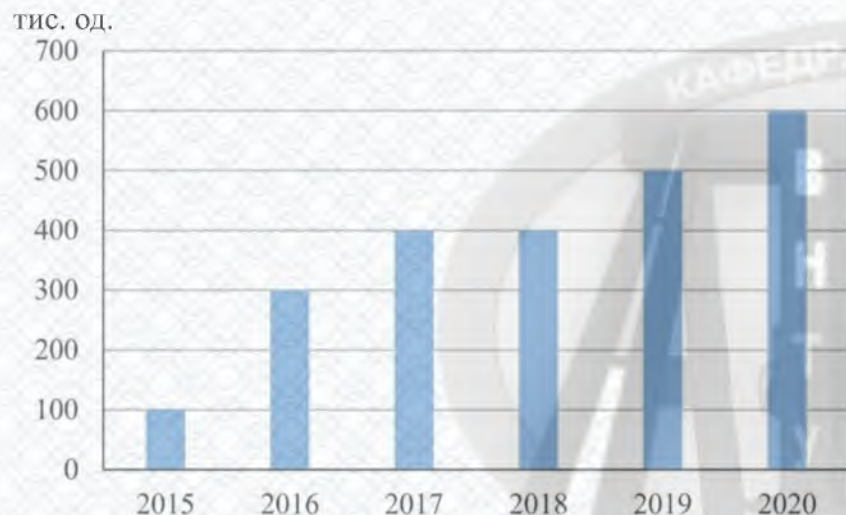


Рисунок 1 – Кількість електробусів, що експлуатуються в світі

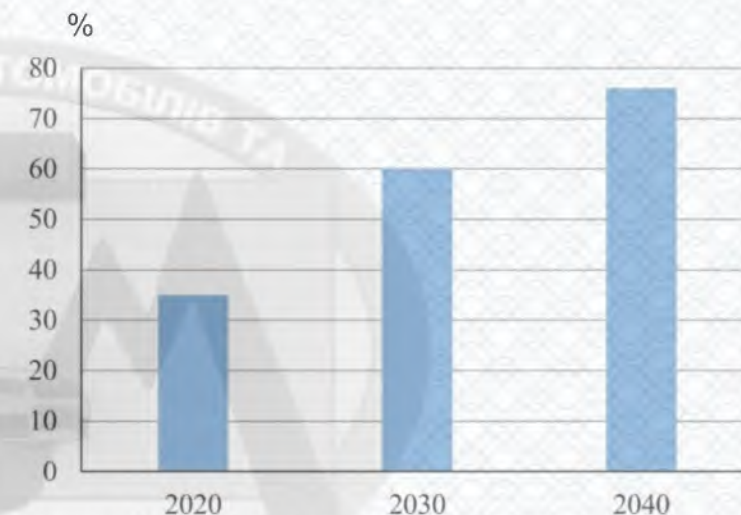


Рисунок 2 – Прогноз частки продажів електробусів в загальній кількості автобусів, що продаються

Таблиця 1 - Технічні характеристики концепцій введення електробуса

Показник	Концепція		
	ОНС	ОС	ІМС
Ємність батареї, кВт*год.	від 250	35 -120	від 15
Пасажиромісткість, осіб	до 75	75-90	90-100
Запас автономного ходу, км	від 150	10 - 70	2 - 50
Зарядний струм, А	60-90	350 - 500	60 - 180
Час зарядки, хв.	180 - 600	5 - 20	0
Витрата електроенергії, кВт*год/км	1,3 – 2,1	0,8-1,8	0,9-1,8
Тип батареї	Li-ion	Li-ion, суперконденсатори	Li-ion, суперконденсатори

ОНС - електробуси з тривалою нічною зарядкою, що мають значний запас автономного ходу, та можливість їх підзарядки на кінцевих пунктах зупинки під час перерв;

ОС - електробуси з короткими зарядними сесіями, що виконуються на проміжних пунктах зупинки під час руху по маршруту;

ІМС - електробуси із динамічною зарядкою (тролейбуси зі збільшеним автономним ходом)

Характеристика автобусного парку КП «Вінницька транспортна компанія»

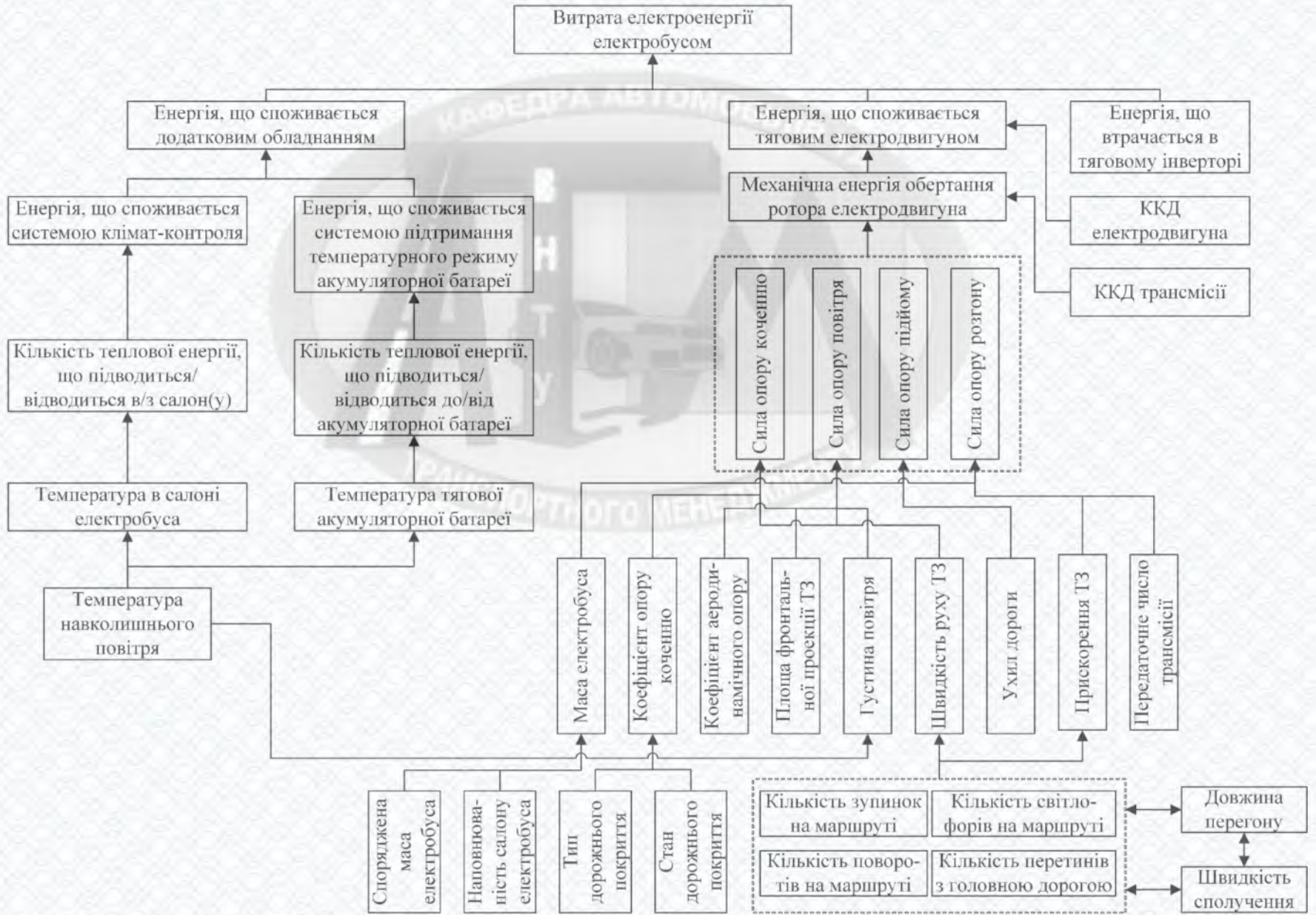
Таблиця 1 – Рухомий склад автобусного парку

№	Марка, модель	К-ть одиниць	Вид палива	Загальна пасажиромісткість
1	Богдан А701.10	15	дизель	100
2	Богдан А701.30	4	дизель	106
3	Богдан А701.32	30	дизель	106
4	ЛАЗ А183Д0	2	дизель	100
5	ЛАЗ А183Д1	5	дизель	100
6	Otokar Kent C CNG	10	природний газ	101
7	АТАМАН (ISUZU) А092G6	5	природний газ	43
8	Skywell NJL6129BEV	1	електроенергія	81

Показники ВТБ автобусного парку:

- площа території транспортного підрозділу – 1 га;
- щільність забудови – 40%;
- коефіцієнт використання території – 75%;
- кількість робочих постів ТО і ПР – 6.

Фактори, що впливають на витрату електроенергії електробусом



Оцінка значущості факторів, що впливають на витрату електроенергії електробусом

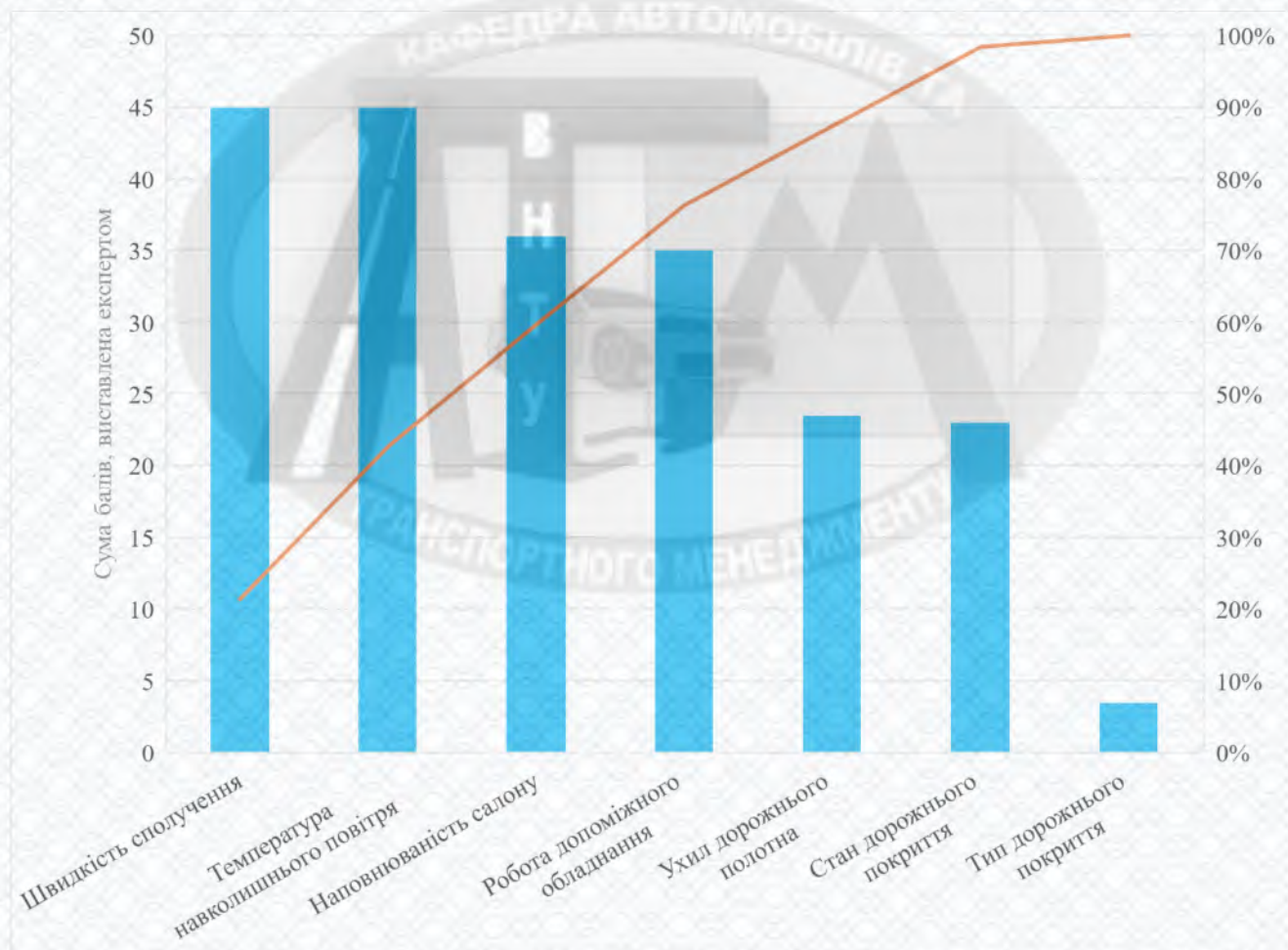


Рисунок 1 – Результати експертної оцінки значущості факторів, що впливають на витрату електроенергії електробусом

Алгоритм нормування витрати електроенергії електробусом

Математична модель впливу швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом:

$$q_{ee} = q_{ee0} - a_1 v_c + c_1 (t - t_0)^2 - b_1 v_c (t - t_0)^2,$$

при $v_c = (10; 30], v_i < 60,$

де q_{ee0} – коректована витрата електроенергії електробусом з урахуванням умов експлуатації, кВт·год/км; a_1, c_1, b_1 – параметри моделі, кВт·год²/км², кВт·год/(км·°C²), кВт·год²/(км·°C)²; v_c – швидкість сполучення, км/год; t – фактична температура навколишнього повітря, °C; t_0 – оптимальна температура навколишнього повітря за витратою електроенергії електробусом, °C.



v_{ci} – ряд значень швидкості сполучення;
 N_{vci} – кількість значень в ряді, що описує зміни швидкості сполучення на маршруті;
 t_{mi} – ряд значень температури навколишнього повітря;
 N_{tmi} – кількість значень в ряді, що описує зміни температури навколишнього середовища;
 Q_{TAB} – смінь тягової акумуляторної батареї;
 L – запас ходу електробуса.

Рисунок 1 – Алгоритм нормування витрати електроенергії електробусом на міському маршруті

Результати дослідження витрати електроенергії електробусом

Таблиця 1 – Фрагмент таблиці результатів дослідження та розрахунку критерію Пірсона

Температура навколишнього повітря, °С	Швидкість сполучення, км/год	Розрахункове значення критерію Пірсона	Табличне значення критерію Пірсона	Ймовірність
-21,3...-15,7	12,8...14,1	0,20	106,5	0,90
-15,7...-10,0	12,8...14,1	0,04	106,5	0,90
-10,0...-4,3	12,8...14,1	0,10	63,2	0,90
-4,3...1,3	12,8...14,1	0,13	13,4	0,90
1,3...7,0	12,8...14,1	0,13	17,3	0,90
7,0...12,7	12,8...14,1	0,20	30,8	0,90
12,7...18,3	12,8...14,1	0,15	19,8	0,90
18,3...24,0	12,8...14,1	0,06	13,4	0,95
24,0...29,7	12,8...14,1	0,10	27,2	0,90
29,7...35,3	12,8...14,1	0,08	27,2	0,90
-21,3...-15,7	14,1...15,4	0,44	40,3	0,90
-15,7...-10,0	14,1...15,4	0,21	17,3	0,90
-10,0...-4,3	14,1...15,4	0,11	10,6	0,90
-4,3...1,3	14,1...15,4	0,20	12,0	0,90
1,3...7,0	14,1...15,4	0,17	14,7	0,90
7,0...12,7	14,1...15,4	0,22	19,8	0,90
24,0...29,7	21,8...23,1	0,03	13,4	0,90
29,7...35,3	21,8...23,1	0,04	29,6	0,90
-21,3...-15,7	23,1...24,4	0,10	19,8	0,90
-15,7...-10,0	23,1...24,4	0,30	21,1	0,90
-10,0...-4,3	23,1...24,4	0,22	13,4	0,90
-4,3...1,3	23,1...24,4	0,03	14,7	0,90

Таблиця 2 – Матриця двофакторного пасивного експерименту

Температура навколишнього повітря, °С	Швидкість сполучення, км/год					
	13,4	14,7	17,3	19,9	22,4	25,1
Витрата електроенергії електробусом, кВт·год/км						
-18,5	1,75	1,35	1,23	1,03	0,95	0,88
-12,8	1,68	1,36	1,14	0,99	0,89	0,82
-7,2	1,59	1,20	1,09	0,94	0,83	0,81
-1,5	1,43	1,19	1,05	0,83	0,77	0,75
4,2	1,37	1,15	1,00	0,83	0,75	0,73
9,8	1,43	1,17	1,04	0,87	0,76	0,72
15,5	1,52	1,19	1,07	0,88	0,80	0,74
21,2	1,6	1,26	1,09	0,97	0,90	0,77
26,8	1,69	1,28	1,20	1,01	0,95	0,81
32,5	1,85	1,44	1,32	1,09	0,97	0,94

Вплив швидкості сполучення і температури навколишнього середовища на витрату електроенергії електробусом

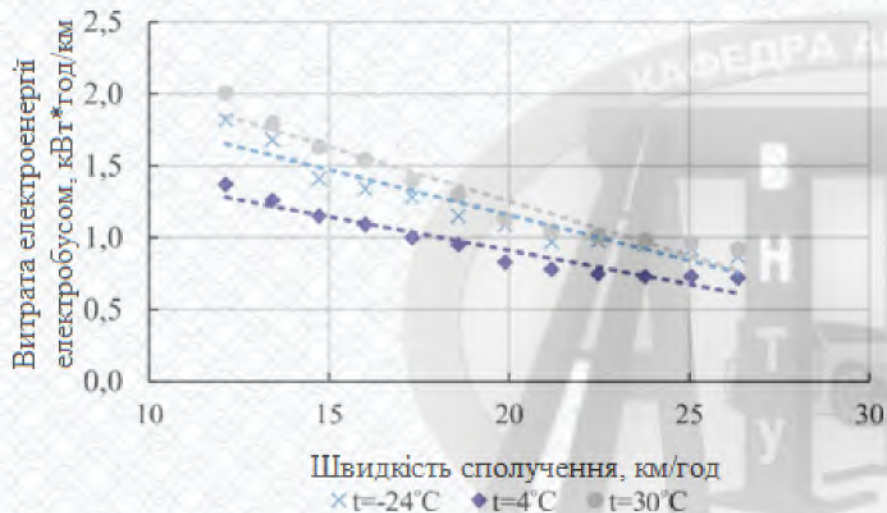


Рисунок 1 – Вплив швидкості сполучення на витрату електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

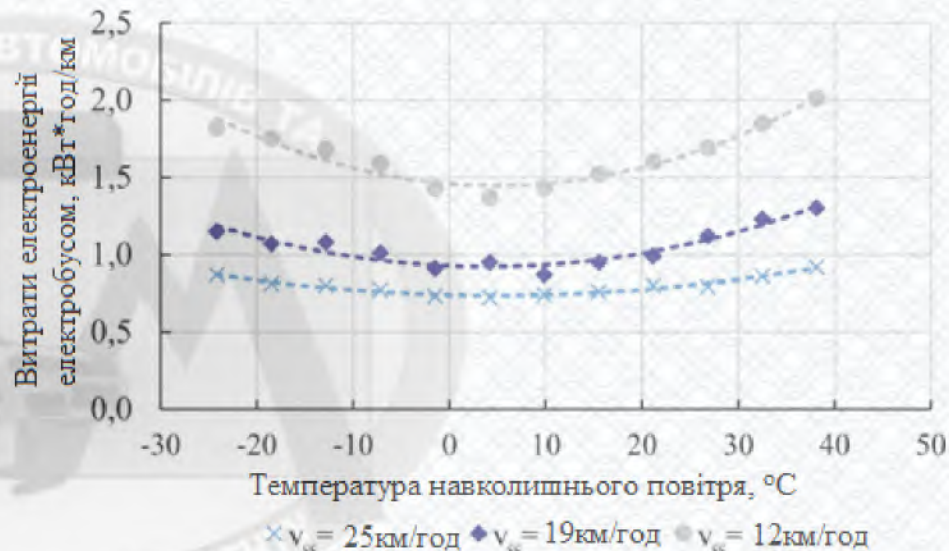


Рисунок 2 – Вплив температури навколишнього повітря на витрату електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

При $t = -18,5^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,35 - 0,06 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = -12,8^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,25 - 0,06 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = -7,2^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,07 - 0,05 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = -1,5^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 1,91 - 0,05 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = 4,2^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 1,85 - 0,05 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = 9,8^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 1,93 - 0,05 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = 15,5^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,02 - 0,05 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = 21,2^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,12 - 0,05 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = 26,8^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,30 - 0,06 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $t = 32,5^{\circ}\text{C}$, $q_{eev} = 2,51 - 0,07 \times v_c$, при $v_c = [10; 30]$, $v_i < 60$.

При $v_c = 13,4 \text{ км/ч}$,

При $v_c = 14,7 \text{ км/ч}$,

При $v_c = 16,0 \text{ км/ч}$,

При $v_c = 17,3 \text{ км/ч}$,

При $v_c = 18,6 \text{ км/ч}$,

При $v_c = 19,9 \text{ км/ч}$,

При $v_c = 21,2 \text{ км/ч}$,

При $v_c = 22,5 \text{ км/ч}$,

При $v_c = 23,8 \text{ км/ч}$,

При $v_c = 25,1 \text{ км/ч}$,

$q_{eev} = 1,36 + 0,000454 \times (t-4)^2$.

$q_{eev} = 1,14 + 0,000360 \times (t-4)^2$.

$q_{eev} = 1,10 + 0,000368 \times (t-4)^2$.

$q_{eev} = 1,02 + 0,000354 \times (t-4)^2$.

$q_{eev} = 0,92 + 0,000330 \times (t-4)^2$.

$q_{eev} = 0,87 + 0,000263 \times (t-4)^2$.

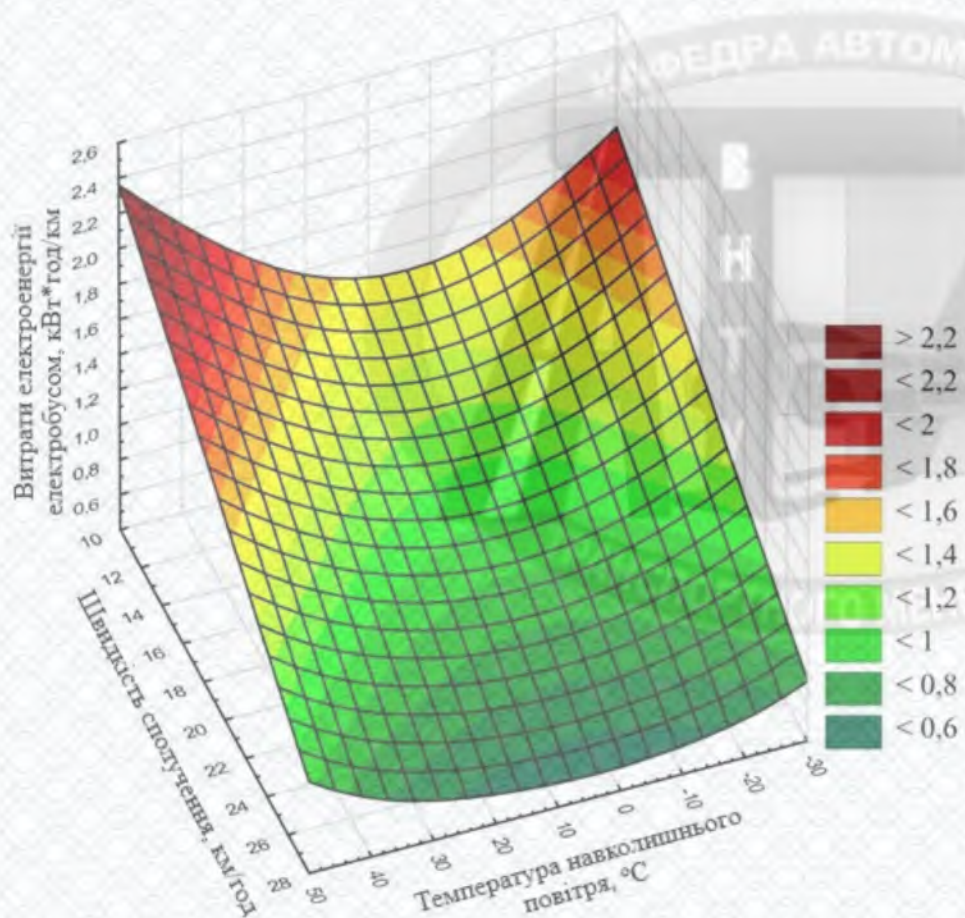
$q_{eev} = 0,82 + 0,000203 \times (t-4)^2$.

$q_{eev} = 0,78 + 0,000236 \times (t-4)^2$.

$q_{eev} = 0,76 + 0,0002 \times (t-4)^2$.

$q_{eev} = 0,74 + 0,000226 \times (t-4)^2$. **10**

Вплив швидкості сполучення і температури навколишнього середовища на витрату електроенергії електробусом (продовження)



Отримана математична модель розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом:

$$q_{ee} = 1,92 - 0,049v_c + 0,000709(t-4)^2 - 0,000021v_c(t-4)^2,$$

при $v_c = (10;30]$, $v_i < 60$.

Рисунок 3 – Спільний вплив швидкості сполучення та температури навколишнього повітря на витрати електроенергії електробусом на міському регулярному маршруті

Результати перевірки алгоритму нормування витрати електроенергії електробусом

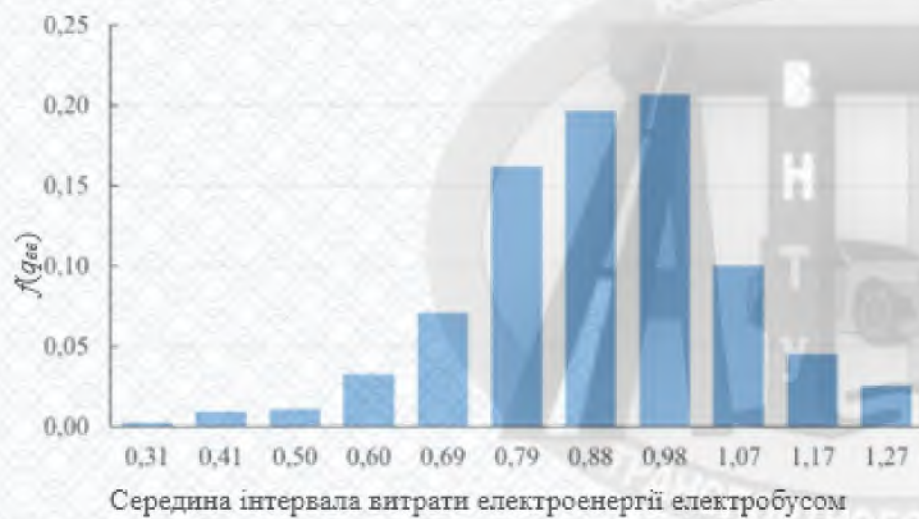


Рисунок 1 – Експериментальна функція розподілу витрати електроенергії електробусом на маршруті №19



Рисунок 2– Функція розподілу маршрутної норми витрати електроенергії електробусом на маршруті №19

Математичне очікування витрати електроенергії електробусом – 0,86 кВт·год/км;
Математичне очікування норми витрати електроенергії електробусом – 0,89 кВт·год/км;
Відхилення розрахункового значення від фактичного складає 0,03 кВт·год/км (3,5%). Таким чином алгоритм є достатньо точним.

Вибір оптимального маршруту для експлуатації електробуса

Таблиця 1 – Загальна характеристика маршрутів

Показник	Маршрут №19	Маршрут №24
	Вишенька – Вінницькі Хутори	Вишенька – Бучми (ліс)
Довжина маршруту, км	14,58	12,86
Кількість перегонів	28	25
Середня довжина одного перегону, км	0,52	0,51
Діапазон зміни швидкості сполучення на маршруті, км/год	13,2 – 17,1	13,8 – 17,5
Питома кількість регульованих перехресть на маршруті, од./км	1,6	1,3
Ємність тягових акумуляторних батарей, кВт*год	276,4	276,4

Таблиця 2 - Оцінка собівартості 1 км пробігу електробуса

Показник	Маршрут №19	Маршрут №24
Витрати на оплату праці водіїв, грн/км	12	12
Витрати на електроенергію із застосування методики/ без застосування методики, грн/км	10,6 / 7,8	10,1 / 7,8
Амортизація електробуса и витрати на утилізацію грн/км	42	42
Витрати на ремонт и знос шин, грн/км	1,5	1,5
Витрати на технічне обслуговування і ремонт, грн/км	6,5	6,5
Інші витрати, грн/км	10	10
Разом (із застосуванням методики), грн/км	82,6	82,1

Висновки

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи було досліджено питання нормування витрати електроенергії електробусом в реальних умовах експлуатації.

1. На основі дослідження встановлено, що найбільш важливими факторами, що визначають маршрутну норму витрати електроенергії електробусів, є швидкість сполучення, яка дозволяє враховувати техніко-експлуатаційні показники маршруту та сприяє спрощенню моделі витрати електроенергії та температура навколишнього повітря. Їх значущість доведена внаслідок експертної оцінки методом попарного порівняння факторів.

2. Аналіз структури і стану рухомого складу та ВТБ КП «Вінницька транспортна компанія», дозволив встановити, що темпи старіння перевищують темпи оновлення. На даний момент АТП експлуатує лише 1 електробус Skywell, тобто впровадження в експлуатацію електробусів знаходиться на низькому рівні.

3. Розроблено двофакторну математичну модель розрахунку маршрутної норми витрати електроенергії електробусом, що враховує вплив швидкості сполучення та температури навколишнього повітря. Вид моделі обумовлений особливостями впливу даних факторів на вихідний параметр, і підтверджено в результаті обробки експериментальних даних про функціонування електробуса Skywell в м. Вінниця.

4. Розроблено методичку нормування витрати електроенергії електробусом, яка включає математичну модель маршрутної норми витрати електроенергії електробусом. Встановлено, що відхилення фактичного значення маршрутної норми витрати електроенергії електробусом від розрахункового за методикою менше 5%.

5. Застосування методички нормування витрати електроенергії електробусом Skywell показала, що реальні витрати електроенергії перевищують дані виробника для маршрутів №19 і № 24 на 39% і 33% відповідно. Розрахунки собівартості 1 км використання електробуса на маршрутах №19 і №24 склала 82,6 грн/км і 82,1 грн/км відповідно. Таким чином використання електробуса на обох маршрутах є приблизно однаковою.

6. В п'ятому розділі пророблено питання з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Додаток Б
(обов'язковий)

**Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових
запозичень**



ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Удосконалення методики нормування витрати електроенергії електробусом в умовах комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту
(кафедра, факультет)

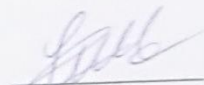
Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 97,4 % Схожість 2,6 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

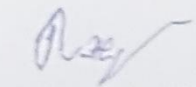
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Цимбал О.В.
(прізвище, ініціали)

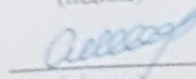
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Риженков А.І.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Смирнов Є.В.
(прізвище, ініціали)