

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

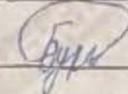
## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

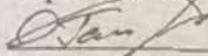
«Вдосконалення методики визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» місто Вінниця»

Виконав: здобувач 2-го курсу, групи  
1АТ-24м спеціальності 274 –  
Автомобільний транспорт

Освітньо-професійна програма –  
Автомобільний транспорт

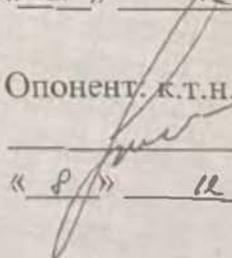
  
Бурченко В.О.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ

  
Галушак О.О.

« 2 » 12 2025 р.

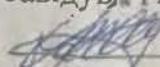
Опонент: к.т.н., доцент каф. ТАМ

  
Сухоруков С.І.

« 8 » 12 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

  
к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« 8 » 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

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.

«25» 09 2025 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА МАГІСТЕРСКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Бурченку Вадиму Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення методики визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» місто Вінниця

керівник роботи Галушак Олександр Олександрович, к.т.н., доцент,  
затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.

2. Строк подання здобувачем роботи: 30.11.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, методичні рекомендації з нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних, інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та технікою, структура автопарку України; район експлуатації автобусів – Вінниця; досліджувані моделі АТЗ – муніципальні автобуси КП «ВТК»; об'єкт дослідження – муніципальні автобуси комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія», які працюють на маршрутах міста

4. Зміст текстової частини:

- 1 Особливості експлуатації та нормування витрати палива міських автобусів в місті Вінниця.
- 2 Математична модель витрати палива міськими автобусами.
- 3 результати теоретичних та експериментальних досліджень.

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

- 1-3 Тема, мета та завдання дослідження.
- 4 Аналіз роботи автотранспортного парку комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія».

- 5-6 Аналіз чинної методики нормування витрати палива лінійних автобусів.  
 7 Класифікація факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів.  
 8 Вибір факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів.  
 9 Математична аномаль.  
 10 Результати теоретичних та експериментальних досліджень.  
 11 Залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від параметрів.  
 12-14 Побудова і аналіз багатфакторних математичних моделей витрати палива міськими автобусами.  
 15 Експлуатаційні норми витрати палива автобусів.  
 14 Основні наукові і практичні результати, викладені в роботі.

### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Галушак О.О., доцент кафедри АТМ	25.05.2025р. 	10.12.25 
Визначення ефективності запропонованих рішень	Буренніков Ю.Ю., професор кафедри АТМ		

### 7. Дата видачі завдання « 25 » вересня 2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	25.09-29.09.2025	Викон
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	30.09-20.10.2025	Викон
3	Обґрунтування методів досліджень	30.09-20.10.2025	Викон
4	Розв'язання поставлених задач	21.10-10.11.2025	Викон
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	11.11-16.11.2025	Викон
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	17.11-24.11.2025	Викон
7	Нормоконтроль МКР	25.11-30.11.2025	Викон
8	Попередній захист МКР	01.12-04.12.2025	Викон
9	Рецензування МКР	05.12-09.12.2025	Викон
10	Захист МКР	10.12.2025-12.12.2025	Викон

Здобувач

(підпис)

Бурченко В.О.

Керівник роботи

(підпис)

Галушак О.О.

## АНОТАЦІЯ

УДК 656.132:006

Бурченко В.О. Вдосконалення методики визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» місто Вінниця. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, освітня програма – Автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2025. 116 с.

На укр. мові. бібліогр.: 26 назв; рис.: 33; табл. 4.

У магістерській кваліфікаційній роботі вирішується науково-практична задача, яка полягає в підвищенні ефективності технічної експлуатації міських автобусів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» на основі об'єктивного обліку факторів, що впливають при нормуванні витрати палива на маршруті. Проведено кореляційно-регресійний аналіз факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів на маршруті. Удосконалено методику визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів на маршруті руху для управління витратою палива міських автобусів.

Графічна частина складається з 16 плакатів.

Ключові слова: автобус, муніципальний транспорт, витрата палива, норми витрат палива, дизель.

## ABSTRACT

UDC 656.132:006

Burchenko V.O. Improving the methodology for determining the operational norms of fuel consumption of city buses of the municipal enterprise "Vinnytsia Transport Company" city of Vinnytsia. Master's qualification work in the specialty 274 - Motor transport, educational program - Motor transport. Vinnytsia: VNTU, 2025. 116 p.

In Ukrainian. Bibliography: 26 titles; fig.: 33; table. 4.

The master's qualification work solves a scientific and practical problem, which consists in increasing the efficiency of technical operation of city buses of the municipal enterprise "Vinnytsia Transport Company" on the basis of objective accounting of factors that influence the norming of fuel consumption on the route. A correlation-regression analysis of factors that influence the fuel consumption of city buses on the route is carried out. The methodology for determining the operational fuel consumption standards of city buses on the route of movement for managing the fuel consumption of city buses has been improved.

The graphic part consists of 16 posters.

Keywords: bus, municipal transport, fuel consumption, fuel consumption standards, diesel.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА НОРМУВАННЯ	
ВИТРАТИ ПАЛИВА МІСЬКИХ АВТОБУСІВ В МІСТІ ВІННИЦЯ.....	9
1.1 Аналіз роботи автотранспортного парку комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія».....	9
1.2 Особливості експлуатації міських автобусів в місті Вінниця.....	14
1.3 Основні наукові дослідження в області нормування витрати палива міських автобусів.....	16
1.4 Аналіз підходів до нормування витрати палива автобусів, що застосовуються в експлуатаційних підприємствах .....	20
1.5 Аналіз чинною методики нормування витрати палива лінійних автобусів.....	23
1.6 Висновки до розділу 1 та постановка завдань дослідження.....	30
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИТРАТИ ПАЛИВА МІСЬКИМИ	
АВТОБУСАМИ.....	31
2.1 Класифікація факторів, що впливають на витрата палива міських автобусів.....	31
2.2 Методичний підхід до визначенню нормативного значення витрати палива міських автобусів.....	38
2.3 Методичний підхід до побудови математичних моделей витрати палива міських автобусів.....	41
2.4 Вибір факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів.....	56
2.5 Висновки до розділу 2.....	59
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ	
ДОСЛІДЖЕНЬ.....	61
3.1 Дослідження факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів.....	61

3.2 Однофакторний регресійний аналіз впливу досліджуваних факторів на маршрутну витрату палива міських автобусів.....	65
3.3 Нелінійне перетворення факторів .....	76
3.4 Побудова і аналіз багатофакторних математичних моделей витрати палива міськими автобусами .....	79
3.5 Результати побудови і аналізу математичних моделей .....	81
3.6 Методика визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів з використанням сучасних інформаційних систем обліку роботи рухомого складу .....	87
3.7 Розрахунку експлуатаційних норм витрати палива за минулий період експлуатації.....	88
3.8 Висновки до розділу 3 .....	90
ВИСНОВКИ.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93
ДОДАТКИ.....	97
ДОДАТОК А (ОБОВ'ЯЗКОВИЙ) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	98
ДОДАТОК Б. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ .....	115

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Потреба у нормуванні витрати палива зумовлена необхідністю у плануванні забезпечення нафтопродуктами, визначенні собівартості перевезень та контролю технічного стану й ефективності використання рухомого складу. Автомобільний транспорт споживає близько 30% рідкого палива країни, тому витрата пального є однією з основних статей витрат АТП (15–25%). Раціональне використання палива та розробка обґрунтованих норм дозволяють знизити витрати та зменшити шкідливі викиди.

У процесі роботи автопідприємств постійно змінюються умови експлуатації автобусів: оновлюються маршрути, змінюється транспортна інфраструктура, проводяться ремонти транспортних засобів. Це потребує регулярного уточнення норм витрати палива. Маршрути істотно відрізняються, як і структура та «вік» рухомого складу, що впливає на витрату палива.

Розвиток інформаційних технологій забезпечує можливість автоматизованого контролю роботи автобусів, отримання точних даних та оперативного виконання розрахунків. Це визначає актуальність створення методики визначення експлуатаційних норм витрати палива з використанням сучасних інформаційних систем обліку роботи транспортних засобів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась відповідно до науково-дослідної тематики кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету. Робота виконана відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» № 2623-14 від 05.12.2012 р.; розпорядження Кабінету Міністрів України з виконання Програми діяльності Кабінету Міністрів України та Стратегії сталого розвитку «Україна-2030» № 722/2019. від 30.09.2019; стратегії розвитку Вінницької міської територіальної громади до 2030 року – Стратегії 3.0 №194 від 26.02.2021р.

**Мета і завдання роботи.** Підвищення ефективності технічної експлуатації міських автобусів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» на основі об'єктивного обліку факторів, що впливають при нормуванні витрати палива на маршруті.

Для досягнення цієї мети визначені наступні завдання:

- Проведення аналітичних досліджень особливостей сучасних умов експлуатації, методик та підходів до нормування витрати пального та сучасних інформаційних систем обліку роботи міських автобусів.
- Розробка теоретичних положень та методичного підходу до нормування витрати палива міських автобусів на маршруті руху.
- Проведення кореляційно-регресійного аналізу факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів на маршруті, та розробка багатofакторних регресійних моделей.
- Удосконалення методики визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів на маршруті руху для управління витратою палива міських автобусів.

**Об'єкт дослідження** – муніципальні автобуси комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія», які працюють на маршрутах міста.

**Предмет дослідження** – витрата палива муніципальних автобусів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія», які працюють на маршрутах міста.

**Новизна одержаних результатів.**

- визначено вплив експлуатаційних параметрів на витрату палива міськими автобусами;
- удосконалений підхід для оцінки впливу температури навколишнього повітря і умов експлуатації на витрату палива міських автобусів.
- удосконалена методика визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів на поточному маршруті руху, так прогнозного періоду експлуатації.

**Апробація результатів роботи.** Частина результатів роботи доповідались та обговорювались на XVI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», ВНТУ, 20-22 жовтня 2025 р.

**Публікації.** Основні положення та результати досліджень за участі автора опубліковані в одній публікації [1].



## РОЗДІЛ 1

### ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА НОРМУВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА МІСЬКИХ АВТОБУСІВ В МІСТІ ВІННИЦЯ

#### 1.1 Аналіз роботи автотранспортного парку комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія»

Комунальне підприємство «Вінницька транспортна компанія» — це стратегічне транспортне підприємство міста Вінниці. Підприємство має значний кадровий, технічний та організаційний потенціал. Не зважаючи на вплив війни підприємство постійно оновлює та проводить капітальний ремонт власного рухомого складу. Чисельність працівників складає понад 2000 осіб. У експлуатації знаходяться 74 трамвайні вагони, 131 тролейбус, 76 автобусів.

У 2014 році муніципальний автобусний парк було виокремлено в окремий підрозділ КП «Вінницька транспортна компанія», який розташувався за адресою: м. Вінниця, вул. Сабарівське шосе, 19.

Щорічно автобусний парк оновлює рухомий склад муніципальних автобусів та технічну базу. Наприклад, у 2015 році було придбано шиномонтажне обладнання та підйомник для автобусів, виконано капітальний ремонт приміщення контрольно-пропускного пункту, відремонтовано зовнішнє освітлення тощо.

У 2017 році було побудовано сучасну автоматичну порталну мийку для рухомого складу «Kärcher». Це єдина така мийка в Україні для муніципального транспорту. Повністю автоматизована, використовує систему очищення води для повторного її використання та розрахована для муніципальних автобусів як великих, так і малих.

Після повномасштабного вторгнення російської федерації комунальне підприємство «Вінницька транспортна компанія» передала частину автобусів для потреб армії та містам, які постраждали від дій агресора. Зокрема в м. Дніпро було передано три автобуси.

Навіть в умовах воєнного стану в автобусному парку КП "Вінницька транспортна компанія" технічний стан муніципальних автобусів підтримується на високому рівні, ведеться капітальний ремонт одиниць рухомого складу. В 2024 році було придбано 3 автобуси великої пасажиромісткості VDL CITEA LLE 120.225 з дизельним двигуном (рис. 1.1) та 6 автобусів великої пасажиромісткості MAN A20 Lion's City Ü NÜ 313 CNG (рис. 1.2), які працюють на стисненому природньому газі та відповідають екологічним стандартам ЄВРО 6. У 2025 році придбані автобуси Solaris Urbino III 12 CNG (рис. 1.3), які працюють на стисненому природньому газі та відповідають екологічним стандартам ЄВРО6.



Рисунок 1.1 – Автобуси VDL CITEA LLE 120.225 КП «ВТК»



Рисунок 1.2 – Автобуси MAN A20 Lion's City Ü NÜ 313 CNG КП «ВТК»



Рисунок 1.3 – Автобуси Solaris Urbino III 12 CNG КП «ВТК»

На сьогоднішній день в автобусному парку комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» експлуатуються 6 моделей автобусів великої пасажиромісткості, які здійснюють перевезення пасажирів в м. Вінниця а саме: Богдан А70132 (рис. 1.4), Богдан А70130, Богдан А70110, ЛАЗ- А183 D1 (рис. 1.5), Otokar Kent C CNG (рис. 1.6) та електробус Skywell (рис. 1.7). Богдан А70132, А70130 та А70110 це автобуси, які мають однаковий кузов та все обладнання, а відрізняються двигуном.

Також є 8 автобусів середнього класу АТАМАН (ISUZU) А092G6, які працюють на стисненому природньому газі (рис. 1.8).



Рисунок 1.4 – Автобус Богдан А70132 КП «ВТК»



Рисунок 1.5 – Автобус ЛАЗ- А183 D1 КП «ВТК»



Рисунок 1.6 – Автобус Otokar Kent C CNG КП «ВТК»



Рисунок 1.7 – Електробус Skywell КП «ВТК»



Рисунок 1.8 – Автобуси середнього класу АТАМАН (ISUZU) A092G6

Всі муніципальні автобуси комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» відповідають сучасним екологічним вимогам стандарту «Євро-5» та «Євро-6», що відповідає стратегії розвитку міста в напрямку декарбонізації, та європейським тенденціям у сфері міської мобільності.

Усі автобуси муніципального парку є низькопідлоговими, що забезпечує зручність посадки та висадки пасажирів, особливо людей похилого віку та пасажирів із дітьми. Крім того, кожен автобус оснащений висувним або відкидним пандусом для комфортного доступу осіб із обмеженими можливостями пересування, зокрема пасажирів на інвалідних візках. Такий підхід відповідає

принципам інклюзивного транспорту, спрямованого на забезпечення рівних умов пересування для всіх категорій громадян.

## **1.2 Особливості експлуатації міських автобусів в місті Вінниця**

Умови експлуатації міських автобусів у Вінниці постійно змінюються під впливом розвитку транспортної інфраструктури, оновлення рухомого складу та впровадження екологічно чистих видів транспорту. З погляду паливної економічності можна виділити кілька тенденцій, які впливають на ефективність використання автобусного транспорту.

Вінниця має розгалужену маршрутну мережу міського пасажирського транспорту, яка охоплює всі райони міста та забезпечує сполучення між житловими масивами, промисловими зонами та адміністративним центром. Основу транспортної системи складають автобуси середньої та великої місткості, що працюють у змішаному русі разом з індивідуальним транспортом. У години «пік» це призводить до зниження середньої швидкості руху, підвищення витрати палива та зменшення регулярності рейсів.

З метою підвищення ефективності перевезень у Вінниці реалізується система пріоритету громадського транспорту. На окремих вулицях, таких як проспект Коцюбинського, вул. Київська, вул. Соборна, передбачено виділені смуги для руху автобусів, що дозволяє зменшити вплив заторів на їхній рух та скоротити час у дорозі. В результаті такі заходи сприяють зниженню питомої витрати палива та поліпшенню регулярності сполучення.

Важливим чинником паливної економічності є також стан дорожнього покриття. У місцях із частими зупинками, підйомами чи нерівностями дороги спостерігається підвищена витрата палива через часті розгони та гальмування. Особливо це характерно для центральної частини міста, де висока щільність перехресть і пішохідних переходів.

Сучасний автобусний парк міста складається переважно з дизельних автобусів великої місткості, які забезпечують регулярні перевезення на міських

маршрутах. Більшість із них оснащено системами вентиляції, опалення та кондиціонування, що забезпечують комфорт пасажирів. Однак робота цих систем створює додаткове навантаження на двигун внутрішнього згоряння, що підвищує витрати палива, особливо в літній та зимовий періоди.

Загалом, розвиток автобусного транспорту у Вінниці спрямований на створення ефективної, безпечної та екологічно чистої транспортної системи, що відповідає сучасним європейським стандартам мобільності.

Значний вплив на паливну економічність має стан дорожнього покриття. У центральній частині міста, де дороги мають підвищену зношеність і часто виникають затори, витрати палива зростають. Натомість на відремонтованих магістральних ділянках (вулиця Хмельницьке шосе, Барське шосе, Немирівське шосе) автобуси демонструють кращі показники паливної ефективності.

Розвиток автобусних перевезень у Вінниці спрямований на задоволення потреб населення в якісних, безпечних і доступних транспортних послугах, а також на зменшення екологічного навантаження на міське середовище. Це відповідає цілям, визначеним у Законі України «Про автомобільний транспорт», Стратегії сталого розвитку «Вінниця 3.0» та Програмі розвитку міського пасажирського транспорту м. Вінниці до 2030 року, що передбачає модернізацію рухомого складу, удосконалення маршрутної мережі та зниження рівня шкідливих викидів.

Нині більшість міських автобусів, що експлуатуються у КП «Вінницька транспортна компанія» та приватних перевізників, обладнані дизельними двигунами екологічного класу Euro-5 та Euro-6, що відповідають вимогам українського законодавства у сфері охорони довкілля. Проте, враховуючи потребу у підвищенні енергоефективності, у перспективі передбачено поступовий перехід на більш екологічні технології, зокрема газові, гібридні або електричні автобуси.

Водночас, на даному етапі дизельні автобуси залишаються основним видом рухомого складу міського транспорту, оскільки вони мають високі показники надійності, потужності та автономності, що особливо важливо для забезпечення стабільної роботи транспорту в умовах інтенсивного міського руху.

В умовах міста Вінниця спостерігається тенденція інтенсифікації руху на основних магістралях, що впливає на режим роботи автобусів та витрату палива. Серед ключових факторів, які визначають ефективність експлуатації автобусів, можна виділити:

- рівень завантаженості маршрутів та інтенсивність пасажиропотоку;
- щільність транспортного потоку і кількість світлофорних регулювань;
- рельєф місцевості та стан дорожнього покриття;
- кліматичні умови (особливо температурний режим зимового періоду);
- технічний стан рухомого складу та кваліфікація водіїв.

Наявність цих факторів вимагає диференційованого підходу до нормування витрати палива для міських автобусів. Велике різноманіття математичних моделей, що використовуються для визначення витрати палива, свідчить про необхідність пристосування методики до конкретних умов експлуатації міських автобусів у Вінниці. Неможливо однаково застосовувати модель, розроблену для інших міст чи типів автобусів, без урахування місцевих особливостей — наприклад, наявності заторів у центральній частині міста, змішаного складу руху або різних типів покриття доріг.

Крім того, сучасні інформаційні системи обліку та моніторингу транспорту, які впроваджуються у КП «Вінницька транспортна компанія», забезпечують автоматичне збирання статистичних даних щодо пробігу, швидкості руху, часу простоїв, роботи двигуна та фактичної витрати палива.

### **1.3 Основні наукові дослідження в області нормування витрати палива міських автобусів**

Питання визначення витрати палива міських автобусів в експлуатаційних умовах розглядалося у працях вітчизняних та зарубіжних дослідників. Зокрема, науковці приділяли увагу формуванню моделей, які враховують комплекс експлуатаційних, дорожніх і організаційних факторів.

Так, у роботі Коніна І.В. було визначено понад тридцять чинників, що впливають на складність міських автобусних маршрутів, однак доведено, що для побудови практичних математичних моделей доцільно враховувати лише обмежену групу інформативних факторів. До найсуттєвіших він відніс:

1. частоту планових і позапланових зупинок;
2. середню швидкість руху на перегоні;
3. наповнюваність салону;
4. довжину перегону;
5. інтенсивність руху;
6. стан дорожнього покриття;
7. кількість та радіус поворотів;
8. кількість смуг руху.

На основі цих параметрів сформульовано показник складності маршруту, що використовується для коригування лінійних норм витрат палива міських автобусів.

Подібний підхід застосовано у роботах Ель-Сайеда Халіля Хусейна (Єгипет) та Амарні Насера (Йорданія), де моделі витрати палива формувалися залежно від щільності транспортного потоку, середньої експлуатаційної швидкості, питомої кількості зупинок, довжини перегонів та температури навколишнього середовища. Ці дослідження демонструють універсальність факторів, що визначають ефективність використання пального у міських умовах.

У працях Б. Виполатіва встановлено, що на витрату палива найбільше впливають:

1. середня швидкість сполучення;
2. середня довжина перегону;
3. кількість поворотів на маршруті;
4. заповнення салону;
5. середньодобовий пробіг;
6. температура навколишнього повітря.

Зарубіжні автори, зокрема Zacharof N. та колеги, у своїх дослідженнях виявили групи експлуатаційних і природно-кліматичних факторів, що

спричиняють розбіжність між сертифікованими та фактичними витратами палива. Вони зазначають, що на споживання палива суттєво впливають:

- використання систем кондиціонування та клімат-контролю (+2 %);
- аеродинамічні характеристики кузова (+6–7 %);
- стиль водіння (різниця до  $\pm 25$  %);
- технічний стан транспортного засобу;
- якість пального та шин;
- стан дорожнього покриття й ухили траси.

Д. Г. Суматохін запропонував класифікацію факторів, що впливають на маршрутну витрату палива міських автобусів, виділивши п'ять груп:

1. конструкційні (33,3 %);
2. експлуатаційні (26,7 %);
3. організаційні (20 %);
4. технологічні (13,3 %);
5. природно-кліматичні (6,7 %).

При цьому найбільший вплив мають умови руху (інтенсивність потоку, кількість смуг, наявність кишень на зупинках), ефективність конструкції автобусів, наповнюваність салону, середня швидкість руху, якість технічного обслуговування, структура парку автобусів і температура навколишнього середовища.

Узагальнюючи результати досліджень, можна зробити висновок, що витрата палива міських автобусів формується під впливом великої кількості взаємопов'язаних чинників. Однак при розробленні практичних моделей нормування палива доцільно враховувати лише ті, що мають найбільшу інформативність і можуть бути виміряні в реальних умовах експлуатації.

Відповідно до Методичних рекомендацій з нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних, інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та технікою ухвалених Науково-технічною радою ДП «ДержавтотрансНДІпроект» [3], (Наказу Міністерства інфраструктури України від 10.02.1998 № 43 «Про затвердження Норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному

транспорті» втратив свою чинність) під час встановлення норм витрат палива допускається врахування поправочних коефіцієнтів, що відображають вплив таких факторів, як дорожні умови, рельєф місцевості, технічний стан транспортного засобу, температура повітря, вид палива, характер перевезення, щільність транспортного потоку та інші експлуатаційні параметри.

Таким чином, сучасний підхід до нормування витрат палива автобусів в Україні має базуватися на комплексному врахуванні конструкційних, організаційно-технологічних та природно-кліматичних умов із використанням методів математичного моделювання, що відповідають реальним умовам міських перевезень.

Таблиця 1.1 – Математичні моделі витрати палива міських автобусів у розглянутих дослідженнях

Автор роботи	Математична модель
Гарбер А.З., Зотов В.Б., Ковальов О.	$H_M = H_L \cdot (0,94 + 0,33 \cdot \gamma - 0,01 \cdot V_e + 0,07 \cdot n_{пе})$
Конін І.В.	$H_M = H_L \cdot (0,74181 + 0,00083 \cdot n_{пе} + 9,70279 \cdot \gamma + 0,08766 \cdot n_{но})$
Ель-Сайед Халіль Хусейн	$H_M = 35,7 + 1,95 \cdot \rho + 2,61 \cdot n_{oc} + 6,74 \cdot \gamma$
Амарні Н.	$Q = 56,19 + 0,474 \cdot \gamma - 0,503 \cdot l_{пе} - 0,508 \cdot V_e +$ $+0,481 \cdot \rho - 0,063 \cdot T$
Ісмаїлів Р.І.	$Q = 52,74 + 2,89 \cdot \gamma - 0,92 \cdot l_{пе} - 1,00 \cdot V_e +$ $+2,91 \cdot \rho + 3,64 \cdot n_{oc}$
	$Q = 43,52 + 2,96 \cdot \gamma - 5,25 \cdot l_{пе} - 0,61 \cdot V_e +$ $+2,98 \cdot \rho + 6,91 \cdot n_{oc}$
Виполатов Б.Ю.	$Q = 76,55 - 0,42 \cdot V_з - 13,43 \cdot l_{пе} + 7,22 \cdot n_{но} -$ $-0,33 \cdot G_c - 0,017 \cdot l_{cc} - 0,074 \cdot T$
Суматохін Д.Г.	$Q = 27,576 - 0,451 \cdot V_e - 3,469 \cdot l_{пе} +$ $+33,267 \cdot \gamma + 1,607 \cdot \rho + 0,0078 \cdot L + 0,511 \cdot B$

де  $H_m$  - маршрутна норма витрати палива;

$H_l$  - лінійна норма витрати палива;

$Q$  - витрата палива л/100 км;

$\gamma$  - коефіцієнт використання пасажиромісткості;

$V_e$  - експлуатаційна швидкість;

$n_{pe}$  - питома кількість перегону;

$n_{no}$  - питома число поворотів;

$\rho$  - щільність транспортного потоку;

$l_{ке}$  - середня довжина перегону;

$T$  - температура навколишнього повітря;

$n_{oc}$  - питома кількість зупинок;

$V_3$  - швидкість сполучення;

$G_c$  - фактичне наповнення салону автобуса (пас. / м<sup>2</sup>);

$l_{cc}$  - середньодобовий пробіг;

$L$  - загальний пробіг з початку експлуатації;

$B$  - вік автобуса.

#### **1.4 Аналіз підходів до нормування витрати палива автобусів, що застосовуються в експлуатаційних підприємствах**

Нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних та інших експлуатаційних матеріалів – це встановлення допустимої міри їх споживання в певних умовах експлуатації автомобілів та іншої техніки, для чого застосовуються базові лінійні норми, встановлені за моделями (модифікаціями) автомобілів, та система нормативів і коригуючих коефіцієнтів, які дозволяють враховувати виконану транспортну роботу, особливості технологічного процесу, кліматичні, дорожні та інші умови експлуатації.

На сьогоднішній день Наказу Міністерства інфраструктури України від 10.02.1998 № 43 «Про затвердження Норм витрат палива і мастильних матеріалів

на автомобільному транспорті» втратив свою чинність, тому при нормуванні витрати палива можна користуватись положеннями наведеними в Методичних рекомендаціях з нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних, інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та технікою ухвалених Науково-технічною радою ДП «ДержавтотрансНДІпроект» [3].

«Методичні рекомендації» призначені для науково-методичного забезпечення потреб підприємств, організацій, установ, юридичних та фізичних осіб у плануванні, обліку, контролі за витратами, веденні звітності, обґрунтуванні створення необхідних резервів, запровадженні інструментів економії і раціонального використання палив, мастильних та інших експлуатаційних матеріалів, електричної енергії, що споживаються автомобілями та технікою під час транспортного процесу або виконання технологічних операцій, а також розробленні питомих норм витрат палива/енергії. Скорочення споживання моторних палив, енергії та, відповідно, зменшення викидів парникових газів транспортом є вагомим складовим виконанням Україною міжнародних зобов'язань щодо запобігання зміні клімату.

Методичні рекомендації», як і «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті», призначені для науково-методичного забезпечення єдиного підходу щодо, з одного боку, проведення безпосередньо суб'єктами розрахунків нормативних витрат палива автомобілями і технікою в конкретних умовах експлуатації, а з іншого боку, під час аудитів суб'єктів, щодо перевірки правильності та обґрунтованості цих розрахунків і, відповідно, раціонального та цільового використання ресурсів.

ДП «ДержавтотрансНДІпроект» розробляє базові лінійні та інші базові норми на основі об'єктивних, централізовано зібраних даних, без конфлікту інтересів зацікавлених сторін – користувачів, водіїв та власників, із застосуванням механізмів попередньої апробації в різних природно-кліматичних, дорожніх та інших умовах в цілому в країні та за її межами. Постійні базові лінійні та інші базові норми після ухвалення Науково-технічною радою ДП «ДержавтотрансНДІпроект» включають до нової редакції «Базових норм витрат», доповнення до «Методичних

рекомендацій» (МР), окремої книги, доступної на вебсайті інституту. До першої редакції Доповнення до МР включені постійні норми останньої редакції «Норм витрат» та нові норми для 169 моделей (модифікацій) автомобілів, що пройшли апробацію.

ДП «ДержавтотрансНДІпроект», розробник «Методичних рекомендацій» та «Норм витрат» є фаховим інститутом Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України (Мінінфраструктури) у галузі автомобільного транспорту, має досвід понад 50 років за напрямом нормування витрат палива та експлуатаційних матеріалів, бере активну участь за дорученнями Мінінфраструктури, компетентного органу України, у забезпеченні виконання дев'яти міжнародних угод ООН у сфері транспорту.

При розрахунково-експериментальному способі нормування витрати палива міських автобусів застосовується спеціально побудована кореляційно-регресійна математична модель, що являє собою лінійну комбінацію різних експлуатаційних, технічних та дорожніх факторів [4].

Цей метод дозволяє врахувати найбільш значущі чинники, що впливають на витрату палива, та мінімізує вплив людського фактору, пов'язаного з можливими помилками під час експлуатації транспортних засобів або недотриманням фінансової дисципліни.

Основним недоліком розрахунково-експериментального методу є складність його практичної реалізації, оскільки модель потребує періодичного коригування факторних коефіцієнтів через зміну умов експлуатації, маршрутної мережі чи кліматичних параметрів [5]. Крім того, для отримання необхідних вхідних даних часто потрібне проведення трудомістких експериментальних досліджень, особливо за відсутності автоматизованих інформаційних систем обліку роботи рухомого складу.

Третій спосіб нормування витрати палива — статистичний метод.

Він базується на зборі та обробці фактичних статистичних даних про витрату палива на різних маршрутах для різних типів і модифікацій автобусів та за різних умов виконання транспортної роботи.

Такий підхід доцільно застосовувати на автотранспортних підприємствах, де експлуатується велика кількість різних моделей автобусів і маршрутів із відмінними експлуатаційними характеристиками.

На його основі підприємства можуть здійснювати коригування встановлених норм із використанням даних первинного обліку, систем GPS-моніторингу, а також результатів експлуатаційного аналізу фактичних витрат палива на маршрутах.

### **1.5 Аналіз чинної методики нормування витрати палива лінійних автобусів**

Щорічно у комунальному підприємстві «Вінницька транспортна компанія» (КП «ВТК») здійснюється перегляд норм витрати палива для муніципальних автобусів відповідно до вимог Методичних рекомендацій з нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних, інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та технікою (затверджених ДП «ДержавтотрансНДІпроект» у редакції від 17.11.2023 р.) та на підставі внутрішнього наказу КП «ВТК».

Проект норм витрати палива оформляється у стандартизованій таблиці встановленої форми та передається до служби експлуатації автобусного транспорту КП «ВТК» для узагальнення та затвердження.

Після аналізу наданих даних і проведення вибіркового перевірок Служба експлуатації КП «ВТК» узгоджує проект норм із технічним відділом, після чого готує наказ про затвердження нормативних значень витрати палива для кожної моделі автобусів. До наказу додається таблиця з диференційованими показниками:

Нормативна витрата палива для лінійних міських автобусів у Вінниці визначається як сума складових, що відображають усі елементи транспортного циклу:

$$Q_H = Q_{\text{нр}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{оп}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{кл}}$$

де  $Q_H$ — загальна нормативна витрата палива, л;

$Q_{\text{нр}}$ — витрата палива на нульовий пробіг, л;

$Q_m$ — витрата палива під час роботи на маршруті, л;

$Q_{оп}$ — витрата палива на роботу системи опалення салону, л;

$Q_{пр}$ — витрата палива на прогрів двигуна перед виїздом, л;

$Q_{кл}$ — додаткова витрата, пов'язана з кліматичними умовами та роботою допоміжних систем, л.

Для точності розрахунків використовуються коригуючі коефіцієнти, передбачені методикою ДП «ДержавтотрансНДІпроект», з урахуванням:

- пори року (зимовий/літній період);
- стану дорожнього покриття (мокрый асфальт, слизька дорога, ухили);
- інтенсивності пасажиропотоку;
- умов руху (наявність заторів, частота зупинок, середня швидкість).

Застосування оновлених норм дозволяє підприємству:

- забезпечувати економічну обґрунтованість споживання палива;
- планувати річний фонд паливно-мастильних матеріалів;
- контролювати ефективність експлуатації автобусів на різних маршрутах;
- виявляти відхилення у витратах та оперативно реагувати на нераціональне використання ресурсів.

Розрахунок нормативних витрат палива для легкових автомобілів і автобусів нормативні витрати палива розраховують за формулою:

$$Q_n = 0,01 \cdot H_s \cdot S \cdot (1 + 0,01 \cdot K_\Sigma),$$

де  $Q_n$  – нормативна витрата палива, літри, ( $m^3$ );

$H_s$  – базова лінійна норма витрати палива, л/100 км ( $m^3/100$  км) ;

$S$  – пробіг автомобіля, км;

$K_\Sigma$  – сумарний коригуючий коефіцієнт, %.

У разі використання в автомобілях (у тому числі автобусах) автономних (незалежних) обігрівачів нормативна витрата палива на роботу обігрівача

додається до загальних нормативних витрат і її максимально можливе значення розраховується таким чином:

$$Q_{он} = H_{он} \cdot 0,01 \cdot K_m \cdot \tau_{он}$$

де:

$Q_{он}$  – максимально можливе значення нормативної витрати палива на роботу обігрівача, літри;

$H_{он}$  – базова норма витрати палива на роботу автономного обігрівача, л/год.;

$K_m$  – відсоток використання потужності обігрівача залежно від фактичної температури повітря в холодну пору року (визначається відповідно до п. 1.8);

$\tau_{он}$  – обґрунтована та задокументована тривалість роботи автономного обігрівача.

Примітка. Тривалість роботи автономного обігрівача та відсоток використання його потужності зазначається у дорожніх листах або інших звітних документах.

### **Встановлення нормативних витрат палива з урахуванням експлуатаційних факторів**

Дорожні, кліматичні та інші експлуатаційні фактори враховуються шляхом застосування коригуючих коефіцієнтів, наведених у формі відсотків підвищення або зниження базового значення норми.

Для коригування лінійних норм можуть застосовуватися коригуючі коефіцієнти.

Всі наведені цифрові значення коригуючих коефіцієнтів (у тому числі значення відсотків встановлення норм на роботу обладнання та значення норм витрат тощо), наведені з прийменником «до», слід читати як такі, що можуть застосовуватися включно.

Під час розрахунків є достатнім використання трьох значущих цифр (округлення значень до трьох значущих цифр).

Максимальні значення коефіцієнтів коригування норм витрат палива, відповідають гранично допустимим нормативам для найскладніших умов експлуатації рухомого складу та не можуть бути встановлені одночасно на всі автомобілі (обладнання) суб'єкта і на весь термін їх експлуатації.

З метою забезпечення економного використання моторних палив автомобільним транспортом та запобігання зловживанням рекомендується диференційоване застосування коефіцієнтів коригування норм під час розрахунків суб'єктами нормативних витрат палива залежно від фактичних потреб у відповідних умовах експлуатації. Рекомендовано по можливості встановлювати індивідуальні значення коефіцієнтів коригування норм (в регламентованих межах) для кожного транспортного засобу залежно від особливостей його конструкції, технічного стану та умов експлуатації відповідно до фактичних потреб.

Під час визначення фактичних потреб і їх обґрунтованості та здійснення суб'єктами подальших розрахунків нормативних витрат палива слід враховувати, що перевищення окремими водіями встановлених швидкісних обмежень призводить до дуже значного збільшення споживання палива.

За високих швидкостей (починаючи вже зі швидкості 70 км/год та вище) витрати енергії на пересування стрімко зростають за складною нелінійною залежністю. Зокрема, сила аеродинамічного опору руху тіла пропорційна квадрату швидкості, а потужність, необхідна для її подолання, пропорційна кубу швидкості. Таким чином, збільшення швидкості в два рази вимагає збільшення потужності на подолання опору повітря у вісім разів.

Наприклад, навіть в умовах усталеного руху (що не враховують попередню витрату палива на збільшення кінетичної енергії автомобіля під час розгону), зростання швидкості з 90 км/год до 120 км/год може призвести до підвищення споживання палива на одну третину (відносно витрати палива за швидкості 90 км/год). За швидкості 140 км/год перевитрата палива може становити вже близько двох разів у порівнянні з витратою за швидкості 90 км/год.

Характерна залежність питомої  $Q$  (л/100км) витрати палива від швидкості сталого руху (км/год) автомобіля середнього класу наведена на рис. 1.

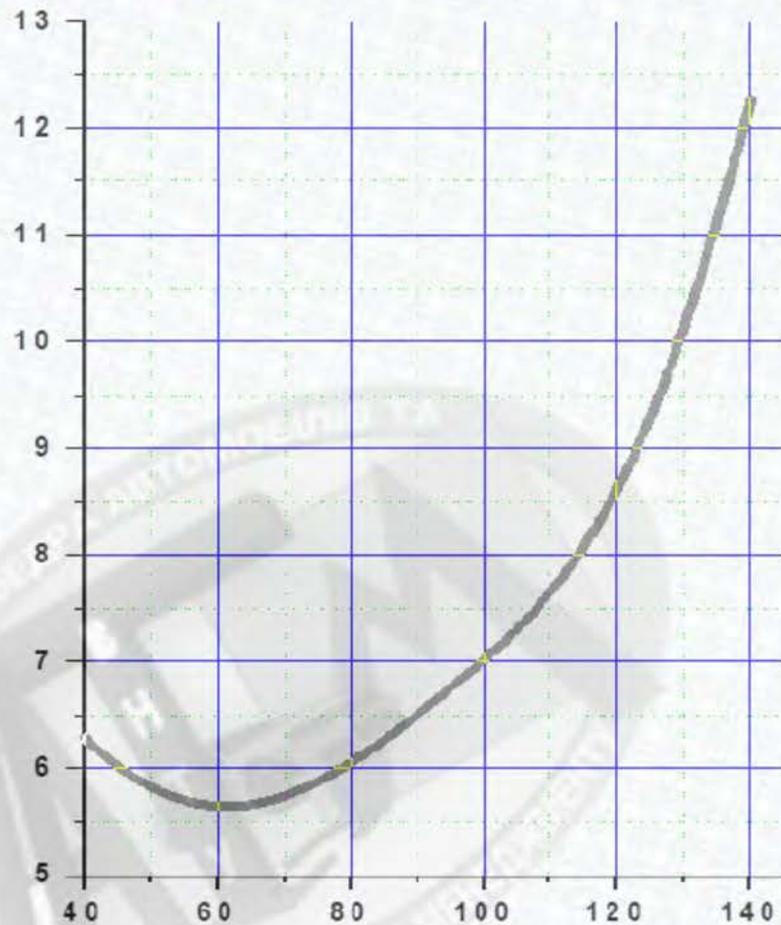


Рисунок 1.9 – Характерна залежність питомої  $Q$  (л/100км) витрати палива від швидкості сталого руху  $V$  (км/год) для автомобіля середнього класу (паливна характеристика сталого руху).

Пропорційно квадрату швидкості зростає також шлях гальмування та кінетична енергія автомобіля, що рухається, і, відповідно, тяжкість наслідків зіткнення у разі ДТП.

Результати проведених досліджень впливу манери керування на витрату палива в сучасних умовах міст свідчать, що навіть не дуже агресивна манера керування може збільшити витрати палива технічно справним автомобілем більш ніж на 30 % без отримання принципових переваг у середній швидкості пересування містом (але з одночасним створенням значної загрози безпеці дорожнього руху).

І навпаки, застосування економної манери керування дає змогу навіть у великих містах (за умови відсутності серйозних ускладнень руху та заторів протягом всього маршруту руху) заощадити 20-30 % палива.

Тому з метою економного використання моторних палив, зменшення техногенного тиску транспортних засобів на навколишнє середовище та зниження негативного впливу на людей, наслідком якого є величезні макроекономічні збитки суспільства, та сприяння підвищенню безпеки під час здійснення перевезень, рекомендовано обґрунтоване встановлення мінімально можливих значень коефіцієнтів коригування норм.

Фактичні потреби та нормативні витрати палива рекомендується визначати за звітними документами суб'єкта, даними GPS-моніторингу, тахографів, інших сучасних інформаційних технологій та супутникових систем навігації з фіксацією умов експлуатації, до яких можуть бути застосовані відповідні коефіцієнти коригування базової норми, що враховують вплив на споживання палива тих чи інших умов.

Умови експлуатації можуть бути наведені безпосередньо у звітному документі, а також (у разі здійснення перевезень, що передбачають часту зміну умов руху, з індивідуальним обчисленням нормативної витрати палива на окремих ділянках) у додатку до звітнього документа, що є його невід'ємною частиною та оформлюється за довільною формою, визначеною суб'єктом.

У разі використання транспортного засобу на постійних маршрутах та в одноманітних умовах дорожнього руху тощо (або у сукупності різних умов, яка повторюється кожного разу) належне обґрунтування застосування системи коригуючих коефіцієнтів (або частини коригуючих коефіцієнтів, що застосовуються) на певний період часу відповідно до нормоутворюючих факторів може бути наведено в окремому звітному документі (замість зазначення всіх факторів безпосередньо в кожному звітному документі, що оформлюється на кожну добу чи поїздку тощо) відповідно до наказу (розпорядження) суб'єкта на основі проведених та оформлених суб'єктом власних досліджень умов експлуатації (у тому числі для обґрунтування застосування коефіцієнтів, що застосовуються

окремо на частину маршруту з відповідними умовами руху, але за винятком факторів, що мають епізодичний та виключно випадковий характер).

Фактори, що мають епізодичний та виключно випадковий характер (та відповідні ним коригуючі коефіцієнти) потребують окремого документування для обґрунтування застосування при розрахунках нормативних витрат палива.

У разі потреби визначення зміни у часі (або залежно від умов експлуатації, навичок водія тощо) поточного рівня фактичного споживання палива можуть бути використані показання сучасних штатних бортових комп'ютерів, системи GPS-моніторингу транспорту та споживання палива тощо.

Під час оцінки фактичної витрати палива методом доливання до повного баку рекомендовано виконувати принаймні такі умови:

доливання до повного баку (до та після здійснення перевезень та/або виконання певної роботи) здійснюють в одному і тому самому місці (на горизонтальній площадці) за однаковою методикою із застосуванням одного і того самого вимірювального устаткування (лічильник АЗС, мірні ємності) суворо дотримуючись правил протипожежної безпеки;

забезпечують пробіг або час роботи автомобіля (обладнання), за який витрачається принаймні 30 % палива від місткості штатного паливного баку (рекомендовано 50 % і більше для зменшення похибки вимірювань).

Суб'єктом може бути створено комісію для перевірок, наприклад: технічного стану транспортних засобів (обладнання) та їх експлуатації згідно з рекомендаціями заводу-виробника (перевірка працездатності та регулювань систем двигуна, трансмісії, тиску в шинах тощо); техніки управління водіями (операторами) автомобілями (обладнанням), дотримання водіями встановлених швидкісних обмежень, безпечної та економної манери керування транспортними засобами тощо.

Належне обґрунтування використання в регламентованих межах системи коригуючих коефіцієнтів, норм і нормативів здійснюється суб'єктом залежно від наявних технічних й інших можливостей ведення поточного обліку та управління експлуатаційними витратами.

## 1.6 Висновки до розділу 1

Результати аналізу показали, що автобусні перевезення залишаються одним із основних видів громадського транспорту у більшості міст України, зокрема у Вінниці. Вони забезпечують значну частку міських пасажирських перевезень і мають важливе соціально-економічне значення.

Розвиток автобусних перевезень у Вінниці спрямований на забезпечення якісних, безпечних і доступних транспортних послуг, а також на зменшення екологічного впливу. Це відповідає завданням, визначеним Законом України «Про автомобільний транспорт» і Програмою розвитку міського транспорту до 2030 року.

Більшість міських автобусів працюють на дизельному паливі та відповідають стандартам Euro-5 і Euro-6. Проте в перспективі передбачено поступовий перехід на енергоефективні технології – газові чи гібридні автобуси.

Для умов міста Вінниця характерна інтенсивна транспортна мережа, що впливає на витрату палива. Основними чинниками є завантаженість маршрутів, кількість світлофорів, стан доріг, рельєф місцевості, кліматичні умови та технічний стан автобусів. Це вимагає адаптованої до місцевих умов методики нормування витрати палива. Використання сучасних систем моніторингу транспорту у КП «Вінницька транспортна компанія» дає змогу автоматично збирати дані про пробіг, швидкість, простої та витрату палива. Поєднання традиційних методів нормування з цифровими технологіями дозволить підвищити точність норм, оптимізувати споживання палива й забезпечити ефективну роботу автобусного транспорту у Вінниці.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИТРАТИ ПАЛИВА МІСЬКИМИ АВТОБУСАМИ

#### 2.1 Класифікація факторів, що впливають на витрата палива міських автобусів

Автомобільний транспорт є енергоємним, на нього припадає близько 30% загального споживання рідкого нафтового палива. Витрата моторного палива є однією з головних статей витрат автотранспортних підприємств. Частка витрат на паливо у собівартості транспортних послуг становить 15–25%, проте може бути і більше. Тому зменшення паливних витрат є одним із ключових завдань. Зниження споживання палива не лише зменшує експлуатаційні витрати, але й сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин, підвищуючи екологічну безпеку перевезень. Досягти цього можна шляхом раціонального використання палива.

Слід зазначити, що в процесі діяльності автотранспортних підприємств і компаній умови експлуатації міських автобусів постійно змінюються. Зокрема:

- оновлюються або створюються нові маршрути;
- маршрути відрізняються за довжиною, рельєфом, кількістю зупинок і дорожніми умовами, що безпосередньо впливає на витрату палива та потребує врахування під час нормування.

Крім того, структура рухомого складу постійно змінюється – відбувається переміщення автобусів між маршрутами або введення в експлуатацію нових моделей транспортних засобів, що також впливає на витрату палива.

На витрату палива впливає велика кількість факторів, які наведені на рис. 2.1.

Конструкційні фактори	Природно-кліматичні фактори	Технологічні фактори	Експлуатаційні фактори	Організаційні фактори
Ефективність конструкції	Температура навколишнього середовища	Управління якістю ТО і ПР	Стан дорожнього покриття	«Вік» парку міських автобусів
Якість проектування вузлів і агрегатів	Кількість опадів	Забезпеченість ВТБ	Кут поздовжнього ухилу траси маршруту	Структура парку автобусів за моделями
Якість виготовлення деталей		Оптимізація потужності та структури ВТБ	Тип дорожнього покриття	Втрати палива при ТО і ПР міських автобусів
Якість застосовуваних матеріалів		Забезпечення підприємства персоналом	Інтенсивність експлуатації автобусів	Крадіжки палива
Якість збирання вузлів і агрегатів		Кваліфікація персоналу	Наповненість салону автобуса за перегоном	Якість палива та експлуатаційних матеріалів
Якість збирання автобусів		Удосконалення системи стимулювання праці	Кількість поворотів траси маршруту	Швидкісний режим руху на маршруті
		Застосування обґрунтованих нормативів з ТО і ПР	Інтенсивність руху транспортного потоку	Довжина перегону технологічного циклу
		Виконання рекомендацій і нормативів з ТО і ПР	Кількість смуг руху	Частота планових і позапланових зупинок
		Удосконалення технологій з ТО і ПР	Наявність кишень на зупинках	
		Забезпечення робочих місць і виконавців необхідною технологічною документацією	Освітленість проїжджої частини	
	Застосування раціональних норм витрати палива			
Удосконалення методів зберігання палива				
Застосування комп'ютерних технологій				

Рисунок 2.1 – Фактори, які впливають на витрату палива

До конструкційних факторів відносяться ті фактори, які характерні для кожної модифікації міських автобусів, такі як ефективність конструкції, якість проектування вузлів та агрегатів та ін [6]. Конструкційні фактори враховуються при нормуванні витрати палива шляхом побудови окремої математичної моделі для кожної модифікації міських автобусів, припускаючи, що якість автобусів, що випускаються, однієї модифікації відносно однакова.

У сучасних умовах експлуатації вплив природно-кліматичних факторів на витрату палива буде більш значним у зв'язку з інтенсивним використанням системи кондиціонування, системи опалення салону автобуса та системи клімат-контролю, з підвищенням вимог до якості обслуговування пасажирів [7]. До значних природно-кліматичних чинників відносяться середньозмінна температура навколишнього повітря [8], добова кількість дощових опадів [9], добова кількість снігових опадів.

Експлуатаційні фактори визначають складність маршруту та відіграють значну роль у формуванні витрати палива міських автобусів. У міських умовах можна виділити експлуатаційні фактори, які значною мірою визначають витрату палива міських автобусів:

- швидкісні фактори: швидкість сполучення, питома число технологічних зупинок, питома кількість крутих поворотів [10];
- навантажувальні фактори: питомий обсяг перевезень, середня число пасажирів у салоні автобуса [11];
- інтенсивність експлуатації автобусів (або режим роботи): добовий пробіг, тип змінності, тип дня тижня (робочі чи вихідні) [12].

В окремих випадках до розгляду не відноситься інтенсивність руху транспортного потоку у зв'язку з виділеними смугами для громадського транспорту. Так як в цьому випадку інтенсивність транспортного потоку не надає значуще вплив на рух громадського транспорту.

Технологічні та організаційні фактори відносяться до елементів рішення при керуванні АТП. У діяльності КП «ВТК» керуються планово-попереджувальною системою ТО та ремонту, є власна виробничо-технічна база, місця зберігання, персонал і т.д. У зв'язку з цим технологічні та організаційні фактори, за винятком

вікових показників ПС, відносно стабільні протягом тривалого часу і не враховуються при нормуванні витрат палива [13].

Тому можна припустити, що на сучасному етапі розвитку АТП витрата палива кожної модифікації міських автобусів на маршруті переважно формуватиметься під впливом експлуатаційних (швидкісних, навантажувальних факторів та режиму роботи), вікових та природно-кліматичних факторів.

Водії також впливають на витрату палива транспортних засобів, зокрема, міських автобусів [14]. Однак «водій» є суб'єктивним фактором і його облік при нормуванні повинен здійснюватися безпосередньо стосовно результатів роботи «середньостатистичного» водія. З погляду системи управління персоналом доцільно формувати «середню» норму за всіма водіями АТП для стимулювання їхньої роботи. Тому на етапі збору статистичних даних необхідно враховувати велику кількість водіїв із різною класністю.

Підбиваючи підсумки застосування системного підходу для проведення теоретичного дослідження, цільовою функцією є витрата палива міських автобусів на маршруті (л/100 км), на яку впливають різні вихідні фактори. Принципова схема системного підходу представляється рисунку 2.1.

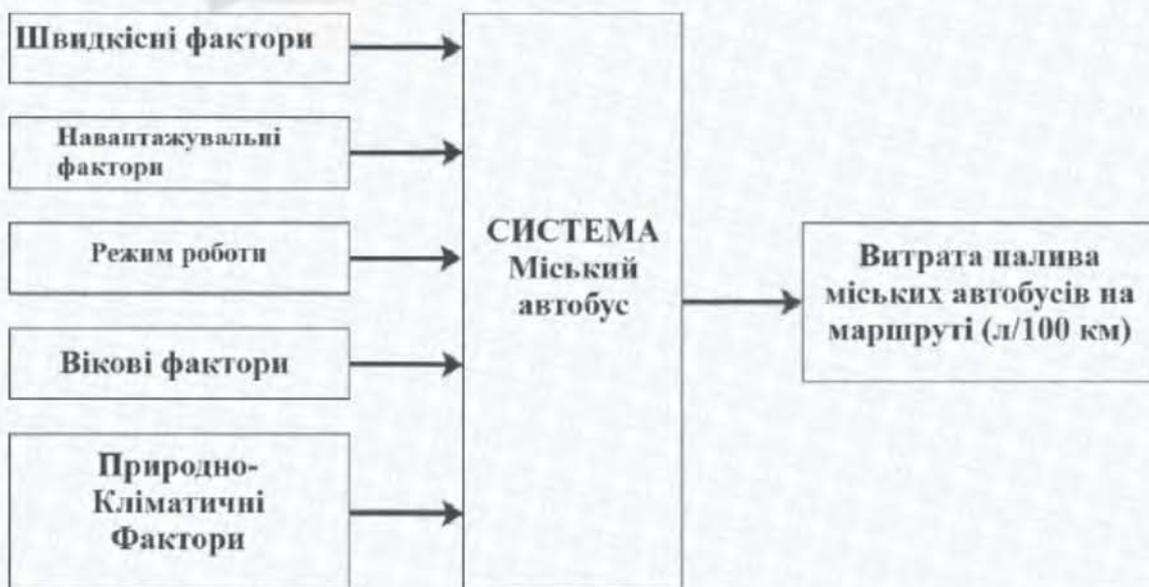


Рисунок 2.2 – Системний підхід при нормування витрати палива міських автобусів

У сучасних умовах експлуатації міських автобусів що впливають на витрату палива фактори можна поділити на такі групи:

- швидкісні фактори: швидкість сполучення, питома число технологічних зупинок, питома кількість крутих поворотів;
- навантажувальні фактори: питомий обсяг перевезень, середня число пасажирів у салоні автобуса;
- інтенсивність експлуатації автобусів (або режим роботи): добовий пробіг, тип змінності, тип дня тижня (робочі чи вихідні);
- вікові фактори: загальний пробіг з початку експлуатації, вік в роках;
- природно-кліматичні фактори: середньозмінна температура навколишнього повітря, добова кількість дощових опадів, добова кількість снігових опадів.

## **2.2 Методичний підхід до визначенню нормативного значення витрати палива міських автобусів**

Існуючий підхід до нормування витрати палива міських автобусів

- В даний час в ході нормування витрати палива, загальна витрата палива міських автобусів умовно поділяється на 4 складових частин:

$$Q_H = Q_{\text{нр}} + Q_M + Q_{\text{оп}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{кл}} \quad (2.1)$$

де  $Q_{\text{нр}}$ — витрата палива на нульовий пробіг, л;

$Q_M$ — витрата палива під час роботи на маршруті, л;

$Q_{\text{оп}}$ — витрата палива на роботу системи опалення салону, л;

$Q_{\text{пр}}$ — витрата палива на прогрів двигуна перед виїздом, л;

$Q_{\text{кл}}$ — витрата палива на систему кондиціонування салону автобуса, л.

Кожна складова відповідає за певну статтю витрати. Фактична витрата за кожною статтею в експлуатації важко визначається кількісно у зв'язку з

конструктивною особливістю рухомого складу за наявності єдиного паливного бака для зберігання палива. на рис. 2.3 представлена ілюстрація системи харчування міських автобусів з низькою підлогою дизельним паливом з умовним поділом на статті витрати згідно діючої методики.

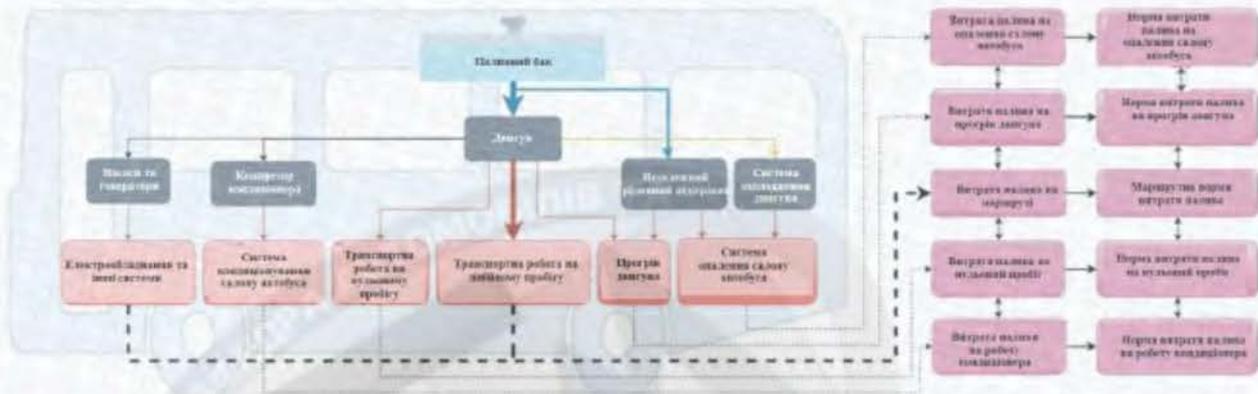


Рисунок 2.3 - Існуючий підхід до нормування витрати палива міських автобусів

Далі розглянемо детально кожну статтю витрати пального стосовно роботи інших систем і агрегатів.

У більшості випадків дизельне паливо з паливного бака подається до двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) для його роботи, а частина палива, за потреби, надходить у рідинний підігрівач. Під час роботи ДВЗ до колінчастого вала через приводні ремені під'єднуються компресор кондиціонера, насоси та генератори, через що частина потужності двигуна витрачається на роботу допоміжних агрегатів (відповідно — частина споживаного пального). Крім того, частина енергії, що утворюється під час роботи ДВЗ, відводиться у вигляді теплоти за допомогою системи охолодження.

Таким чином, енергія, що виділяється при згорянні дизельного палива, умовно перетворюється на:

1. механічну роботу двигуна, насосів, генераторів і компресора кондиціонера;

2. теплову енергію рідинного підігрівача, системи охолодження та самого двигуна.

Насправді ж розподіл енергії під час роботи автобусів є набагато складнішим процесом.

Згідно з прийнятим поділом (формула 2.2), частина енергії ДВЗ використовується для створення корисної роботи автобусів на маршруті та під час нульового пробігу. Механічна робота компресора після теплового перетворення використовується для відведення теплоти із салону під час роботи системи кондиціонування. Теплова енергія рідинного підігрівача забезпечує роботу системи опалення салону автобуса і, за потреби, використовується для підігріву двигуна. Під час роботи системи опалення також застосовується теплова енергія, отримана від системи охолодження двигуна.

Розглянуті системи та агрегати тісно пов'язані між собою з енергетичної точки зору, тому складові витрати пального також взаємопов'язані. Їхня сума, як правило, дорівнює загальній кількості пального, спожитого з паливного бака. Оскільки системи й агрегати часто працюють одночасно, це ускладнює визначення їхнього реального внеску в загальні витрати пального. Відтак, практично неможливо розглядати кожну статтю витрат окремо.

Крім того, у чинній методиці не враховується механічна енергія насосів і генераторів, що використовується для роботи електрообладнання та інших допоміжних систем міських автобусів. Через це неможливо точно визначити фактичні витрати палива за кожною статтею при експлуатації автобусів відповідно до чинної методики (формула 2.2).

На практиці складові норми витрати палива визначалися шляхом проведення експериментальних досліджень (вимірювань) [15] або статистичними методами [16]. За відсутності достовірної інформації про фактичні витрати палива за кожною статтею важко оцінити точність і обґрунтованість розроблених норм.

Крім того, під час розроблення норм витрати палива відповідно до чинної методики не враховуються фактори, які, суттєво впливають на витрати палива

міських автобусів в експлуатації. Такий підхід не гарантує достовірності отриманих результатів, особливо в умовах експлуатації, що постійно змінюються.

Підсумовуючи результати аналізу, можна зазначити, що чинна методика визначення нормативних витрат палива має такі переваги:

- статистичний підхід до визначення маршрутної норми витрат палива може бути ефективним для автотранспортних підприємств із великою кількістю модифікацій рухомого складу, коли інші методи мають суттєві обмеження;

- простота та зручність у застосуванні.

Водночас недоліки методики полягають у наступному:

- достовірність розроблених норм не гарантується через
  1. відсутність інформації про фактичні витрати палива за окремими статтями,
  2. неврахування значущих факторів, що впливають на витрати палива;
- складові норми взаємопов'язані через тісний зв'язок між системами й агрегатами, тому зміна однієї складової впливає на інші;
- для визначення нормативної витрати палива необхідний трудомісткий облік додаткових параметрів — нульового пробігу, часу роботи кондиціонера, підігрівача, холостого ходу тощо;
- маршрутні норми, визначені статистичним методом, не адаптуються до змінних умов експлуатації. Це означає, що розроблені норми:
  1. не поширюються на нові або оновлені маршрути;
  2. достовірні лише для конкретних модифікацій автобусів, які фактично працюють на маршруті, за наявності достатньої кількості статистичних даних.

### **Розробка методичного підходу до нормування витрати палива міських автобусів на основі бази даних сучасних інформаційних систем**

В результаті аналізу існуючої методики нормування витрати палива міських автобусів було виявлено низку недоліків. Тому необхідно розробити новий

методичний підхід для усунення виявлених недоліків та адаптації до сучасних умов експлуатації автобусів, що змінюються.

Об'єктом дослідження є міський автобус, який розглядається як система, на яку впливають різні чинники. Вихідним параметром (функцією відгуку), що нас цікавить, є експлуатаційна витрата палива міських автобусів на маршруті (л/100 км).

Фактичне значення цієї функції визначається як відношення загальної добової витрати палива до добового пробігу. Ці показники повністю фіксуються за допомогою сучасних інформаційних систем обліку роботи рухомого складу.

Досліджувані фактори, що є вхідними параметрами системи, мають істотно впливати на роботу основних систем і агрегатів, які беруть участь у витраті палива, таких як: двигун внутрішнього згоряння, система кондиціонування салону, система опалення салону автобуса тощо.

Зв'язок між вхідними та вихідними параметрами описується за допомогою регресійної моделі, побудованої на основі великого обсягу статистичних даних, отриманих із інформаційних систем, з урахуванням впливу різних факторів.

Ілюстрацію запропонованого підходу до визначення нормативної витрати палива міських автобусів на маршруті наведено на рисунку 2.4.

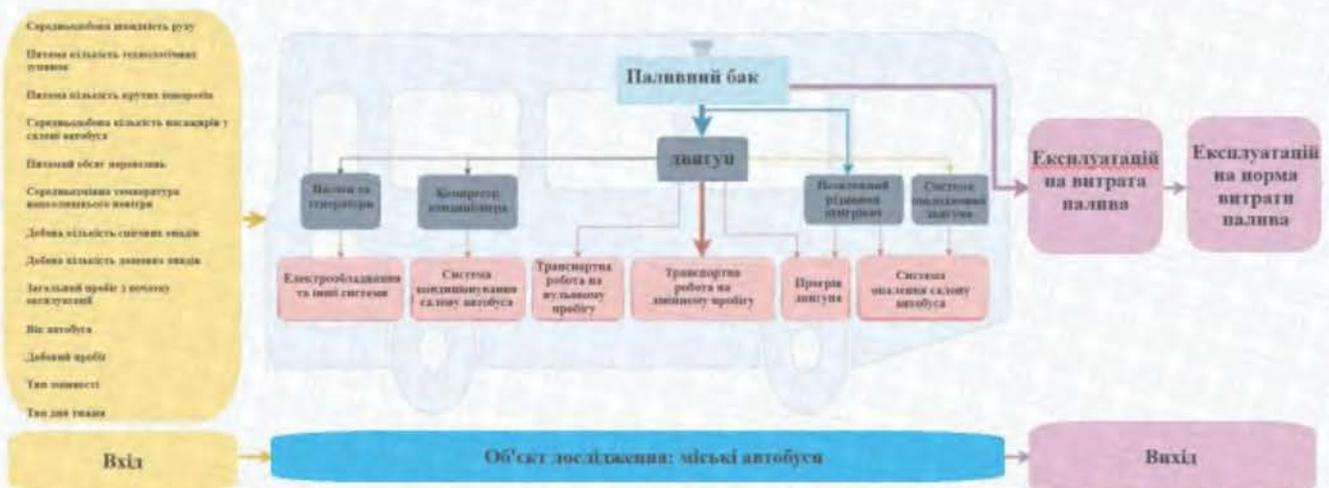


Рисунок 2.4 - Пропонований підхід до нормування спільного витрати палива міських автобусів на маршруті

Переваги запропонованого підходу полягають у наступному:

- урахується низка факторів, які суттєво впливають на витрату палива;
- оцінити адекватність та достовірність розроблених моделей можливо

завдяки наявності фактичних даних щодо витрати палива.

Для реалізації цього методичного підходу необхідно розробити математичні моделі витрати палива міських автобусів на маршруті з урахуванням великої кількості значущих факторів. Результати аналізу підходів до нормування витрати палива (розділ 1.5.1) показали, що, попри суттєві переваги, цей підхід не має широкого практичного застосування через складність його реалізації. Це пов'язано з тим, що:

- потрібен регулярний збір та оброблення великого обсягу статистичних даних, що потребує значних обчислювальних ресурсів;
- розроблені моделі необхідно регулярно оновлювати відповідно до зміни умов експлуатації.

Для усунення виявлених недоліків цього підходу доцільно:

- автоматизувати процес збирання та попереднього опрацювання статистичних даних для побудови чи оновлення математичних моделей шляхом створення спеціалізованого програмного забезпечення;
- враховувати велику кількість факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів на маршруті, із використанням сучасних інформаційних систем, що забезпечує стабільність розроблених математичних моделей за змінних умов експлуатації;
- автоматизувати процес упровадження розробленої методики шляхом створення спеціалізованого програмного забезпечення для управління витратою палива.

Реалізація зазначених заходів дасть змогу здійснити практичне впровадження розроблених моделей, методик та програмного забезпечення у роботу автотранспортних підприємств.

## 2.3 Методичний підхід до побудови математичних моделей витрати палива міських автобусів

### Однофакторний регресійний аналіз

Метою однофакторного регресійного аналізу є вивчення впливу окремого фактора на функцію відгуку та встановлення видів статистичного зв'язку. Для цього потрібно проводити статистичний аналіз в обмежених умовах. Це означає, що треба зібрати статистичні дані в таких умовах, де варіація значень цільових функцій пояснюється переважно варіацією досліджуваного чинника, інші впливові чинники обмежені у вузькому діапазоні існування.

Наприклад, для вивчення впливу середньої температури навколишнього повітря на експлуатаційний витрата палива міських автобусів на 100 км пробігу, знаючи, що швидкість сполучення, питома кількість технологічних зупинок, питома кількість крутих поворотів, вікові показники автобуса, та інші фактори теж істотно впливають на цільову функцію, необхідно зібрати статистичні дані:

- за тривалий період експлуатації, коли температура коливається від мінімуму до максимуму (наприклад, з лютого до липня або довше);
- в рамках одного автобусного маршруту, щоб значення швидкості повідомлення, питомої кількості технологічних зупинок, питомої кількості крутих поворотів були відносно однакові;
- по одній модифікації автобусів, при цьому їх вікові показники (загальний пробіг з початку експлуатації, вік у роках) мають бути відносно близькими;
- тільки для одного типу дня тижня (наприклад, тільки по робочих днях), і лише для одного типу змінності (наприклад, лише за двозмінними режимами роботи), і т.д.

У продовження прикладу на рисунку 2.5 представлена ілюстрація результату однофакторного аналізу впливу середньої температури навколишнього повітря на витрату палива міських низькопідлогових автобусів Богдан 70132.



Рисунок 2.5 - Ілюстрація результатів однофакторного аналізу впливу середньої температури навколишнього повітря на витрату палива міських автобусів Богдан 70132

За таким же принципом здійснюється оцінка впливу кожного фактора на витрату палива міських низькопідлогових автобусів в окремо. А для порівняння ступеня впливу факторів, що вивчаються на цільову функцію необхідно провести однофакторний аналіз в умовах (на вибірці), де варіюються всі фактори, що знижує значення коефіцієнта детермінації регресійних рівнянь.

Розглянутий підхід до побудови однофакторних регресійних моделей дозволяє чітко виділити вплив досліджуваного фактора на цільову функцію, в у тому числі форму та значимість статистичного зв'язку. Це особливо важливо для отримання достовірного результату статистичних аналізів, якщо

- 1) вплив фактора, що вивчається, не дуже суттєвий;
- 2) при зборі даних є інші більш значущі чинники зі значною варіацією;
- 3) кількість спостережень велика, при цьому в зібраних даних варіюються різні відомі та невідомі фактори, що впливають.

Перелічені зауваження очікуються в ході подальшого дослідження, оскільки до складу факторів, що вивчаються за впливом на витрату палива, входить велика кількість змінних різної значущості, а також за допомогою сучасних інформаційних систем можна отримати значну кількість спостережень.

При проведенні однофакторного регресійного аналізу також доцільно розглянути всі можливі види статистичного зв'язку (лінійний та нелінійний) з урахуванням відомих фізичних законів. При виявленні нелінійного відношення між досліджуваним фактором і цільовою функцією необхідно проводити нелінійне перетворення даного фактора.

### **Нелінійне перетворення**

У результаті однофакторного аналізу впливу досліджуваного фактора на цільову функцію можливі такі варіанти:

- не виявлено статистично значущого зв'язку — у такому разі досліджуваний фактор вилючається з подальшого аналізу;
- виявлено лінійний зв'язок — досліджуваний фактор включається до подальшого кореляційно-регресійного аналізу як змінна-предиктор;
- виявлено нелінійний зв'язок.

У разі виявлення нелінійного зв'язку доцільним є проведення нелінійного перетворення досліджуваного фактора з метою підвищення якості лінійного багатфакторного регресійного аналізу за рахунок створення нової змінної-предиктора, що має лінійний вплив на функцію відгуку. Оскільки лінійна регресія передбачає існування лінійної залежності між вхідними змінними та результуючою функцією [17], відхилення від лінійності призводять до помилкових висновків у подальшому аналізі.

Нелінійне перетворення факторів пропонується здійснювати у два етапи:

- на першому етапі визначається оптимальна форма нелінійного наближення залежності витрати палива міських низькопідлогових автобусів від досліджуваного фактора в результаті однофакторного аналізу;

- на другому етапі шляхом проведення багатофакторного регресійного аналізу уточнюються коефіцієнти отриманого нелінійного виразу з урахуванням впливу інших значущих незалежних факторів.

Для подальшого кореляційного та багатофакторного регресійного аналізу на першому етапі необхідно перетворити досліджуваний фактор  $X_i$  у нову змінну  $P(X_i)$ , форма якої визначається за результатами однофакторного аналізу. При цьому, для дотримання припущень лінійної регресії, нова змінна  $P(X_i)$  повинна мати лінійну залежність із функцією відгуку  $Y$  [17].

$$Y = f(X_i) = a_i \cdot \Pi(X_i) + b_i. \quad (2.2)$$

На прикладі попереднього розділу (рис. 2.5) залежність експлуатаційної витрати палива міських автобусів на 100 км пробігу ( $q_e$ , л/100 км) від середньої температури навколишнього повітря ( $T$ , °C) описується поліномом 2-го ступеня:

$$q_e = f(T) = a \cdot T^2 - b \cdot T + c \quad (2.3)$$

де  $a, b, c$  - коефіцієнти регресії.

Позначимо  $b' = b / (2 \cdot a)$ ,  $c' = c - b^2 / (4 \cdot a)$ , та  $\Pi(T) = (T - b')^2$  статистичний зв'язок 2.4 описується наступним чином:

$$q_e = a \cdot (T - b')^2 + c' = a \cdot \Pi(T) + c'. \quad (2.4)$$

Таким чином, на першій стадії було виявлено форму нелінійного перетворення середньої температури навколишнього повітря у вигляді квадрата:

$$\Pi(T) = (T - b')^2, \quad (2.5)$$

де  $b'$  - коефіцієнт нелінійного вираження, який необхідно уточнити на другій стадії нелінійного перетворення.

Крім форми квадрата (формула 2.6) залежно від результатів однофакторного регресійного аналізу, керуючись відомими фізичними законами, можна отримати інші форми нелінійного виразу  $\Pi(X_i)$ , такі як:

- поліном  $n$ -й ступеня:  $\Pi(X_i) = (X_i + b_i)^n$ ;
- експоненційна зв'язок:  $\Pi(X_i) = e^{b_i \cdot X_i}$ ;
- логарифмічна зв'язок:  $\Pi(X_i) = \ln(X_i)$ ;
- степенна зв'язок:  $\Pi(X_i) = (X_i)^{b_i}$  і т.д.

Якщо у нелінійному виразі відсутній будь-який коефіцієнт (наприклад, у випадку логарифмічного зв'язку), етап уточнення форми нелінійного перетворення не потрібен, і отримане нелінійне рівняння можна безпосередньо використовувати як змінну-предиктор для подальшого аналізу.

У наведеному прикладі не рекомендується використовувати результат першого етапу –  $P(T) = (T - b')^2$  – як вихідну змінну-предиктор для подальшого кореляційного та багатфакторного регресійного аналізу, оскільки цей вираз було отримано в результаті однофакторного регресійного аналізу без урахування впливу інших чинників. Це знижує достовірність отриманого виразу та якість побудованих багатфакторних регресійних моделей.

Тому на другому етапі нелінійного перетворення необхідно уточнити всі коефіцієнти отриманого виразу з урахуванням дії інших факторів. У даному прикладі уточнюється значення коефіцієнта  $b'$  у нелінійному виразі  $P(T) = (T - b')^2$ . Це значення можна трактувати як оптимальну середню температуру навколишнього повітря, за якої експлуатаційна витрата палива міських автобусів на 100 км пробігу є мінімальною.

Для уточнення коефіцієнтів нелінійного виразу пропонується виконувати багатфакторний регресійний аналіз, включаючи до моделі нелінійне вираження та змінні, що не корелюють із ним. Така умова необхідна для уникнення явища мультиколінеарності [18], яке суттєво спотворює значення регресійних коефіцієнтів, у тому числі уточнюваного коефіцієнта  $b'$ .

На другому етапі, під час багатофакторного регресійного аналізу, уточнення коефіцієнтів  $(1, b_{i2}, \dots)$  нелінійного виразу з урахуванням інших факторів  $(X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_n)$  здійснюється за рівнянням:

$$Y = a_1 \cdot X_1 + \dots + a_i \cdot P(X_i, b_{i1}, b_{i2}, \dots) + \dots + a_n \cdot X_n + b, \quad (2.6)$$

де  $a_1, \dots, a_i, b_{i1}, b_{i2}, \dots, a_n, b$ — регресійні коефіцієнти.

У результаті аналізу визначаються значення регресійних коефіцієнтів, зокрема уточнені коефіцієнти  $b_{i1}, b_{i2}, \dots$ . Після цього уточнене вираження  $P(X_i) = P(X_i, b_{i1}, b_{i2}, \dots)$  можна використовувати як змінну-предиктор у подальшому кореляційно-регресійному аналізі.

У цьому прикладі багатофакторне рівняння має вигляд:

$$q_e = a_1 \cdot (T - b')^2 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + b, \quad (2.7)$$

де  $X_2, X_3$ — інші незалежні вхідні фактори. Коефіцієнти регресії  $a_1, b', a_2, a_3$  та  $b$  визначаються в результаті багатофакторного регресійного аналізу.

Такий підхід дає змогу отримати більш достовірні нелінійні залежності з урахуванням впливу інших факторів на цільову функцію. Під час другого етапу нелінійного перетворення враховуються лише незалежні чинники, оскільки наявність мультиколінеарності суттєво спотворює коефіцієнти регресії, особливо уточнювані значення. Це явище також негативно впливає на результати подальшого багатофакторного аналізу.

### **Мультиколінеарність і метод головних компонент**

Мультиколінеарність виникає, коли вихідні змінні в регресійній моделі сильно корелюють [19]. Якщо ступінь кореляція між змінними досить висока, це може викликати проблеми при побудові моделей та інтерпретації результатів. До

таких проблем належать: завищене/занижене значення коефіцієнтів регресії, знак коефіцієнта регресії не адекватний фізичним явищам, коефіцієнт регресії не значущий.

Інтерпретація коефіцієнта регресії у тому, що він представляє середня зміна результуючої функції з зміною вихідної змінної на одну одиницю, коли всі інші змінні залишаються постійними [19]. Для цього ключовий момент полягає в тому, що є можливість змінити значення лише однієї вихідної змінної. Однак, коли вихідні змінні взаємокорелюються, це вказує на те, що зміна однієї змінної призводить до зміни іншої змінної. Чим сильніша кореляція, тим складніше змінити одну змінну, не змінюючи іншу. Тому стає важко оцінити взаємозв'язок між кожною вихідною змінною та результуючою функцією за наявності корелюваних вихідних змінних.

За наявності мультиколінеарності регресійні коефіцієнти стають дуже чутливими до невеликим змін в моделі [19]. Значення коефіцієнтів регресії сильно варіюються і їх знак може змінюватися при додаванні/видаленні інших змінних, що взаємокорелюються. Внаслідок цього неможливо довіряти значення рівня значущості при виборі змінних для включення до моделі. Мультиколінеарність впливає на регресійні коефіцієнти та їх рівень значущості, проте вона не впливає на точність прогнозування та достовірність статистики відповідності [20]. Тому в разі, якщо не потрібна інтерпретація регресійних коефіцієнтів, а дослідників цікавить прогнозну якість моделей, то заходи боротьби з мультиколінеарності не застосовуються.

Можливі рішення мультиколінеарності включають наступні методи:

- видалення деяких з взаємокорелюваних змінних;
- використання апарату компонентного аналізу для створення нової змінної-предиктора із взаємокорелюваних змінних для включення в модель, що розробляється [20].

Перший метод реалізується шляхом поступового виключення найменшого значущого із взаємокорелюваних змінних та повторно проведення регресійного аналізу. За наявності дуже тісного зв'язку між вихідними змінними, даний спосіб

дозволяє отримати адекватні регресійні моделі без помітної втрати корисної інформації. Це пов'язано з тим, що за наявності дуже тісного статистичної зв'язку можна замінити два сильно взаємокорелюваних факторів однієї вихідної змінної, крім корелюваного фактора з регресійного аналізу. Однак, як показує досвід, виключення факторів з регресійних моделей призводить до втрати корисної інформації, особливо коли статистичний зв'язок між вихідними змінними є недостатньо високим. При цьому чим менше числа вихідних факторів у регресійних моделях, тим гірше моделі адаптуються до умов експлуатації, що змінюються, так як значення вихідної функції визначається маленьким кругом факторів [21]. Це також наводить до сильним коливанням значень результуючої функції при зміні значення домінуючих факторів, що не забезпечує стабільність побудованих регресійних моделей в умовах, що змінюються. Тому спочатку необхідно розглянути доцільність застосування другого методу.

Другий спосіб боротьби з мультиколінеарністю вважає використовувати метод основних компонент, який є статистичний спосіб зменшення розмірності набору змінних [22]. Це досягається шляхом лінійного перетворення взаємокорелюваних змінних в нову систему координат, де більшість мінливості даних може бути описана з меншою кількістю змінних, ніж вихідні дані. Цей метод здійснюється проектуванням кожною крапки вихідних даних тільки на перші кілька головних компонентів, щоб отримати новий набір даних меншої розмірності за збереження максимально можливої корисної інформації (мінливості вихідних даних). Метод головних компонентів застосовується в цій дисертаційній роботі як засіб редукції даних для боротьби з мультиколінеарністю при багатofакторному регресійному аналізі.

Не дивлячись на математичні складності перетворення головних компонент з вихідних даних, сучасні комп'ютерні програми як «IBM SPSS» або

Statsoft STATISTICA дозволяють проводити розрахунки з виведенням різних параметрів, у тому числі власне число кожної  $i$ -ї головної компоненти ( $\lambda_i$ ). Це значення виходить в результаті послідовного рішення оптимізаційних

завдань. Критерій інформативності методу основних компонент може бути представлений у вигляді.

$$I_{p'}(Z(X)) = \frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_{p'}}{\lambda_1 + \dots + \lambda_p} = \frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_{p'}}{p}, \quad (2.8)$$

де  $p'$  - кількість розглянутих перших головних компонент;

$p$  - загальне кількість головних компонент, рівне спільному кількості вихідних факторів;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  - власні числа коварійної матриці вектора вихідних змінних  $X$ , розташовані у порядку спадання ( $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$ ).

Вибір кількості перших головних компонент ( $p'$ ) здійснюється по одному з наступних критеріїв [23]:

- критерій Кайзер;
- критерій, заснований на частці відтворюваної дисперсії;
- критерій відсіювання (Критерій кам'янистої осипу);
- критерій інтерпретованості і інваріантності.

### **Побудова і аналіз багатофакторних регресійних моделей витрати палива міських автобусів на маршруті**

Математична модель є математичне уявлення реальності, призначене для прогнозування поведінки реального об'єкта. При побудові математичних моделей витрати палива міських автобусів на маршруті необхідно вирішити такі завдання:

- вибір факторів, що впливають на витрата палива;
- збір, попередня обробка і аналіз вихідних даних;
- проведення кореляційного аналізу вихідних факторів для виявлення корелюваних факторів, при необхідності - освіта нових змінних з урахуванням методу основних компонент;

- проведення однофакторного аналізу впливу кожного досліджуваного фактора витрату палива, за необхідності – нелінійного перетворення чинників;
- у ході побудови багатофакторної регресійної моделі необхідно оцінити точність побудованих моделей шляхом оцінки значимості регресійних коефіцієнтів, за необхідності – відбирати змінні та наново проводити багатофакторний регресійний аналіз;
- в кінці процедури побудови регресійної моделі необхідно провести аналіз залишків, підвищити якість побудованої моделі рахунок виключення виявлених викидів;
- оцінка ступеня впливу і вкладу факторів в формування витрати палива міських автобусів

Далі розглянемо математичний апарат для побудови та аналізу багатофакторних регресійних моделей.

#### *Регресійний аналіз*

Розглянемо задачу визначення значення випадкової величини  $Y$  за відомими значенням  $m$  випадкових величин  $X_1, \dots, X_m$ . Припустимо, що між  $Y$  і  $X_1, \dots, X_m$  існує статистичний зв'язок, тобто розподіл випадкової величини  $Y$  залежить від значень випадкових величин  $X_1, \dots, X_m$ . Отже, поставлена завдання представляє собою завдання оцінювання випадковий величини  $Y$  за заданими значеннями випадкових величин  $X_1, \dots, X_m$ . При цьому помилка оцінювання є випадковою величиною [23]:

$$\varepsilon(X_1, \dots, X_m) = \hat{Y}(X_1, \dots, X_m) - Y. \quad (2.9)$$

Найкраща оцінка значення  $Y$  при заданих значеннях  $X_1, \dots, X_m$  буде оцінка, мінімізуюча математичне очікування квадрата помилки

$$M \left[ (\hat{Y}(X_1, \dots, X_m) - Y)^2 | X_i \right] \rightarrow \min. \quad (2.10)$$

## Оцінка точності та адекватності багатofакторних регресійних моделей

Точність регресійної моделі зазвичай оцінюють за рівнем значущості коефіцієнтів регресії з використанням  $t$ -критерію Стьюдента. В основі цього підходу лежить загальний принцип визначення довірчого інтервалу для статистичної оцінки середнього значення розподілу [23].

Зазначений принцип адаптований аналогічно до процедури перевірки суттєвості відмінностей між середніми значеннями двох вибірок і полягає у безпосередньому обчисленні відношення оціненого коефіцієнта регресії  $b^*$  до його стандартної помилки  $S_b$ :

$$t_{q,n-m} = \frac{b_K^*}{S_{b_K}}, \quad (2.11)$$

де  $q$  - рівень значущості;

$n$  - число спостережень;

$m$  - кількість коефіцієнтів регресійної моделі

Якщо рівень значимості ( $p$ -value) при оцінці  $t$ -критерія по виразу (2.12) буде досить вагомим, тобто не більше 5% (або 0,05), хоча для цілей технічної експлуатації слід рахувати прийнятним і до 20%, то коефіцієнт вважається значимим та його залишають у рівнянні регресії; в іншому випадку відповідний член рівняння виключається з розгляду [23]. У цієї дисертаційної роботи прийнято значення рівня значущості, що дорівнює 0,05.

Оцінка адекватності моделі здійснюється за критерієм Фішера ( $F$  - критерієм), який підраховується як відношення пояснюваної дисперсії  $Q_{\text{поясн}}$  цільової функції до її залишкової частини  $Q_{\text{зуп}}$ , а у разі лінійних залежностей через багатofакторний коефіцієнт детермінації  $R^2$  за формулою

$$F_{q,m-1,n-m} = \frac{\frac{Q_{\text{поясн}}}{m-1}}{\frac{Q_{\text{зал}}}{n-m}} = \frac{R_{yx}^2 \cdot (n-m)}{(m-1) \cdot (1-R_{yx}^2)} \quad (2.12)$$

де  $q$  - рівень значущості;

$n$  - число спостережень;

$m$  - кількість коефіцієнтів моделі

Рекомендується використовувати для прогнозних цілей рівняння регресії за значення  $R_{yx}^2 > 0,75$ , проте такі показники практично зустрічатимуться рідко і з інтуїції дослідника можна допускати нижчі величини, орієнтуючись переважно достатність оцінки адекватності моделі за критерієм Фішера і можливість отримання прийнятних прогнозних показників [23].

### **Аналіз залишків і підвищення якості побудованої моделі**

Після завершення регресійного аналізу необхідно провести аналіз залишків, який використовується для перевірки виконання основних припущень багатofакторної лінійної регресії [24].

Для кожного спостереження залишком називають різницю між фактичним значенням функції відгуку та відповідним прогнозованим значенням, обчисленим за рівнянням регресії при заданих значеннях вихідних факторів.

Одним із ключових припущень багатofакторної лінійної регресії є нормальність розподілу залишків [24]. Перевірку цього припущення здійснюють за допомогою діаграм розподілу залишків, нормальних ймовірнісних графіків, а також стандартних статистичних тестів, таких як критерій  $\chi^2$  (Хі-квадрат), тести Колмогорова–Смирнова та Шапіро–Вілка [26].

Крім того, аналіз залишків дає змогу перевірити припущення про гомоскедастичність, тобто сталість дисперсії залишків уздовж лінії регресії [26]. Згідно з теоремою Гауса–Маркова, залишки повинні мати нульове математичне сподівання та однакову дисперсію [26].

Порушення цього припущення, тобто наявність гетероскедастичності (рис. 2.6), призводить до неефективності оцінок, отриманих методом найменших квадратів, і, як наслідок, до неадекватної інтерпретації якості моделі.

Перевірку на гомо- або гетероскедастичність виконують за допомогою діаграм розсіювання стандартизованих залишків відносно прогнозованих значень або порядкового номера спостереження.

Для більш суворої статистичної перевірки застосовують тести Уайта, Голдфелда–Куандта, Бройша–Пагана, Парка, Глейзера та Спірмена [26].

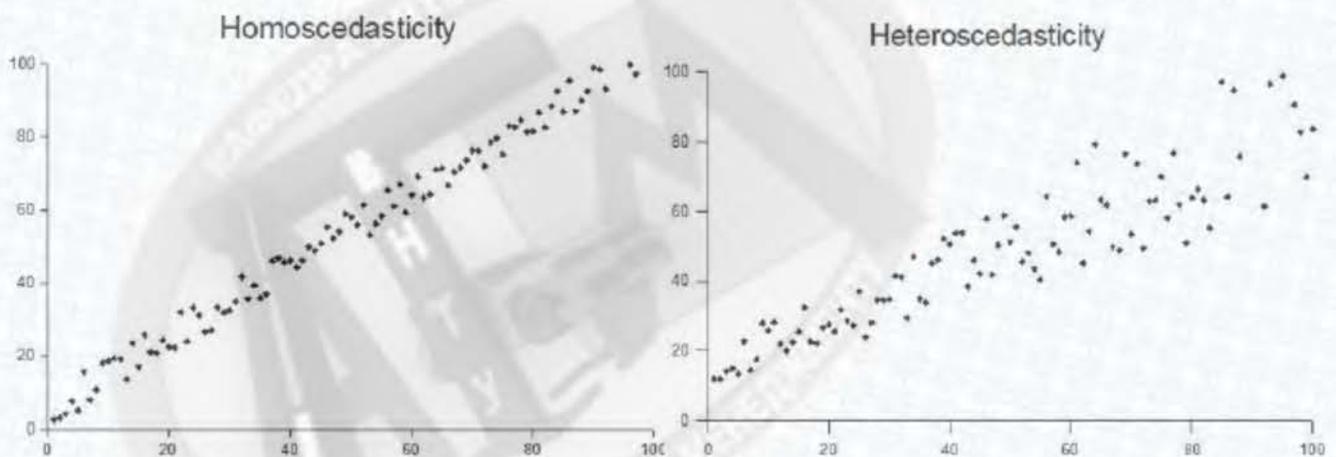


Рисунок 2.6 - Ілюстрація гомоскедастичності (*Homoscedasticity*) і гетероскедастичності (*Heteroscedasticity*)

При регресійному аналізі викидом (або шоком) називається залишок [18], величина якого виходить за межами нормального розподілу. Дані межі визначає сам дослідник у ході аналізу залишків, але, як правило, залишки не повинні знаходитися за межами діапазону  $\pm 2\sigma$ , що є 95% ймовірністю потрапляння для нормального розподілу.

Грубі помилки виявляються перед статистичним аналізом по відношенню з центром розподілу СВ, тобто розглядаються лише крайні значення вибірки та його відстань до центру розподілу. У той час точка спостереження, що знаходиться біля центру розподілу, може бути викидом, якщо вона сильно спотворюється від лінії регресії, або точніше передбачуваного значення.

Наявність викидів можуть сильно спотворити результати регресійного аналізу та привести до помилковим висновків, так як оптимізаційна функція є сумою квадратів відстань до передбаченого значення (залишків) [13]. Викиди також зменшує якість побудованих моделей (коефіцієнт детермінації), підвищуючи частку непоясненої дисперсії, яка пропорційна сумі квадратів залишків. Тому виняток великих викидів, тобто виняток відповідних спостережень під час проведення регресійного аналізу, дозволяє підвищити адекватність побудованих моделей. При цьому необхідно зберегти представництво зібраних даних до генеральної сукупності.

### **Оцінка ступеня впливу факторів при формуванні цільової функції**

Для оцінювання ступеня впливу незалежних змінних у регресійних моделях зазвичай використовують кілька показників:

- абсолютний показник (регресійний коефіцієнт);
- коефіцієнт еластичності;
- стандартизований коефіцієнт (бета-коефіцієнт).

Регресійний коефіцієнт є результатом регресійного аналізу, який характеризує величину впливу досліджуваного фактора на цільову функцію. Він показує, наскільки в середньому зміниться залежна змінна ( $Y$ ) при зміні незалежної змінної ( $X_i$ ) на одну одиницю, за умови фіксованих значень інших факторів багатofакторного рівняння [14].

Однак цей показник не можна безпосередньо використовувати для оцінювання внеску (важливості) окремих факторів, оскільки:

- значення регресійного коефіцієнта залежить від масштабу вимірювання змінної;
- коефіцієнти мають різні розмірності, що ускладнює їх порівняння;
- не враховується діапазон зміни значень факторів [13].

Коефіцієнт еластичності характеризує відносний вплив фактора на результуючу змінну та поділяється на середній і граничний (приватний).

Приватний коефіцієнт еластичності ( $E_{x_i}$ ) показує, на скільки відсотків зміниться значення результуючої функції ( $Y$ ) при зміні фактора ( $X_i$ ) на 1 %, за умови незмінності інших змінних регресійного рівняння [14]:

$$E_{X_i} = \frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot \frac{X_i}{Y} \quad (2.13)$$

Середній коефіцієнт еластичності характеризує вплив фактора на цільову функцію в середньому по всій вибірці [14]:

$$E_{X_i}^- = \frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot \frac{\bar{X}_i}{\bar{Y}} \quad (2.14)$$

Коефіцієнти еластичності виражаються у відсотках, що дозволяє порівнювати їх між собою. За їх допомогою можна здійснювати ранжування факторів, включених до моделі [14]. Проте коефіцієнт еластичності не враховує варіацію факторів, тому для більш точної оцінки внеску кожного чинника у формування результативної функції доцільно застосовувати бета-коефіцієнти.

Бета-коефіцієнт показує, на яку частину свого середньоквадратичного відхилення в середньому зміниться цільова функція при зміні відповідного фактора на одну величину його середньоквадратичного відхилення, за умови фіксованості інших факторів [14].

Цей коефіцієнт зазвичай визначається автоматично під час проведення регресійного аналізу за допомогою спеціалізованих статистичних програм [17].

Вибірковий бета-коефіцієнт фактора  $\beta_i$  обчислюється через регресійний коефіцієнт  $b_i$ , середньоквадратичне відхилення фактора  $S_i$  та середньоквадратичне відхилення результативної функції  $S_f$  за формулою:

$$\beta_i = b_i \cdot \frac{S_i}{S_f} \quad (2.15)$$

Виходячи з властивостей бета-коефіцієнтів, внесок  $i$ -го фактора у формування результативної функції відносно інших  $n - 1$  факторів можна визначити за співвідношенням бета-коефіцієнтів за формулою:

$$W_i = \frac{|\beta_i|}{\sum_{j=1}^n |\beta_j|} \quad (2.16)$$

## 2.4 Вибір факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів

Результати огляду літератури та аналізу факторів показали, що в сучасних умовах експлуатації міських автобусів у Вінниці при нормуванні витрат палива доцільно враховувати наступні фактори:

- середня швидкість руху на маршруті (км/год);
- питома кількість технологічних зупинок на маршруті (од./км);
- питома кількість крутих поворотів на маршруті (од./км);
- середня кількість пасажирів у салоні автобуса (пас./рейс);
- питома обсяг перевезень на маршруті (пас./км);
- загальний пробіг з початку експлуатації (тис. км);
- вік автобуса (роки);
- добовий пробіг (км);
- тип дня тижня;
- тип змінності;
- середня температура навколишнього повітря (°C);
- кількість дощових опадів на добу (мм);
- кількість снігових опадів на добу (мм).

Кожне спостереження є завершеним робочим днем конкретного автобуса, що включає його підготовку до роботи та повернення до автопарку. Отже, спостереження є незалежними і не впливають одне на одне.

Експлуатаційна витрата палива міських автобусів на 100 км пробігу ( $q_e$ , л/100 км) є функцією від 13 досліджуваних факторів ( $X_1, \dots, X_{13}$ ):  $q_e = q_e(X_1, \dots, X_{13})$ . Вона визначається розподілом загальної добової витрати палива ( $Q_e$ , л) досліджуваного автобуса на його добовий пробіг ( $L_c$ , км):

$$q_e = Q_e / L_c \quad (2.17)$$

Експлуатаційна витрата палива міських низькопідлогових автобусів на 100 км пробігу ( $q_e$ , л/100 км) є функцією від 13 досліджуваних факторів ( $X_1, \dots, X_{13}$ ):  $q_e = q_e(X_1, \dots, X_{13})$ . Вона визначається розподілом загальної добової витрати палива ( $Q_e$ , л) досліджуваного автобуса на його добовий пробіг ( $L_c$ , км):

Загальна витрата палива ( $Q_e$ ) включає витрати на транспортну роботу на маршруті, на нульовий рейс, на роботу систем кондиціонування та опалення, прогрів ДВС тощо. Первинним джерелом інформації про витрати палива та загальний пробіг є дорожній лист. Далі розглянемо докладно розрахунок кожного з досліджуваних факторів, що впливають на результатуєчу функцію  $q_e$ .

При роботі міських автобусів розрізняють кілька визначень швидкості:

- Технічна швидкість визначається як відношення сумарного пробігу до сумарного часу руху, включаючи затримки, що виникають через регулювання дорожнього руху (перехрестя, світлофори, залізничні переїзди тощо).
- Швидкість сполучення визначається так само, як технічна, але додатково враховуються витрати часу на посадку та висадку пасажирів.
- Експлуатаційна швидкість додатково враховує витрати часу на міжрейсові відстої на кінцевих пунктах маршруту (не враховуючи час обідньої перерви водія) [8].

Швидкість сполучення є найважливішою з погляду якості обслуговування пасажирів, оскільки визначає швидкість їх переміщення на маршруті. Вона враховується при плануванні розкладу роботи автобусів.

Враховуючи характеристики цільової функції (витрати палива на маршруті та на нульовому рейсі), фактори швидкісної групи визначаються з урахуванням пробігу на маршруті ( $L_M$ ) та нульового пробігу ( $L_0$ ).

Середньодобова швидкість сполучення на маршруті ( $v_c$ , км/год) визначається за формулою:

$$V_c = \frac{L_c}{t_c} = \frac{L_M + L_0}{t_M + t_0}, \quad (2.18)$$

де  $t_c$  - сумарне час на маршруті  $t_M$  і на нульовому пробігу  $t_0$ , год.

Питома кількість технологічних зупинок на маршруті ( $n_{зуп}$ , 1/км) визначається за такою формулою:

$$n_{зуп} = \frac{N_{зуп}}{L_c} = \frac{N_{зуп}}{L_M + L_0}, \quad (2.19)$$

де  $N_{зуп}$  – загальне кількість технологічних зупинок на маршрут.

Питома кількість крутих поворотів на маршруті ( $n_{по}$ , 1/км) визначається за формулі:

$$n_{по} = \frac{N_{по}}{L_c} = \frac{N_{по}}{L_M + L_0}, \quad (2.20)$$

де  $N_{по}$  – загальна кількість «крутих» поворотів на маршруті.

Середньодобова кількість пасажирів у салоні автобуса ( $N_{кас}$ , пас.) визначається як відношення добового пасажирообігу ( $\Pi_{кас}$ , пас.км) до добового лінійного пробігу ( $L_M$ , км)::

$$N_{пасс} = \frac{\Pi_{пасс}}{L_M} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m N_{ij} \cdot L_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m L_{ij}}, \quad (2.21)$$

де  $N_{ij}$  – кількість пасажирів, які перебувають у салоні автобуса на  $i$ -му перегоні  $j$ -го рейсу;

$L_{ij}$  – Довжина  $i$ -го перегону  $j$ -го рейсу маршруту;

$m$  – загальна кількість перегонів, що здійснюється автобусом за  $j$ -й рейс;

$n$  – загальна кількість рейсів, що здійснюються автобусом за добу.

Питомий обсяг перевезень на маршруті ( $p_{\text{кас}}$ , пас/км) визначається ставленням добового перевезено пасажирів ( $P_{\text{кас}}$ , пас.) до добового лінійного пробігу ( $L_{\text{л}}$ , км) за формулою:

$$p_{\text{пасс}} = \frac{P_{\text{пасс}}}{L_{\text{л}}} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m N_{ij}^{\text{вход}}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m L_{ij}}, \quad (2.22)$$

де  $N_{ij}$  – кількість пасажирів, що входять до салону автобуса на  $i$ -ій технологічній зупинці  $j$ -го рейсу;

$L_{ij}$  – довжина  $i$ -го перегону  $j$ -го рейсу маршруту;

$m$  – загальна кількість технологічних зупинок на  $j$ -му рейсі;

$n$  – загальна кількість рейсів, виконаних автобусом за добу.

## 2.5 Висновки до розділу 2

1. Проаналізовано фактори, що впливають на витрату палива міських низькопідлогових автобусів на маршруті з урахуванням особливостей сучасних умов експлуатації.

2. На основі результатів аналізу нормативного визначення витрати палива міських низькопідлогових автобусів запропоновано вдосконалений методичний підхід до нормування витрати палива. Він спрямований на усунення виявлених недоліків чинної методики, підвищення рівня автоматизації процесів упровадження результатів наукових досліджень у виробничу діяльність.

3. Удосконалено методичний підхід до побудови математичних моделей, що визначають нормативне значення експлуатаційної витрати палива міських

низькопідлогових автобусів. Для підвищення якості моделей застосовано різні математичні методи, нелінійне перетворення вихідних параметрів, а також метод головних компонент як стратегію боротьби з мультиколінеарністю. Проаналізовано та обрано показник для кількісної оцінки ступеня впливу і внеску вихідних факторів у формування значення витрати палива міських низькопідлогових автобусів на маршруті.

4. За результатами огляду літератури сформовано перелік і розрахункові формули факторів, що впливають на витрату палива міських низькопідлогових автобусів на маршруті. До них віднесено: середню швидкість сполучення, питому кількість технологічних зупинок, питому кількість крутих поворотів, середню кількість пасажирів у салоні, питомий обсяг перевезень, загальний пробіг з початку експлуатації, вік автобуса, добовий пробіг, тип дня тижня, середню температуру навколишнього повітря, кількість опадів та кількість снігових опадів.



## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Дослідження факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів

Загальні характеристики досліджуваних факторів

Експлуатаційні витрати палива автобусами без врахування обігріву салону автобуса наведені в табл. 3.1. На рис. 3.1 представлені діаграми розмаху експлуатаційної витрати палива різних модифікацій автобусів на маршрутах.

Таблиця 3.1 – Експлуатаційні витрати палива автобусами

Держ. номер.	Модель	Витрата палива, л/100км
01-95	Богдан А70130	50,10
01-96	Богдан А70130	50,90
<i>Середнє</i>		<b>50,57</b>
06-76	Богдан А70110	44,09
06-65	Богдан А70110	45,58
01-97	Богдан А70110	51,99
<i>Середнє</i>		<b>48,06</b>
05-47	Богдан А70132	40,10
05-46	Богдан А70132	40,64
05-43	Богдан А70132	41,72
05-49	Богдан А70132	41,82
05-01	Богдан А70132	42,01
05-39	Богдан А70132	42,08
05-03	Богдан А70132	42,38
05-17	Богдан А70132	42,67
05-42	Богдан А70132	43,45
05-21	Богдан А70132	43,52
05-35	Богдан А70132	44,02
05-27	Богдан А70132	44,27
05-48	Богдан А70132	45,29
05-04	Богдан А70132	45,83
05-36	Богдан А70132	46,12
<i>Середнє</i>		<b>44,34</b>
01-02	VDL CITEA LLE 120.225	37,54
01-03	VDL CITEA LLE 120.225	40,47
02-98	VDL CITEA LLE 120.225	35,73
<i>Середнє</i>		<b>38,04</b>

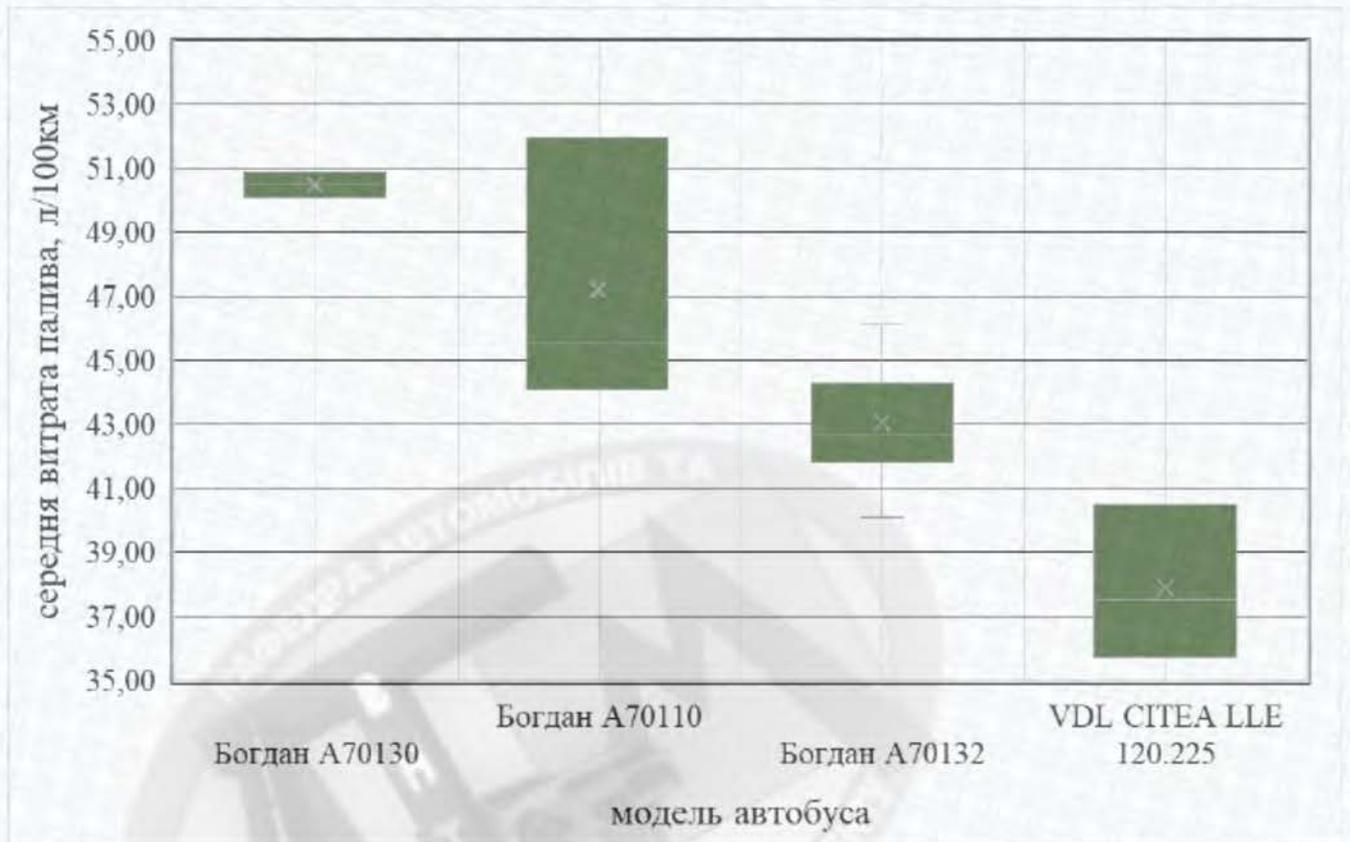


Рисунок 3.1 - Діаграма розмаху витрати палива міських автобусів на маршруті

У таблиці 3.1 наведено результати аналізу статистичних характеристик вихідних змінних міських низькопідлогових автобусів КП «ВТК».

Аналіз даних показує, що найменші значення витрат палива автобусів Богдан А70132 (40-42 л/100 км) були досягнуто при комбінації «сприятливих» умов експлуатації, таких як середня температура навколишнього повітря (10-15 °С) і низька частота технологічних зупинок (близько 0,5 од./км) та ін. Найбільші значення витрати палива (більше 44 л/100 км) були на маршрутах руху з найменшою швидкістю сполучення (10-15 км/год) та з частою технологічною зупинкою (близько 2 од./км). Незважаючи на великий розмах даних, величини витрати палива міських автобусів розподіляються з низьким коефіцієнтом варіації. Аналіз діаграми розподілу (Рисунок 3.2) підтверджує нормальний розподіл досліджуваної вибірки.

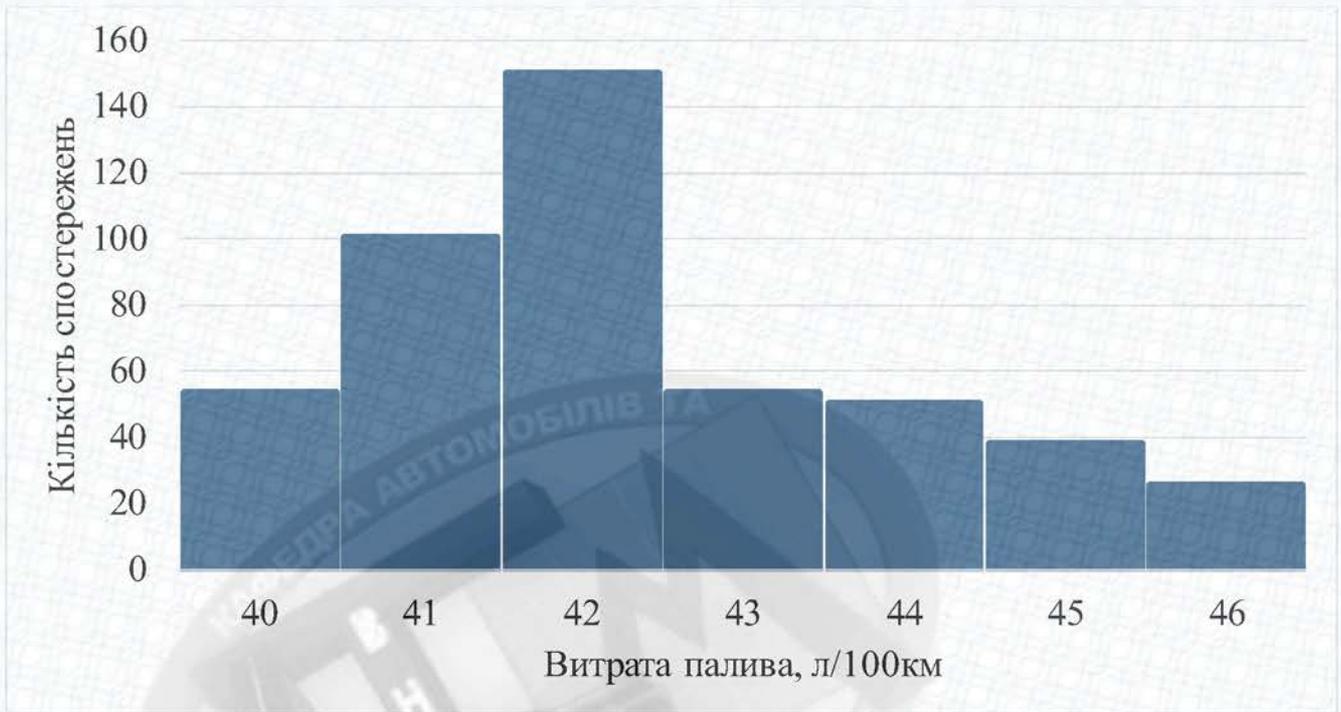


Рисунок 3.2 - Гістограма розподілу витрати палива міських автобусів Богдан А70132

Чисельні значення параметра «Середньодобова швидкість сполучення на маршруті» знаходиться в діапазоні від 12,86 км/год до 34,52 км/год. Значний розмах швидкості сполучення пояснюється особливостями кожного маршруту, зокрема питомою кількістю зупинок, пасажиропотоком тощо. Вибіркове середнє значення цього фактора становить 20,21 км/год для автобусів Богдан А70132 і незначно відрізняється у модифікацій, що досліджуються.

Чисельні значення параметра «питома кількість технологічних зупинок» варіюються від 0,39/км до 3,04/км. Середнє значення цього чинника становить 1,83/км, відповідно середня довжина технологічного перегону становить 546 м.

Середньодобова кількість пасажирів у салоні автобуса варіюється до 10 – 40 пасажирів. У середньому кількість пасажирів у салоні автобуса знаходиться в діапазоні від 11 до 15 осіб, що відповідає ступеню заповнення салону автобуса на 10 – 15 %.

Середньозмінна температура навколишнього повітря змінюється в діапазоні від  $-17^{\circ}\text{C}$  до  $+38^{\circ}\text{C}$ . Мінімальні значення температури навколишнього повітря спостерігається у січні та лютому, а максимальні - в липні і серпні [22]. на рисунку 3.3 представлений графік зміни середньодобової температури навколишнього повітря протягом 2024 року.

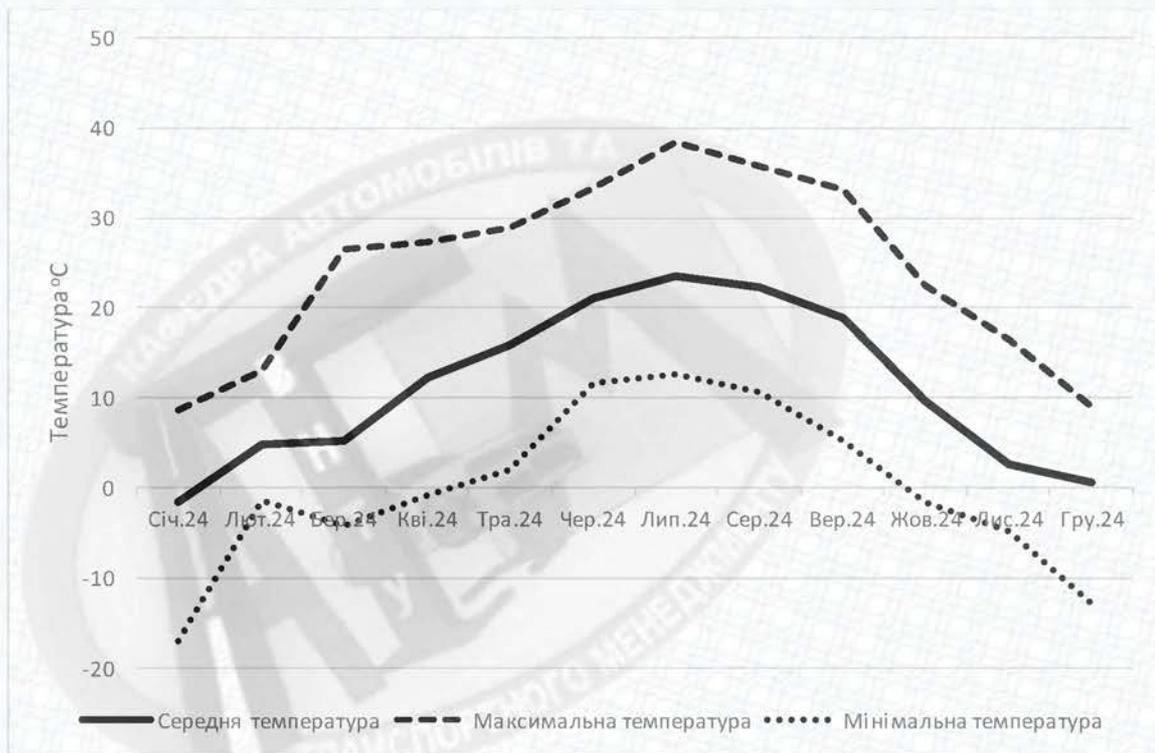


Рисунок 3.3 - Графік зміни середньодобової температури навколишнього повітря протягом 2024 року

Середньорічна кількість опадів в місті Вінниця складає близько 49 мм, на рисунку 3.4 представлений графік кількості опадів по місяцях протягом року.

Вікова структура парку autobusів залежить від різних факторів: плану закупівель нових ТЗ, плану їх списання, інтенсивності експлуатації та ін. цього вікові показники (загальний пробіг з початку експлуатації, «вік» autobusав роках) відрізняються між розглянутими модифікації міських autobusів.

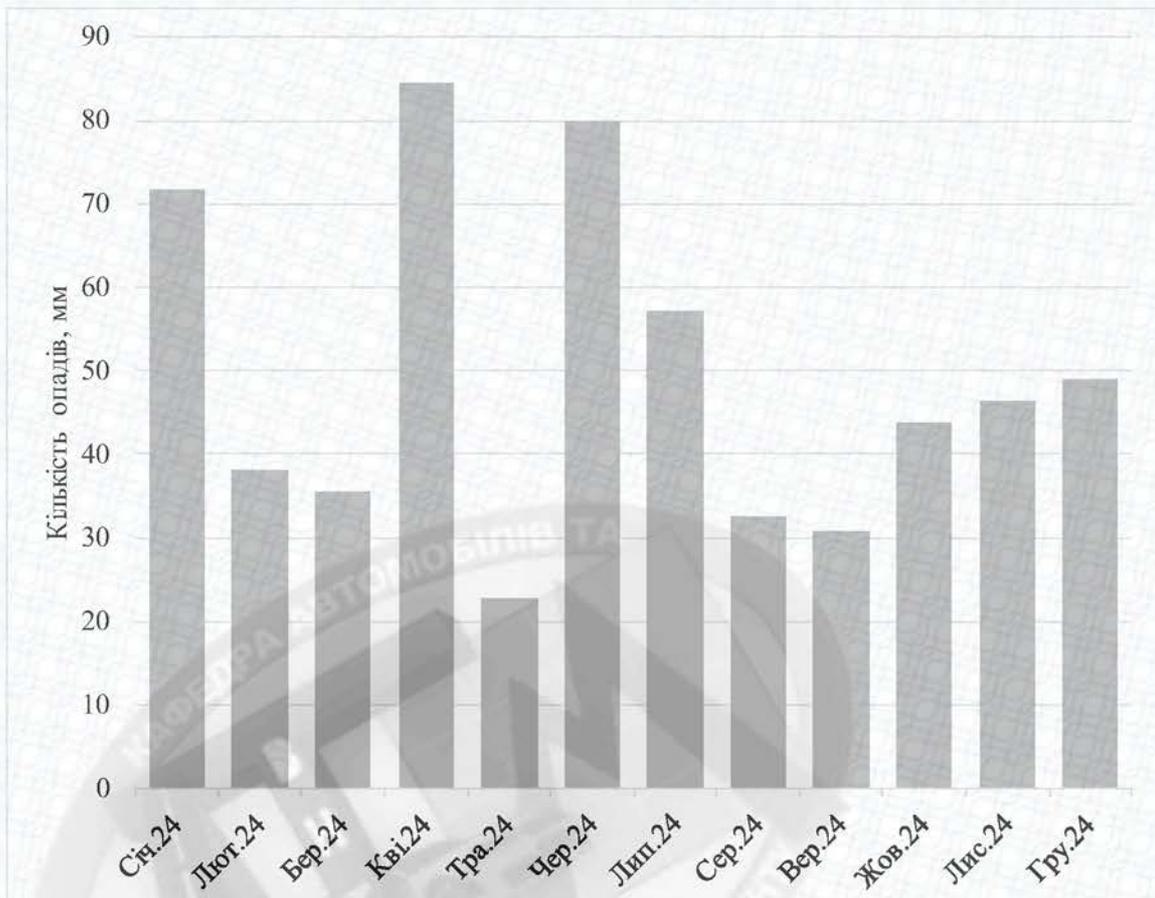


Рисунок 3.4 - Графік кількості опадів по місяцям протягом 2024 року

Добовий пробіг автобуса змінюється в залежності від змінності роботи, графіка виходів, складності маршруту і ін. У середньому добовий пробіг автобуса, становить близько 190 км. Далі розглянемо вплив кожного досліджуваного чинника витрати палива на маршрут і шляхом проведення однофакторного регресійного аналізу.

### **3.2 Однофакторний регресійний аналіз впливу досліджуваних факторів на маршрутну витрату палива міських автобусів**

#### *Середньодобова швидкість сполучення*

Огляд стану питання показав, що залежність витрати палива ТЗ (л/100 км) від його швидкості руху виражається нелінійним рівнянням, найчастіше в вигляді полінома другий ступеня. Це значить, що існує якесь оптимальне значення швидкості руху, при якому витрата палива буде мінімальною [17]. Однак для

міських автобусів дана залежність часто описувалася лінійним рівнянням [9]. Це з тим, що математичні моделі були побудовані діапазоні середньої швидкості повідомлення від 10 до 30 км/год, де вдалося отримати значну нелінійну залежність. Під час проведення досліджень спостерігалася істотна варіація значень середньої швидкості повідомлення. Внаслідок однофакторного регресійного аналізу було встановлено, що залежність витрати палива досліджуваних модифікацій міських автобусів від середньодобової швидкості повідомлення описується полінома другого ступеня, що відповідає отриманим раніше результатам досліджень [20]. На рисунку 3.5 представлені діаграма розсіювання і вигляд залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від середньої швидкості сполучення. Подібні результати також були отримані під час аналізу інших модифікацій автобусів.



Рисунок 3.5 - Діаграма розсіювання і вигляд залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від середньої швидкості сполучення на маршруті

При аналізі однофакторної регресійної моделі було встановлено, що:

- середня швидкість сполучення на маршруті дуже впливає на витрату палива. За значної кількості спостережень та значної варіації значень інших факторів сила зв'язку залишається значною;
- витрата палива на 100 км пробігу знижується з збільшенням

середньодобової швидкості повідомлення;

- міські автобуси в більшості випадків працюють зі середньою швидкістю сполучення нижче, ніж оптимальне значення.

У зв'язку з нелінійним видом залежності результуючої функції від середньої швидкості сполучення на маршруті необхідно провести нелінійне перетворення даного фактора перед проведенням кореляційного аналізу та побудови багатофакторних моделей.

### *Питома число технологічних зупинок*

Питома кількість технологічних зупинок на маршруті є складовим параметром показника складності маршруту, причому чим більше питома кількість технологічних зупинок, тим складніше автобусний маршрут. Отже, що більше значення питомої кількості технологічних зупинок, то більше значення витрати палива на 100 км пробігу.

При аналізі впливу питомої кількості технологічних зупинок на маршруті на витрату палива було виявлено, що:

- питома кількість технологічних зупинок сильно впливає на витрату палива міських автобусів, незважаючи на велику кількість спостережень та значну варіацію значень інших факторів;

- питома кількість технологічних зупинок лінійним чином впливає витрата палива на 100 км пробігу. У цьому, що більше його значення (що частіше автобус повинен зупинятися), то більше значення витрати палива посідає 100 км пробігу.

Діаграма розсіювання та вид залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від питомої числа технологічних зупинок на маршруті представлені рисунку 3.6. Подібні результати також були отримані при проведенні однофакторного регресійного аналізу для інших досліджуваних модифікацій автобусів.

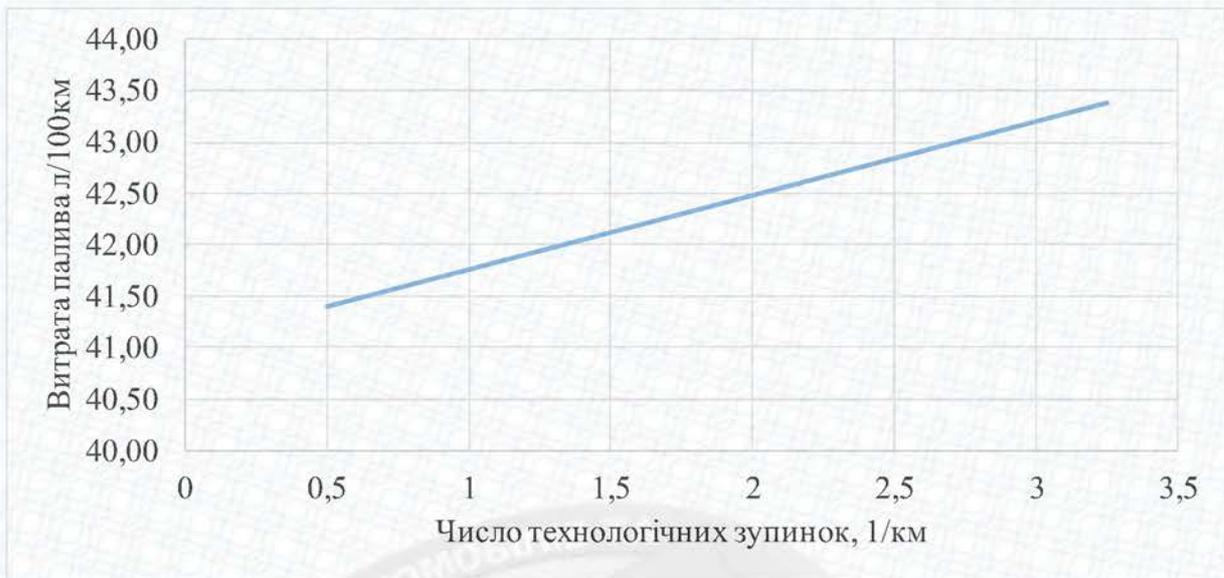


Рисунок 3.6 - Діаграма розсіювання і вигляд залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від питомої кількості технологічних зупинок на маршруті

Лінійна залежність між питомим числом технологічних зупинок і витратою палива на 100 км пробігу дозволяє використовувати даний фактор безпосередньо як змінну-предиктор при проведенні багатofакторного регресійного аналізу.

#### *Середнє число пасажирів в салоні автобуса*

Середня кількість пасажирів у салоні автобуса відображає, скільки осіб у середньому перебуває в автобусі протягом його роботи на лінії. Цей показник характеризує фактичне «навантаження» під час виконання транспортної роботи міськими автобусами. Він прямо пропорційно пов'язаний із коефіцієнтом використання пасажиромісткості (ступенем заповнення салону): що більше пасажирів перевозить автобус, то більшою стає витрата палива на 100 км пробігу.

Результати однофакторного регресійного аналізу показали, що за великої кількості спостережень статистично значущого зв'язку між середньою кількістю пасажирів та витратою палива не спостерігається. Це пояснюється впливом інших, більш важливих факторів, зокрема середньої швидкості сполучення, температури навколишнього повітря та ін. (див. розділ 2.3.2) [23]. Такий зв'язок стає

статистично значущим лише за обмежених та контрольованих умов [16], коли варіація інших впливових чинників мінімальна — наприклад, на одному маршруті з близькими значеннями середньої швидкості та помірними температурними умовами.

На рисунку 3.7 наведено діаграму розсіювання та лінійну регресійну залежність витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від середньої кількості пасажирів у салоні.

Враховуючи, що номінальна пасажиромісткість автобуса Богдан А70132 становить 105 осіб, коефіцієнт використання пасажиромісткості на цих маршрутах не перевищує 20 %.



Рисунок 3.7 - Графік залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від середньої кількості пасажирів

Лінійна залежність між середнім числом пасажирів і витратою палива на 100 км пробігу дозволяє використовувати даний фактор безпосередньо як змінну-предиктор при проведенні багатофакторного регресійного аналізу.

*Питомий обсяг перевезень*

Питомий обсяг перевезень на маршруті визначає, скільки пасажирів у середньому заходить до салону автобуса (або виходить із нього) на 1 км пробігу. Цей показник характеризує інтенсивність пасажиропотоку під час посадки та висадки. Аналіз досліджень з цієї тематики показав, що зі збільшенням кількості пасажирів, які здійснюють посадку та висадку, зростає і тривалість технологічних зупинок [12]. Оскільки під час таких зупинок працюють двигун внутрішнього згоряння та системи клімат-контролю, а двері залишаються відкритими, це може спричинити додаткові витрати палива.

Результати однофакторного регресійного аналізу засвідчили, що:

- питомий обсяг перевезень на маршруті має істотний вплив на експлуатаційну витрату палива;
- зі збільшенням питомого обсягу перевезень спостерігається зростання витрати палива.

На рисунку 3.8 наведено діаграму залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від питомого обсягу перевезень. Аналогічні закономірності були отримані й під час дослідження інших модифікацій автобусів.

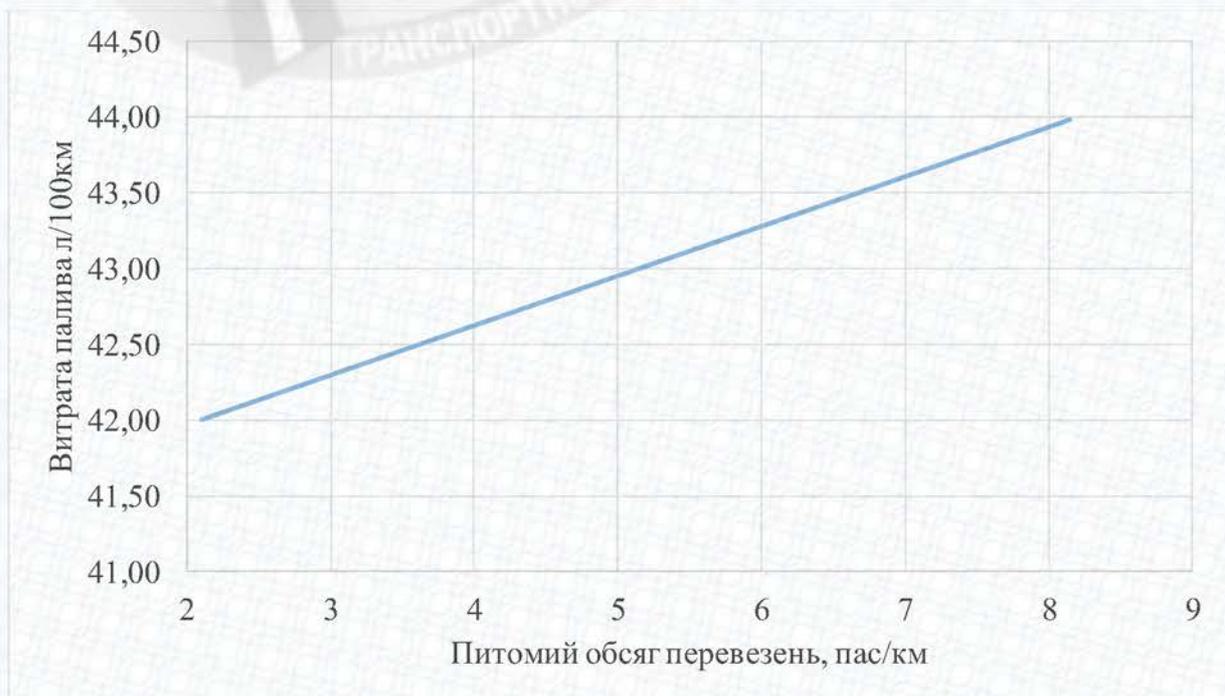


Рисунок 3.8 - Графік залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від питомого обсягу перевезень на маршрутах

Виявлений лінійний зв'язок між питомим обсягом перевезень і витратою палива на 100 км пробігу дозволяє використовувати цей показник як інформативну предикторну змінну під час проведення багатофакторного регресійного аналізу.

### *Середня температура навколишнього повітря*

Температура навколишнього повітря впливає на роботу багатьох агрегатів та вузлів автобуса, на процес прогріву двигуна, на роботу системи кондиціонування в літній період часу на роботу системи опалення салону автобуса в зимовий період часу [12]. Тому очікується, що витрата палива міських автобусів збільшуватиметься як у літній період, так і в зимовий період експлуатації. В міського автобуса Богдан А70132 кондиціонер відсутній, тому літнього збільшення витрати палива немає.

Результати однофакторного регресійного аналізу показали, що:

- середня температура навколишнього повітря сильно впливає експлуатаційний витрата палива на 100 км пробігу. Навіть при суттєво великій кількості спостережень та значній варіації значень інших факторів сила зв'язку між ними є дуже значною, судячи з значення коефіцієнта детермінації;

- зв'язок між середньою температурою навколишнього повітря та витратою палива на 100 км пробігу краще описується поліноміальною моделлю 2-го ступеня.

Діаграма розсіювання та вид залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від середньої температури навколишнього повітря представлені на рисунку 3.9. Такі результати також були отримані під час проведення однофакторного регресійного аналізу інших модифікацій автобусів.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що дощ впливає на витрату палива автобуса:

- при сильному дощі водії змушені уповільнювати автомобілі для безпечного руху, що призводить до зниження швидкості руху, збільшення кількості заторів та підвищення витрати палива;

- товстий шар води, що утворюється на поверхні доріг при дощі, викликає

опір руху автомобілів, що наводить до додаткової витрати енергії на подолання даного шару і, отже, підвищення витрати палива.

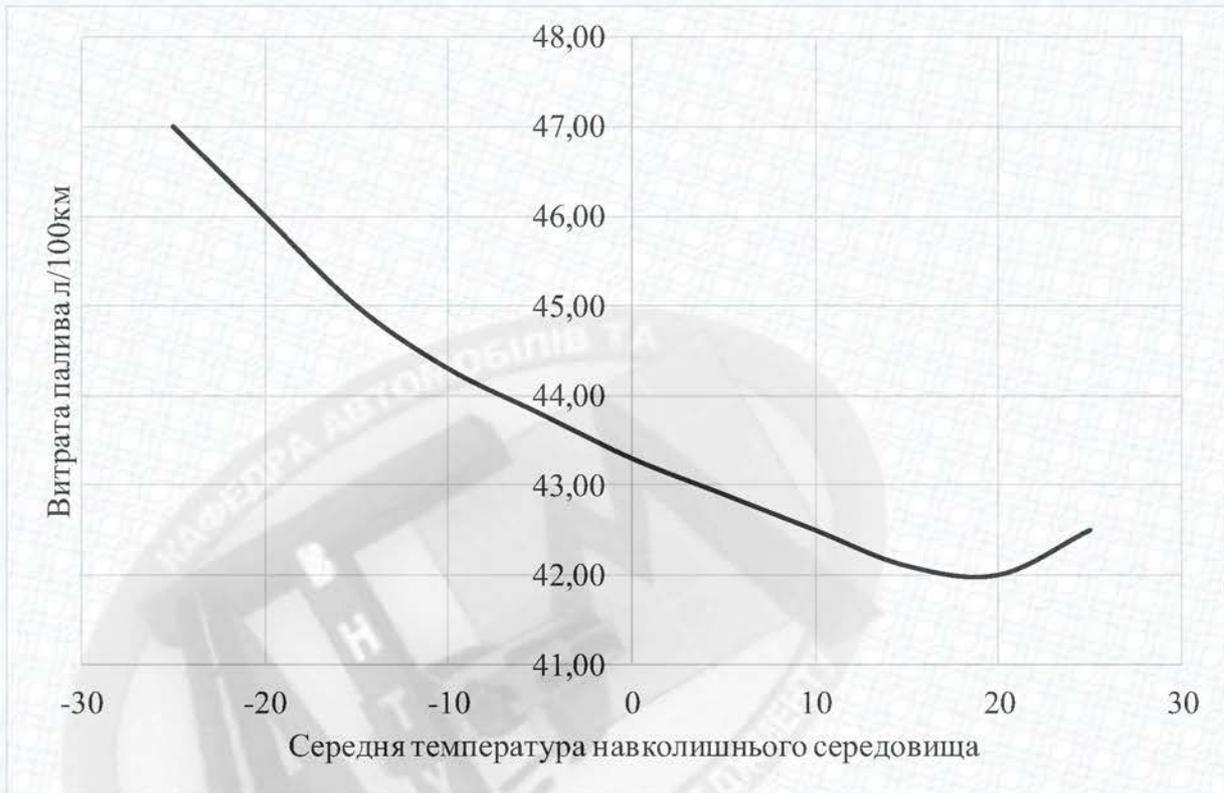


Рисунок 3.9 – Графік залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від середньої температури навколишнього повітря

#### *Добова кількість дощових опадів*

Значний вплив інтенсивності дощу на витрату палива автомобілів досліджувався у роботі [9], проведеної для таксі та моторикші в умовах міста Мумбаї, де значення добових опадів може досягти 250 мм і більше. Однак при дослідженні впливу дощових опадів на витрату палива міських автобусів на маршруті в умовах міста Вінниця отримали дані, відмінні від раніше отриманих результатів автомобілів в умовах тропіках.

Результат однофакторного регресійного аналізу показав, що з великої кількості спостережень і значної варіації значень інших чинників статистичний зв'язок між кількістю дощових опадів і витратою палива на 100 км пробігу не

виявляється внаслідок впливу інших значимих чинників. Спостерігається нечітка тенденція зниження витрати палива зі збільшенням кількості дощових опадів. Подібні результати також були отримані під час аналізу інших модифікацій автобусів.

Слід зазначити також, що за наявності дощу спостерігається зниження кількості пасажирів, що перевозяться, і питомого обсягу перевезень, тому витрата палива на 100 км пробігу знижується.

У подібних випадках пасажирів вибирають альтернативний варіант пересування, в том числі автомобілі-таксі. Тому зниження витрати палива міських автобусів при наявності дощових опадів можна пояснити зниженням потенційного пасажиропотоку.

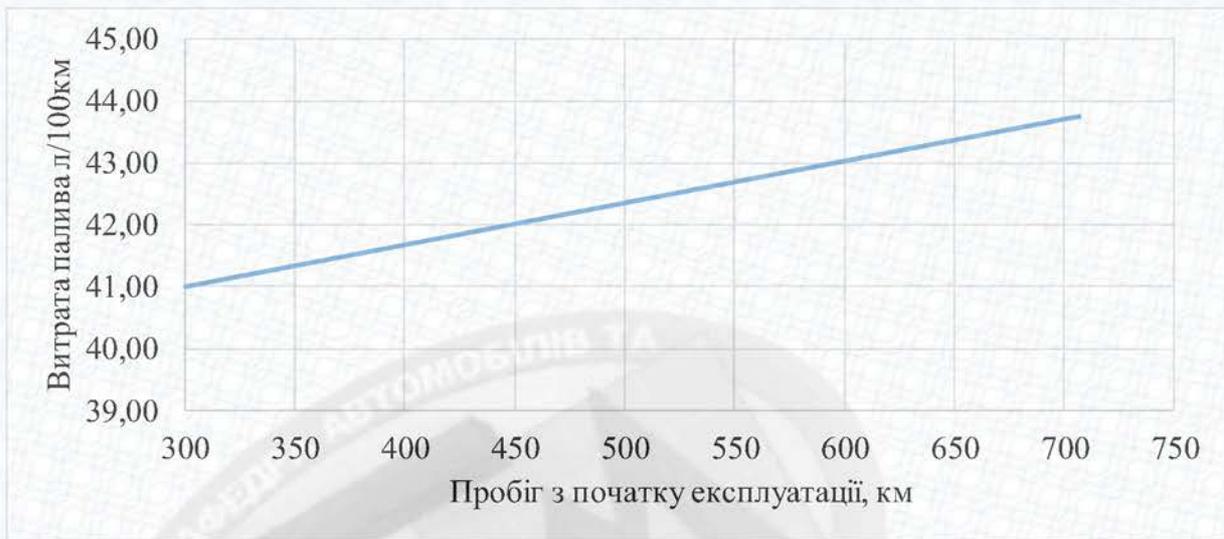
*Вікові параметри автобусів (загальний пробіг з початку експлуатації та «вік» автобуса в роках)*

У процесі експлуатації поступово погіршуються практично всі техніко-експлуатаційні властивості автомобілів та автобусів [13]. Відтак можна зробити висновок, що паливна економічність транспортних засобів знижується зі зростанням їхнього напрацювання. Це погіршення зазвичай описують через такі параметри, як «загальний пробіг від початку експлуатації» та «вік у роках» [12].

Однак на темпи деградації технічного стану автобусів і, відповідно, на їхню витрату палива суттєво впливають не тільки вікові чинники. Значну роль відіграють також особливості організації технічного обслуговування та ремонту, стан виробничо-технічної бази, ефективність системи постачання та резервування, а також інші підсистеми технічної експлуатації [9], які в сучасних умовах постійно вдосконалюються.

Дослідження свідчать, що вікові параметри самі по собі не належать до ключових факторів, які визначають рівень витрати палива. Статистичний зв'язок між віком або пробігом і паливною економічністю проявляється лише за умов малої варіації інших, більш значущих чинників (Рис. 3.10). Адекватні однофакторні

моделі на основі цих показників вдалося побудувати тільки за умов обмеженого та контрольованого збору статистичних даних [17].



а



б

Рисунок 3.10 – Графік залежності витрат палива міських автобусів Богдан А70132 від пробігу з початку експлуатації (а) і «віку» автобусів (б)

Результат аналізу показав, що вікові фактори впливають на витрату палива міських автобусів на маршруті, проте отриманий статистичний зв'язок несуттєвий порівняно з іншими значущими факторами. Рішення про виключення або прийняття цих факторів у кінцеві математичні моделі витрати палива міських

автобусів на маршруті здійснюватиметься на основі аналізу значущості їх коефіцієнтів регресії.

### *Добовий пробіг автобуса*

Результати однофакторного регресійного аналізу впливу добового пробігу на норму витрати палива міських автобусів показали таке:

- фактор «добовий пробіг» має істотний вплив на експлуатаційну витрату палива на 100 км пробігу, а отже — і на маршрутну норму витрати палива;
- залежність між добовим пробігом та витратою палива міських автобусів на 100 км пробігу описується лінійною моделлю;
- зі зменшенням добового пробігу відповідної модифікації автобуса зростає маршрутна норма витрати палива на 100 км пробігу.

Діаграма розсіювання та лінійна залежність маршрутної норми витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від добового пробігу наведені на рисунку 3.11. Подібні результати були отримані й під час аналізу інших модифікацій автобусів, а також у раніше проведеному дослідженні [22].

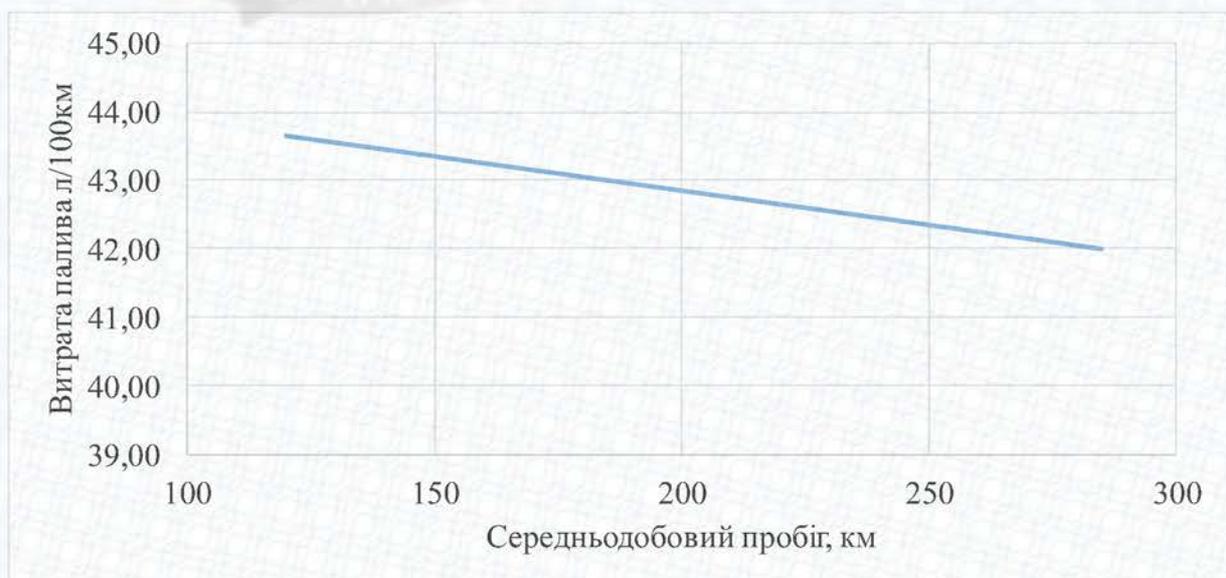


Рисунок 3.11 - Графік залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від середньодобового пробігу

Виявлену статистичну залежність можна пояснювати тим, що добовий пробіг залежить від змінності роботи автобусів на маршруті і від середньої швидкості сполучення автобуса, які у свою чергу впливають на норму витрати палива.

### 3.3 Нелінійне перетворення факторів

Нелінійне перетворення здійснюється для факторів, що мають нелінійне відношення до витрат палива міських автобусів на 100 км пробігу. За результатами однофакторного регресійного аналізу було виявлено, що необхідно перетворити нелінійні вирази для факторів «середня швидкість сполучення на маршруті» і «середня температура навколишнього повітря» для отримання більш адекватних математичних моделей. В результаті нелінійного перетворення будуть отримані нові змінні-предиктори у вигляді нелінійного виразу, який має більш лінійний зв'язок зі змінною-відгуком.

#### *Перший етап нелінійного перетворення факторів*

Нелінійний вираз можна отримати безпосередньо від однофакторного регресійного рівняння. Наприклад, за результатами однофакторного регресійного аналізу впливу середньої швидкості сполучення на маршруті ( $V_c$ , км/год ) на витрату палива автобусів Богдан А70132 ( $q_e$ , л/100 км) було встановлено, що статистичний зв'язок описується за допомогою формули:

$$q_e = 0,0186 \cdot V_c^2 - 1,571 \cdot V_c + 71,829. \quad (3.1)$$

При нелінійному перетворенні будемо перетворити вираз з урахуванням середньої швидкості сполучення на маршруті, що лінійно впливає на величину витрати палива міських автобусів з низькою підлогою Богдан А70132:

$$q_e = 0,0186 \cdot (V_c - 42,23)^2 + 38,658. \quad (3.2)$$

Як нова змінна для багатofакторного регресійного аналізу можна використовувати нелінійний вираз  $(V_c - 21,32)^2$ . У новому вигляді отриманий вираз визначає квадрат відстані середньої швидкості сполучення на маршруті до оптимальної точки (21,32 км/год), при якій витрата палива міських автобусів Богдан А70132 на 100 км пробігу буде мінімальною.

На другому етапі здійснюється уточнення отриманих нелінійних виразів, зокрема оптимальних значень факторів, шляхом побудови моделей, що враховують інші істотні та незалежні чинники. Попередній аналіз показав, що нелінійні залежності середньої швидкості сполучення та середньої температури повітря мають значний вплив на витрату палива міських автобусів ( $q_e$ ), яка вимірюється у л/100 км, і між цими факторами не існує статистично значущої кореляції. Тому для їх уточнення можливо побудувати двофакторні нелінійні регресійні моделі такого типу:

$$q_e = b_0 + b_1(V_c - a_1)^2 + b_2(T - a_2)^2, \quad (3.3)$$

де  $a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$  – регресійні коефіцієнти.

Початкові значення коефіцієнтів  $a_1$  та  $a_2$  доцільно задавати на основі даних однофакторного аналізу, що дозволяє прискорити процес оптимізації параметрів моделі.

У результаті було отримано таку нелінійну багатofакторну модель:

$$q_e = 35,07 + 0,0167(V_c - 22,83)^2 + 0,0159(T - 13,33)^2. \quad (3.4)$$

На основі рівнянь (3.3) та (3.4) встановлено уточнені оптимальні значення для нелінійного перетворення факторів:

$$V_{\text{опт}} = a_1 = 22,83 \text{ км/год}, \quad (3.5)$$

$$T_{\text{опт}} = a_2 = 13,33^{\circ}\text{C}. \quad (3.6)$$

Таким чином, було скориговано первинні оцінки оптимальної середньої швидкості сполучення (було 21,32 км/год) та оптимальної середньої температури повітря (було 11,54 °С) для автобусів Богдан А70132. Аналогічні процедури виконано й для інших модифікацій міських автобусів. Виявлені відмінності оптимальних значень між моделями автобусів пояснюються різницею в їх конструктивних особливостях та технічному стані (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Оптимальні значення факторів в нелінійному перетворенні для досліджуваних модифікацій автобусів

Модифікація автобуса	Оптимальна швидкість сполучення $V_c^{\text{опт}}$ , км/год	Оптимальна температура навколишнього повітря $T^{\text{опт}}$ , °С
Богдан А70132	22,83	13,33
Богдан А70130	18,37	11,93
VDL CITEA LLE 120.225	17,92	11,75

Далі були позначені отримані вирази, які використовуються як змінні-предиктори у подальшому аналізі:

$$P_{Vz} = (V_c - V_{\text{опт}})^2, \quad (3.7)$$

$$P_T = (T - T_{\text{опт}})^2. \quad (3.8)$$

Таким чином, у подальшому аналізі як змінні-предиктори використовуються такі фактори:

- $P_{Vz}$  - нелінійне вираз від середньої швидкості сполучення на маршруті, що визначає квадрат відстані до оптимальної швидкості сполучення, км<sup>2</sup>/год<sup>2</sup>;
- $n_{\text{зуп}}$  - питома число технологічних зупинок на маршруті, од./км;

- $N_{\text{пас}}$  - середньодобове число пасажирів в салоні автобуса, пас.;
- $p_{\text{пас}}$  - питомий обсяг перевезень на маршруті, пас/км;
- $\Pi_T$  – нелінійний вираз від середньозмінної температури навколишнього повітря, що визначає квадрат відстані до оптимальної температури навколишнього повітря, км<sup>2</sup>/год<sup>2</sup>;
- $h_c$  - добове кількість снігових опадів, мм;
- $h_d$  - добове кількість дощових опадів, мм. Очікується негативний коефіцієнт регресії;
- $L_{\text{об}}$  - пробігу автобуса з початку експлуатації, тис. км;
- $B$  - вік автобуса, років;
- $L_c$  - добовий пробіг автобуса, км. Очікується негативний коефіцієнт регресії.

### **3.4 Побудова і аналіз багатofакторних математичних моделей витрати палива міськими автобусами**

#### **Аналіз і відбір вихідних змінних**

У ході проведення багатofакторного регресійного аналізу за наявності сильно корельованих факторів використання їх перших головних компонент як змінних-предикторів, відповідно до другої стратегії боротьби з мультиколінеарністю, дозволяє зберегти початкову кількість досліджуваних факторів у математичних моделях. Однак, як показали результати компонентного аналізу, перша головна компонента, що є лінійною комбінацією вихідних факторів, не зберігає повної «корисної» інформації, яку могли б забезпечити ці фактори у багатofакторній регресійній моделі. Втрата частини інформації може суттєво вплинути на точність визначення результуючої функції. Тому це може призвести до зниження якості (адекватності вихідним даним) регресійних моделей, побудованих із використанням перших головних компонент.

У такому випадку для вирішення проблеми мультиколінеарності не використовують головні компоненти. Натомість необхідно вилучити один із

взаємокорельованих факторів відповідно до першої стратегії боротьби з мультиколінеарністю, якщо це дозволяє отримати більш адекватну регресійну модель. При цьому загальна кількість початкових факторів зменшується.

Вибір стратегії залежить від конкретної задачі дослідження. У цій дисертаційній роботі пріоритетним є врахування максимальної кількості вихідних факторів під час багатфакторного регресійного аналізу (за другою стратегією) з метою отримання стабільних математичних моделей витрати палива на маршруті руху, придатних до умов експлуатації міських автобусів, що постійно змінюються.

Для обґрунтування вибору стратегії був розроблений критерій на основі коефіцієнта детермінації ( $R^2$ ), який визначає частку поясненої моделлю дисперсії відносно загальної [13]. Для цього необхідно порівняти значення  $R^2$  аналізованої моделі (за першою або другою стратегією) зі значенням  $R^2$  первісної моделі, у якій присутні всі фактори у вихідному вигляді.

Для визначення первісного значення коефіцієнта детермінації  $R^2$  як змінні-предиктори були використані всі 13 початкових змінних без застосування головних компонент. У такій моделі очікується наявність певних неадекватних коефіцієнтів регресії через мультиколінеарність, проте початкове значення  $R^2$  буде максимальним, оскільки модель враховує весь доступний обсяг вихідної інформації.

У роботі був запропонований критерій інформативності ( $I$ , %), який використовується для вибору стратегії під час дисертаційного дослідження. Критерій  $I$  для кожної математичної моделі, побудованої за першою або другою стратегією, визначається як відношення її коефіцієнта детермінації  $R^2$  до початкового значення  $R^2$ , виражене у відсотках. Він показує частку корисної інформації, збережену при застосуванні відповідної стратегії боротьби з мультиколінеарністю.

Аналіз моделей, з використанням фактора  $L$  або  $C$ , показали, що  $L_c$  і  $C$  є значущими факторами, виключення яких із математичних моделей призводить до втрати певної кількості інформації (13,4% і 2,7% відповідно). При цьому, судячи з значення критерію інформативності,  $L$  є більш значущим фактором, оскільки

його відсутність у моделі призводить до більш істотного зниження значення коефіцієнта  $R^2$  (13,4 %).

Тому при проведенні багатofакторного регресійного аналізу для отримання найбільш адекватних математичних моделей використовувався фактор

«добовий пробіг» ( $L_c$ ), а фактор «тип змінності» ( $C$ ) і варіант використання їх першої головної компоненти ігнорувалися.

Істотне зниження значення коефіцієнта детермінації (4,7 %) при використанні головної компоненти пояснюється тим, що вона не здатна відновити основну корисну інформацію, яку містять кожен окремий фактор  $L$  і  $C$ . Причина полягає в тому, що на відміну від інших факторів, що розглядаються в даному розділі, «тип змінності» ( $C$ ) є бінарною змінною і не може бути описаний безперервним виразом 1.

Далі докладно наведено результати порівняння здатності перших головних компонентів  $V_{1\text{скр}}$  та  $V_{1\text{грф}}$  відновити вихідну інформацію.

на рисунку 3.20 представлені діаграми розсіювання головною компонентю  $V_{1\text{скр}}$  і її вихідних факторів  $\Pi_{v_3}$  і  $n_{oc}$ . Як можна побачити, головна компонента

$V_{1\text{скр}}$  цілком може стати чисельним представником як для фактора  $\Pi_{v_3}$ , так і для фактора  $n_{oc}$ . Це тим, що обидва вихідні чинники є сильно корелюваними і безперервними змінними.

При побудові багатofакторних регресійних моделей витрати палива міських автобусів до складу змінних для подальшого багатofакторного аналізу входять 9 змінних.

### 3.5 Результати побудови і аналізу математичних моделей

В результаті багатofакторного регресійного аналізу були побудовані математичні моделі витрати палива міських автобусів досліджуваних модифікацій на «комбінованих» змінних, які включають фактори у вихідному вигляді, нелінійні вирази.

Математична модель витрати палива міських автобусів Богдан 70132 на маршруті ( $q_e$ , л/100 км) має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 q_e = & 19,44 + 0,0051 \cdot (V_c - 22,83)^2 + 2,52 \cdot n_{зуп} + 0,067 \cdot N_{пас} + \\
 & + 0,16 \cdot p_{пас} + 0,016 \cdot (T - 13,33)^2 - 0,036 \cdot h_d + 0,0045 \cdot L_{зп} + \\
 & + 0,40 \cdot B - 0,031 \cdot L_c
 \end{aligned} \quad (3.9)$$

На рисунку 3.12 наведено результат розрахунку внеску вихідних факторів у формування маршрутної витрати палива міських автобусів з низькою підлогою Богдан 70132. Результат оцінки вкладу (важливості) факторів показав, що на маршрутний витрата палива автобусів Богдан 70132 впливають в основному природно-кліматичні фактори (31%), швидкісні фактори (27%). Якщо розглядати кожен вихідний чинник окремо, то середня температура навколишнього повітря найбільше впливає витрата палива (30 %). Добовий пробіг (25 %), середня швидкість сполучення на маршруті (12 %) та питома кількість технологічних зупинок на маршруті (15 %) суттєво впливають на витрату палива автобусів Богдан 70132. Однак у зв'язку з тим, що деякі фактори є взаємопов'язаними, їх внесок може частково поширюватися між собою.

Математична модель витрати палива міських автобусів Богдан 70130 на маршруті ( $q_e$ , л/100 км) має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 q_e = & 16,41 + 0,0082 \cdot (V_c - 18,37)^2 + 2,8 \cdot n_{зуп} + 0,037 \cdot N_{пас} + \\
 & + 0,14 \cdot p_{пас} + 0,018 \cdot (T - 11,93)^2 - 0,05 \cdot h_d + 0,0014 \cdot L_{зп} + \\
 & + 0,26 \cdot B - 0,025 \cdot L_c
 \end{aligned} \quad (3.10)$$



Рисунок 3.12 – Вклад вихідних факторів в регресійну модель витрат палива міським автобусом Богдан 70132

На рисунку 3.13 наведено результат розрахунку внеску вихідних факторів у формування маршрутної витрати палива міських автобусів з низькою підлогою Богдан 70130. Результат оцінки вкладу (важливості) факторів показав, що на маршрутний витрата палива автобусів Богдан 70130 впливають в основному природно-кліматичні фактори (30%), швидкісні фактори (30%). Якщо розглядати кожен вихідний чинник окремо, то середня температура навколишнього повітря найбільше впливає витрата палива (29 %). Добовий пробіг (24 %), середня швидкість сполучення на маршруті (12 %) та питома кількість технологічних зупинок на маршруті (18 %) суттєво впливають на витрату палива автобусів Богда 70132. Однак у зв'язку з тим, що деякі фактори є взаємопов'язаними, їх внесок може частково поширюватися між собою.

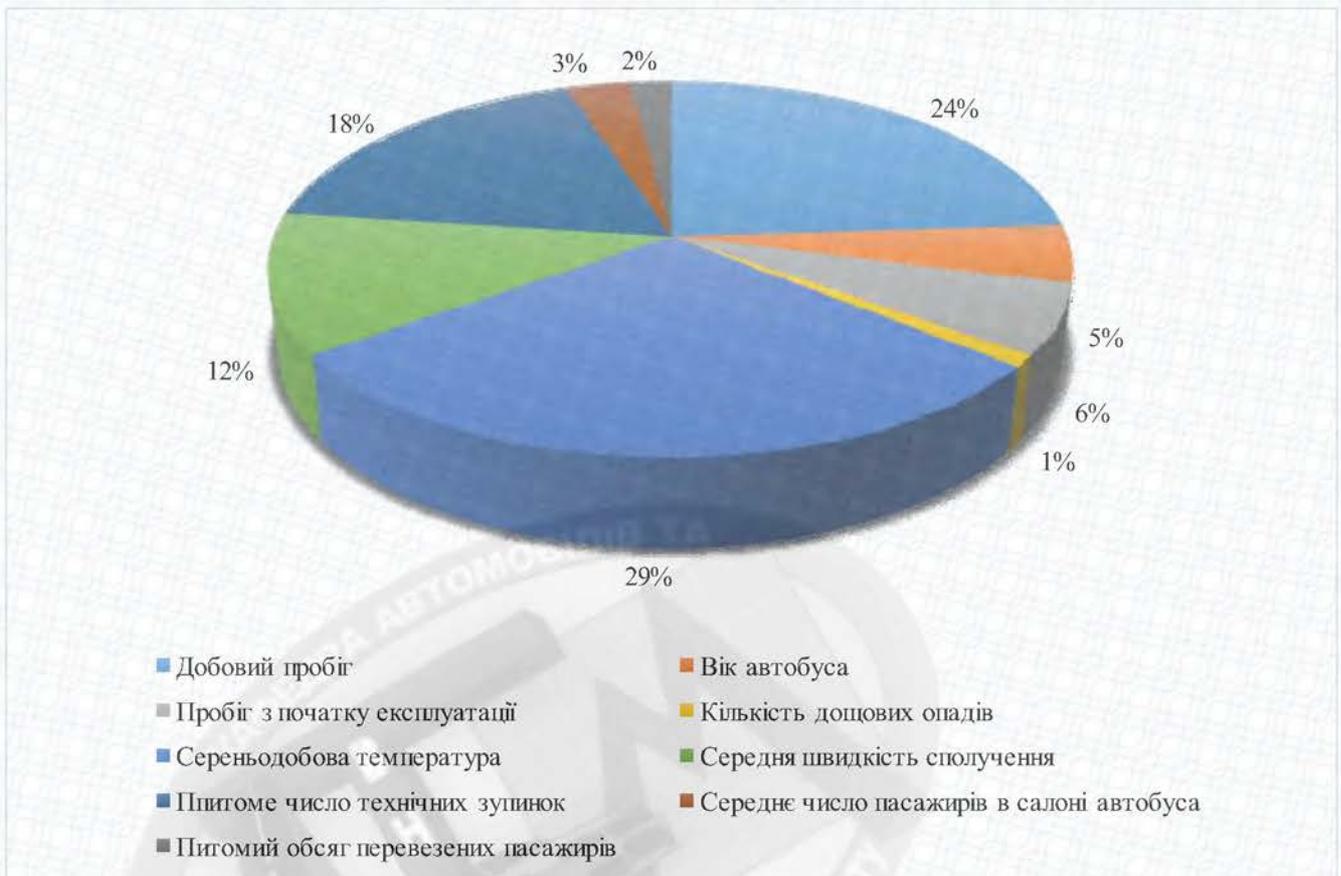


Рисунок 3.13 – Вклад вихідних факторів в регресійну модель витрат палива міським автобусом Богдан 70130

Математична модель витрати палива міських автобусів VDL CITEA LLE 120.225 на маршруті ( $q_e$ , л/100 км) має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 q_e = & 15,54 + 0,0082 \cdot (V_c - 17,92)^2 + 2,08 \cdot n_{зуп} + 0,04 \cdot N_{пас} + \\
 & + 0,11 \cdot p_{пас} + 0,019 \cdot (T - 11,75)^2 - 0,041 \cdot h_d + 0,001 \cdot L_{зп} + \\
 & + 0,64 \cdot V - 0,035 \cdot L_c
 \end{aligned} \quad (3.11)$$

На рисунку 3.14 наведено результат розрахунку внеску вихідних факторів у формування маршрутної витрати палива міських автобусів з низькою підлогою VDL CITEA LLE 120.225. Результат оцінки вкладу (важливості) факторів показав, що на маршрутний витрата палива автобусів VDL CITEA LLE 120.225 впливають в основному природно-кліматичні фактори (36%), швидкісні фактори (28%). Якщо розглядати кожен вихідний чинник окремо, то середня температура навколишнього

повітря найбільше впливає витрата палива (35 %). Добовий пробіг (22 %), середня швидкість сполучення на маршруті (12 %) та питома кількість технологічних зупинок на маршруті (16 %) суттєво впливають на витрату палива автобусів VDL CITEA LLE 120.225. Однак у зв'язку з тим, що деякі фактори є взаємопов'язаними, їх внесок може частково поширюватися між собою.



Рисунок 3.14 – Вклад вихідних факторів в регресійну модель витрат палива міським автобусом VDL CITEA LLE 120.225

### 3.6 Методика визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів з використанням сучасних інформаційних систем обліку роботи рухомого складу

#### *Загальні положення*

Експлуатаційною нормою в даному випадку називається нормативна витрата палива міських автобусів на 100 км пробігу в заданих умовах експлуатації,

включаючи витрата палива на прогрів ДВЗ, на нульовий рейс, на транспортну роботу на маршруті руху, на роботу системи кондиціонування, на роботу системи опалення салону автобуса та ін.

Прогнозним значенням експлуатаційної витрати палива називається передбачувана витрата палива міських автобусів у конкретних умовах експлуатації при роботі згідно розкладом, включаючи значення витрати палива на прогрів ДВЗ, на нульовий рейс, на транспортну роботу на маршруті, на роботу системи опалення та кондиціонування салону автобуса.

Необхідними умовами для впровадження методики є:

- наявність сучасних інформаційних систем обліку роботи рухомого складу ;
- наявність електронної бази даних про природно-кліматичні умови.

#### *Основні фактори і математичні моделі витрати палива міських автобусів на маршруті*

На витрату палива міських автобусів впливає безліч різних факторів. Облік їх повного переліку при нормування витрати палива є трудомістким та недоцільним. Вага факторів у математичних моделях відрізняється як між собою, так і за модифікаціями транспортних засобів. Вплив факторів також варіюється зі зміною умов роботи міських автобусів. Тому для кожної модифікації міського автобуса була окремо розроблено багатofакторну математична модель, визначальна експлуатаційний витрата палива на 100 км пробігу у заданих умовах роботи.

Аналіз експериментальних даних показав, що умови роботи міських автобусів характеризуються такими основними факторами:

\* Швидкісні фактори:

- $V_c$  - середньодобова швидкість сполучення на маршруті, км/год;
- $n_{зуп}$  - питома число технологічних зупинок на маршруті, од./км;

\* Навантажувальні фактори:

- $N_{пас}$  - середньодобове число пасажирів в салоні автобуса на маршруті, пас.;

-  $p_{\text{пас}}$  - питомий обсяг перевезень на маршруті, пас/км;

\* Природно-кліматичні фактори:

-  $T$  - середньозмінна температура навколишнього повітря, °С;

-  $h_{\text{д}}$  - добова кількість дощових опадів, мм;

\* Вікові фактори:

-  $L_{\text{про}}$  - пробіг автобуса з початку експлуатації, тис. км;

-  $V$  - вік автобуса, років;

\* Чинники графіка роботи:

-  $L_{\text{д}}$  - добовий пробіг автобуса на маршруті, км.

В результаті проведення кореляційного та багатofакторного регресійного аналізів були побудовані математичні моделі, визначальні експлуатаційні норми витрати палива міських автобусів на маршруті досліджуваних модифікацій ТЗ з урахуванням перелічених чинників.

Математична модель витрати палива міських автобусів Богдан 70132 на маршруті ( $q_{\text{е}}$ , л/100 км) має такий вигляд:

$$q_{\text{е}} = 19,44 + 0,0051 \cdot (V_{\text{с}} - 22,83)^2 + 2,52 \cdot n_{\text{зуп}} + 0,067 \cdot N_{\text{пас}} + \\ + 0,16 \cdot p_{\text{пас}} + 0,016 \cdot (T - 13,33)^2 - 0,036 \cdot h_{\text{д}} + 0,0045 \cdot L_{\text{зп}} + \\ + 0,40 \cdot V - 0,031 \cdot L_{\text{д}} \quad (3.12)$$

Математична модель витрати палива міських автобусів Богдан 70130 на маршруті ( $q_{\text{е}}$ , л/100 км) має такий вигляд:

$$q_{\text{е}} = 16,41 + 0,0082 \cdot (V_{\text{с}} - 18,37)^2 + 2,8 \cdot n_{\text{зуп}} + 0,037 \cdot N_{\text{пас}} + \\ + 0,14 \cdot p_{\text{пас}} + 0,018 \cdot (T - 11,93)^2 - 0,05 \cdot h_{\text{д}} + 0,0014 \cdot L_{\text{зп}} + \\ + 0,26 \cdot V - 0,025 \cdot L_{\text{д}} \quad (3.13)$$

Математична модель витрати палива міських автобусів VDL CITEA LLE 120.225 на маршруті ( $q_{\text{е}}$ , л/100 км) має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 q_e = & 15,54 + 0,0082 \cdot (V_c - 17,92)^2 + 2,08 \cdot n_{зуп} + 0,04 \cdot N_{пас} + \\
 & + 0,11 \cdot p_{пас} + 0,019 \cdot (T - 11,75)^2 - 0,041 \cdot h_d + 0,001 \cdot L_{зп} + \\
 & + 0,64 \cdot B - 0,035 \cdot L_d
 \end{aligned} \quad (3.14)$$

Експлуатаційна норма витрати палива на прогнозний період є «середньою» потребою АТП у паливі на 100 кілометрів пробігу автобусів конкретної модифікації на заданому маршруті руху. Тому експлуатаційна норма витрати палива для  $i$ -го маршруту для  $j$ -ї модифікації автобусів ( $N_e^{ij}$ ) визначається встановленням сумарного нормативного значення експлуатаційного витрати палива ( $Q_{не}^{ij}$ ) всіх автобусів даної модифікації, працюючих на даному маршруті руху в передбачуваний період, до них сумарному пробігу ( $L_c^{ij}$ , км) за формулою:

$$N_e^{ij} = \frac{\sum Q_{не}^{ij}}{\sum L_c^{ij}} \cdot 100 = \frac{\sum q_e^{ij} \cdot L_c^{ij}}{\sum L_c^{ij}} \cdot 100 \quad (3.15)$$

Таким чином, експлуатаційна норма витрати палива для  $i$ -го маршруту руху для  $j$ -ої модифікації автобуса являє собою середньозважене значення всіх експлуатаційних норм витрати палива  $q_e^{ij}$  по всім виходам, де ваговим параметром є добовий пробіг автобусів.

### 3.7 Розрахунок експлуатаційних норм витрати палива за минулий період експлуатації

#### а. Постановка завдання

Наприкінці звітної періоду необхідно списати паливо та оцінити ефективність роботи водіїв, у тому числі з використання палива. Завдання дослідників полягає у визначенні експлуатаційних норм витрати палива автобусів

Богдан А70130, Богдан А70132 та VDL CITEA LLE 120.225 для списання та оцінки роботи водіїв. Статистичні вихідні дані (таблиця 3.3).

Кожен рядок даних є один робочий день певного автобуса. У якості прикладу розрахунку наведено 2 рядки по автобусу Богдан 70132. На практиці в КП «ВТК» загальна кількість таких рядків становить декілька тисяч за один місяць, що ускладнює ручний розрахунок. Таке завдання виконується за допомогою спеціалізованих програм.

Поставляючи відповідні значення змінних у регресійне рівняння 3.24, отримуємо експлуатаційні норми витрати пального міських автобусів Богдан А70132 для його списання ( $H_e^c$ ) Аналогічно для автобусів Богдан А70130 – рівняння 3.25, для автобусів VDL CITEA LLE 120.225 – рівняння 3.26.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахунку експлуатаційних норм витрати палива за період експлуатації (фрагмент)

№ подорожнього листа	Умовні позначення факторів і їх одиниці виміру								
	$V_c$ , км/год	$n_{зуп}$ , од./км	$N_{пас}$ , пас.	$p_{пас}$ , пас/км	$T$ , °C	$h_d$ , мм	$L_{зп}$ , 10 <sup>3</sup> км	$B$ , років	$L_d$ , км
Богдан А70132									
****	17,8	2,44	15,17	7,24	13,2	0	540	11,1	245
****	18,5	2,65	11,75	6,25	15,3	0	450	11,1	250

Для автобуса Богдан А70132 для одного робочого дня було встановлено, що в заданих умовах експлуатації його експлуатаційна норма витрати палива становить:

$$\begin{aligned}
 H_e^c = & 19,44 + 0,0051 \cdot (17,8 - 22,83)^2 + 2,52 \cdot 2,44 + 0,067 \cdot 15,17 + \\
 & + 0,16 \cdot 7,24 + 0,016 \cdot (13,2 - 13,33)^2 - 0,036 \cdot 0 + 0,0045 \cdot 540 + \\
 & + 0,40 \cdot 11,1 - 0,031 \cdot 245 = 42,35 \text{ л/100км}
 \end{aligned}$$

Для оцінки ефективності роботи водія по паливній економічності на даному автобусі, враховуючи 5% допустимої варіації від норми, інтервальна норма витрати палива для водіїв визначається наступним чином:

$$0,95 \cdot H_e^c \leq H_e^c \leq 1,05 \cdot H_e^c \quad (3.16)$$

Тому фактична витрата палива автобуса в заданих умовах має бути в діапазоні від 40,24 л/100км до 44,48 л/100км.

Аналогічно було проведено розрахунок для решти виходів автобусів.

### 3.8 Висновки до розділу 3

1. Спостерігається значна варіація витрати палива через відмінності умов експлуатації міських автобусів. Це підтверджує необхідність диференційованого нормування витрати палива з урахуванням основних чинників.

2. Кореляційний аналіз виявив групи сильно взаємопов'язаних змінних: швидкісні, навантажувальні, вікові. Для усунення мультиколінеарності під час регресійного аналізу застосовано підхід, що базується на методі головних компонент.

3. Однофакторний регресійний аналіз встановив, що:

- досліджувані фактори впливають на маршрутну витрату палива з різною силою, а більшість залежностей описуються лінійними моделями;
- середньодобова швидкість сполучення та температура повітря мають нелінійний вплив і потребують трансформації;
- витрата палива збільшується зі зростанням питомої кількості зупинок, середньої заповненості салону, питомого обсягу перевезень, пробігу та віку автобуса;
- витрата зменшується зі збільшенням добового пробігу та кількістю дощових опадів (через зниження пасажиропотоку);

4. Після нелінійного перетворення швидкості сполучення та температури повітря визначено оптимальні значення цих факторів. Створено нові похідні змінні, що мають ближчу до лінійної залежність із витратою палива.

5. Багатофакторний регресійний аналіз дав змогу побудувати моделі для кожної модифікації автобусів залежно від ключових факторів: швидкості сполучення, питомої кількості зупинок, заповненості салону, обсягу перевезень, температури, опадів, пробігу, віку та добового пробігу. Моделі є адекватними, точними та статистично достовірними.

6. Аналіз внеску факторів показав, що для Богдан 70132 основний вплив мають природно-кліматичні (31%), швидкісні (27%) та добовий пробіг (25%). Для Богдан 70130: відповідно 30%, 30% і 24%. Для VDL CITEA LLE 120.225: 36%, 28% і 22%.

7. На основі моделей удосконалено методика визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів з використанням сучасних інформаційних систем обліку роботи рухомого складу.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано особливості сучасних умов експлуатації міських автобусів, зокрема у місті Вінниця, існуючих методик і підходів до нормування витрати палива.

2. Проведено регресійний аналіз факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів на маршруті, і розроблені індивідуальні багатофакторні регресійні моделі витрати палива міських автобусів Богдан 70132, Богдан 70130 та VDL CITEA LLE 120.225 з використанням сучасних математичних методів, що дозволяють підвищити якість побудованих математичних моделей. Побудовані математичні моделі враховують вплив швидкісних, навантажувальних, вікових, природно-кліматичних факторів і факторів режиму роботи міських автобусів, а також їх та взаємозв'язок при визначенні експлуатаційної витрати палива міських автобусів. Результат аналізу вкладу досліджуваних факторів показав, що на витрата палива автобусів Богдан 70132 впливають в основному природно-кліматичні фактори (31 %), швидкісні фактори (27 %) і добовий пробіг (25%); на витрату палива автобусів Богдан 70130 – природно-кліматичні фактори (30 %), швидкісні фактори (30%) і добовий пробіг (24%); на витрату палива автобусів VDL CITEA LLE 120.225 – природно-кліматичні фактори (36 %), швидкісні фактори (28 %) та добовий пробіг (22%).

3. Удосконалено методику визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів та обґрунтовано можливість оперативного прогнозування експлуатаційної витрати палива при плановій роботі міських автобусів. Запропоновано методичний підхід до оцінки ефективності роботи водіїв та автобусів з паливної економичності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Галушак О.О. Аналізу впливу факторів на формування значення витрати палива міських автобусів // О.О. Галушак, Д.О. Галушак, В.О. Бурченко / Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту - 2025: Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» – ВНТУ, 20-22 жовтня 2025 р. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/stprat/stprat2023.pdf>
2. Методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт для здобувачів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» [Електронний ресурс] / уклад.: В. В. Біліченко, С. В. Цимбал, В. П. Кужель. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 90 с.
3. Методичні рекомендації щодо нормування витрат палива, електричної енергії, мастильних та інших експлуатаційних матеріалів автомобілями та технікою [Електронний ресурс]. — URL; <https://insat.org.ua/files/services/ldvpe/6/metod.pdf> (Дата звернення 20.10.2025р)
4. Омаров Д.М., Прокудін Г.С., Прокудін О.Г. Удосконалення організації перевезень пасажирів у великих містах. Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика». Київ: НТУ, 2015. Вип. 16. Част. 1: «Технічні науки». С.125–135.
5. Єрмак О.М., Пустовіт В.І. Щодо визначення якості пасажирських перевезень / Міжвузівський збірник „Наукові нотатки”. Київ, 2014. Вип. 46. С. 170–176.
6. Статистичні дані автомобільного транспорту України: Режим доступу: [http://ukrstat.gov.ua/metod\\_polog/metod\\_doc/2016/252/mp\\_savt.zip](http://ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2016/252/mp_savt.zip).
7. Статистичні дані міського електричного транспорту України: Режим доступу: [http://ukrstat.gov.ua/metod\\_polog/metod\\_doc/2016/79/mp\\_smet.zip](http://ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2016/79/mp_smet.zip).
8. Босняк М.Г. Комплексне удосконалення транспортного процесу і організація роботи автобусного підприємства / Автореф. дис. на здобуття вчен.

ступені канд. техн. наук за спец. 05.22.01 – Транспортні системи. Київ: УТУ, 1997. 15 с.

9. Босняк М.Г. Пасажирські автомобільні перевезення: уавчальний посібник для студентів напряму 0646 – транспортні технології. Київ: Видавничий Дім - Слово, 2009. 271 с.

10. Ігнатенко О.С., Маруніч В.С., Дума І.М., Журавель В.В. Математичне моделювання міських пасажирських перевезень. Проектування, виробництво, експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. Львів: Захід. наук. центр ТАУ, 1995. Т. 2. С.38–42

11. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту - Міністерство інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (дата звернення 05.11.2024).

12. Гілевська К.Ю., Сокульський О.Є., Гілевська К.Ю., Панченко Д.Л. Методика визначення інтервалу руху пасажирського транспортного засобу на маршруті МПТС, з урахуванням пасажиропотоків, коефіцієнту заповнення салону та часу чекання пасажиром на зупинці. Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика». Київ: НТУ, 2014. Вип. 14. С. 163–171.

13. Дмитриченко М.Ф., Яцківський Л.Ю., Ширяєва С.В., Докуніхін В.З. Основи теорії транспортних процесів і систем: навч. посібн. для ВНЗ. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2009. 336 с.

14. Гілевська К.Ю., Сокульський О.Є., Васільцова Н.М. Контроль якості транспортних послуг для підвищення ефективності організації автобусних маршрутів МПТС. Науковий журнал «Управління проектами, системний аналіз і логістика». Київ: НТУ, 2014. Вип. 13. С. 163–171.

15. Про затвердження Порядку проведення конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування. Постанова кабінету міністрів України від 3 грудня 2008 р. N 1081.

16. Харута В.С. Адаптація прецедентного методу для формування команди проектів міських пасажирських перевезень. Науковий журнал «Управління

проектами, системний аналіз і логістика». Київ: НТУ, 2014. Вип. 14. Част. 1 «Технічні науки». С. 256–265

17. Lujan, J. M. Influence of ambient temperature on diesel engine raw pollutants and fuel consumption in different driving cycles / J. M. Lujan, H. Climent, S. Ruiz, A. Moratal // *International Journal of Engine Research*. – 2019. – Vol. 20(8-9). – pp. 877-888.

18. Ma, H. Effects of driver acceleration behavior on fuel consumption of city buses / Ma H., Xie H., Chen S., Yan Y. // *SAE Technical Papers* 1. – 2014. – pp. 389-395. DOI:10.4271/2014-01-0389

19. Maksimov, V. A. The Use of Capacitive Sensors when Measuring Fuel Consumption for Warming Up Road Transport / V. A. Maksimov, N. V. Pozhivilov, A. E. Andrianov // *Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED)*, 2021, doi: 10.1109/TIRVED53476.2021.9639177.

20. Maksimov, V. Using Microsoft Excel for building regression models of city buses' fuel consumption / V. A. Maksimov, V. Tu. Nguyen // *Science Journal of Transportation*. – 2023. – No. 1(13). – P. 45-52.

21. Ozener, O. Fuel consumption and emission evaluation of a rapid bus transport system at different operating conditions / O. Ozener, M. Ozkan // *Fuel*. – 2020. doi: 10.1016/j.fuel.2020.117016. 121. pandas PyPI [Електронний ресурс]. – URL: <https://pypi.org/project/pandas/> (дата звернення 20.10.2025).

22. Past weather in Moscow, Russia – Yesterday or Further Back [Електронний ресурс] – URL:<https://www.timeanddate.com/weather/russia/moscow/historic> (дата звернення 20.10.2025).

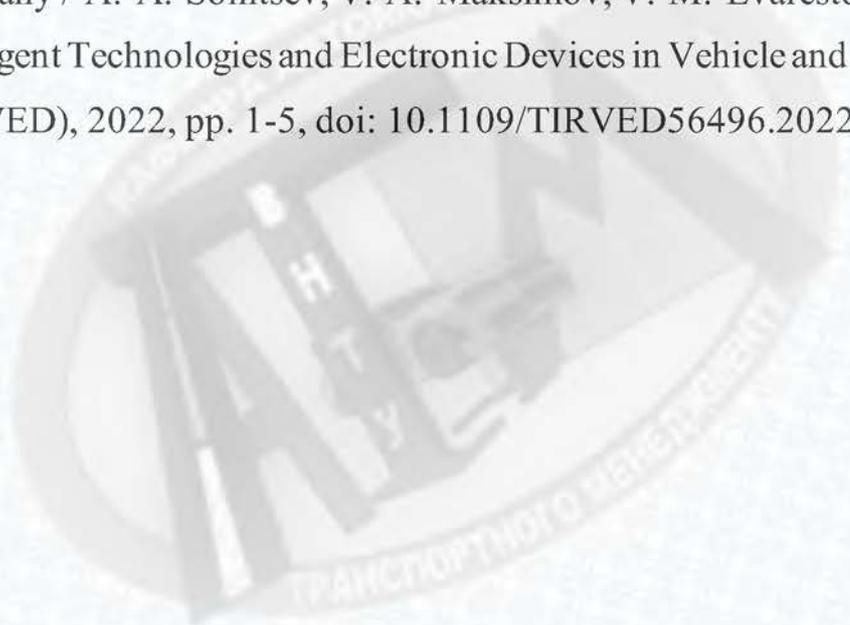
23. Renaud, O. A robust coefficient of determination for regression / O. Renaud, M. Victoria-Feser // *Journal of Statistical Planning and Inference*. – 2010. – Vol. 140/7(7). – pp. 1852-1862.

24. Rosero, F. Effects of passenger load, road grade, and congestion level on real-world fuel consumption and emissions from compressed natural gas and diesel urban buses / F. Rosero, N. F. Gonzalez, J. M. L. Martinez, J. Casanova // *Applied Energy*. – 2021. – Vol. 282. – Art. ID 116195. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116195.

25. Savotin-Kosiak, D. Establishing the regularities of correlation ambient temperature and fuel consumption by city diesel buses / D. Savotin-Kosiak, M. Madziel, A. Jaworski, O. Ivanushko, M. Tsiuman, A. Loboda // Eastern-European Journal of 196

26. Enterprise Technologies, 2020, Vol. 6/3(108), pp. 23-32. doi:10.15587/1729-4061.2020.220257 Smieszek, M. Determining the fuel consumption of a public city bus in urban traffic / M. Smieszek, V. Mateichyk // IOP Conference Series: Material Science and Engineering. – 2021. – Vol 1199. – Art. ID 012080.

27. Solntsev, A. A. Improving the Efficiency of Electric Buses in a City Transport Company / A. A. Solntsev, V. A. Maksimov, V. M. Evarestov, V. T. Nguyen // 2022 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/TIRVED56496.2022.9965554.





ДОДАТКИ

Додаток А (обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

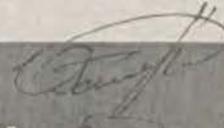
**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ  
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НОРМ ВИТРАТИ ПАЛИВА МІСЬКИХ  
АВТОБУСІВ КОМУНАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ВІННИЦЬКА  
ТРАНСПОРТНА КОМПАНІЯ» МІСТО ВІННИЦЯ**

*(Назва магістерської кваліфікаційної роботи)*

ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДО  
МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт

Вдосконалення методики визначення експлуатаційних норм витрати  
палива міських автобусів комунального підприємства  
«Вінницька транспортна компанія» місто Вінниця

Керівник роботи к.т.н., доц.   
Розробив студент гр. 1АТ-24м 

Галушак О.О.  
Бурченко В.О.

Вінниця ВНТУ 2025

Мета роботи – підвищення ефективності технічної експлуатації міських автобусів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» на основі об'єктивного обліку факторів, що впливають при нормуванні витрати палива на маршруті.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- Проведення аналітичних досліджень особливостей сучасних умов експлуатації, методик та підходів до нормування витрати пального та сучасних інформаційних систем обліку роботи міських автобусів.
- Розробка теоретичних положень та методичного підходу до нормування витрати палива міських автобусів на маршруті руху.
- Проведення кореляційно-регресійного аналізу факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів на маршруті, та розробка багатофакторних регресійних моделей.
- Удосконалення методики визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів на маршруті руху для управління витратою палива міських автобусів.

**Об'єкт дослідження** — муніципальні автобуси комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія», які працюють на маршрутах міста.

**Предмет дослідження** — витрата палива муніципальних автобусів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія», які працюють на маршрутах міста.

### **Новизна одержаних результатів.**

- визначено вплив експлуатаційних параметрів на витрату палива міськими автобусами;
- удосконалений підхід для оцінки впливу температури навколишнього повітря і умов експлуатації на витрату палива міських автобусів.
- удосконалена методика визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів на поточному маршруті руху.

# Аналіз роботи автотранспортного парку комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія»

4



**Всі муніципальні автобуси** комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» відповідають сучасним екологічним вимогам стандарту «Євро-5» та «Євро-6», що відповідає стратегії розвитку міста в напрямку декарбонізації, та європейським тенденціям у сфері міської мобільності.

Нормативна витрата палива для міських автобусів визначається як сума складових, що відображають усі елементи транспортного циклу:

$$Q_H = Q_{\text{нр}} + Q_M + Q_{\text{оп}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{кл}}$$

$Q_H$ — загальна нормативна витрата палива, л;

$Q_{\text{нр}}$ — витрата палива на нульовий пробіг, л;

$Q_M$ — витрата палива під час роботи на маршруті, л;

$Q_{\text{оп}}$ — витрата палива на роботу системи опалення салону, л;

$Q_{\text{пр}}$ — витрата палива на прогрів двигуна перед виїздом, л;

$Q_{\text{кл}}$ — додаткова витрата, пов'язана з кліматичними умовами та роботою допоміжних систем, л.

Розрахунок нормативних витрат палива для легкових автомобілів і автобусів виконується за формулою:

$$Q_H = 0,01 \cdot H_s \cdot S \cdot (1 + 0,01 \cdot K_{\Sigma}) ,$$

$H_s$  – базова лінійна норма витрати палива, л/100 км ( $\text{м}^3/100 \text{ км}$ ) ;

$S$  – пробіг автомобіля, км;

$K_{\Sigma}$  – сумарний коригуючий коефіцієнт, %.

У разі використання в автобусах автономних обігрівачів нормативна витрата палива на роботу обігрівача додається до загальних нормативних витрат і її максимально можливе значення розраховується таким чином:

$$Q_{\text{он}} = H_{\text{он}} \cdot 0,01 \cdot K_m \cdot \tau_{\text{он}}$$

$Q_{\text{он}}$  – максимально можливе значення нормативної витрати палива на роботу обігрівача, літри;

$H_{\text{он}}$  – базова норма витрати палива на роботу автономного обігрівача, л/год.;

$K_m$  – відсоток використання потужності обігрівача залежно від фактичної температури повітря в холодну пору року (визначається відповідно до п. 1.8);

$\tau_{\text{он}}$  – обґрунтована та задокументована тривалість роботи автономного обігрівача.

Для точності розрахунків використовуються коригуючі коефіцієнти, передбачені методикою ДП «ДержавтотрансНДІпроект», з урахуванням:

- пори року (температурний режим);
- стану дорожнього покриття, рельєфу;
- інтенсивності пасажиропотоку;
- умов руху (наявність заторів, частота зупинок, середня швидкість).

Застосування оновлених норм дозволяє підприємству:

- забезпечувати економічну обґрунтованість споживання палива;
- планувати річний фонд паливно-мастильних матеріалів;
- контролювати ефективність експлуатації автобусів на різних маршрутах;
- виявляти відхилення у витратах та оперативно реагувати на нераціональне використання ресурсів.

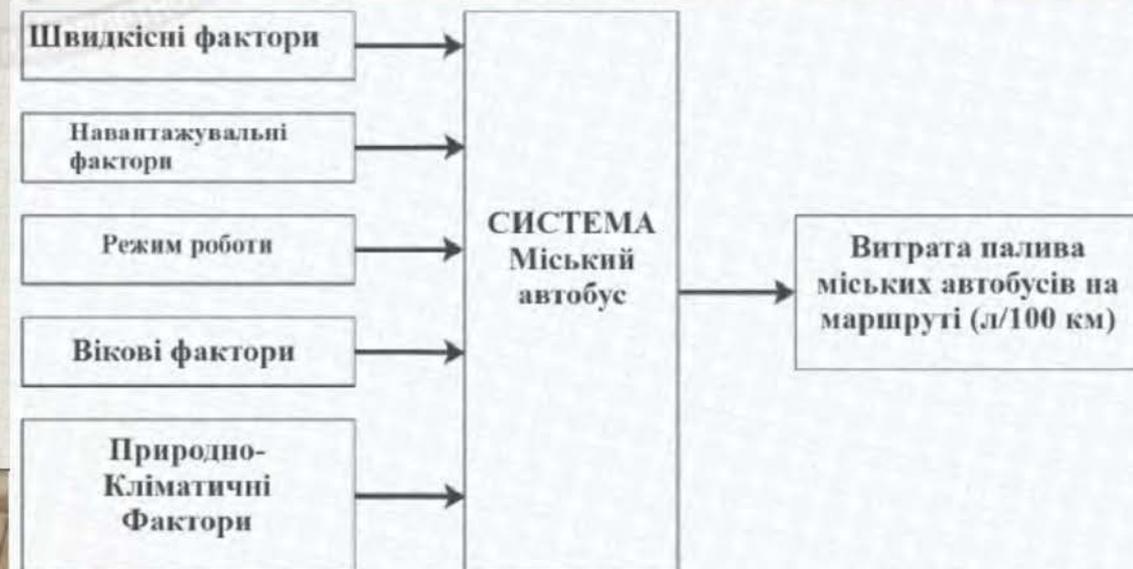
Конструкційні фактори	Природно-кліматичні фактори	Технологічні фактори	Експлуатаційні фактори	Організаційні фактори
Ефективність конструкції	Температура навколишнього середовища	Управління якістю ТО і ПР	Стан дорожнього покриття	«Вік» парку міських автобусів
Якість проектування вузлів і агрегатів	Кількість опадів	Забезпеченість ВТБ	Кут позовжнього ухилу траси маршруту	Структура парку автобусів за моделями
Якість виготовлення деталей		Оптимізація потужності та структури ВТБ	Тип дорожнього покриття	Втрати палива при ТО і ТР міських автобусів
Якість застосовуваних матеріалів		Забезпечення підприємства персоналом	Інтенсивність експлуатації автобусів	Крадіжки палива
Якість збирання вузлів і агрегатів		Кваліфікація персоналу	Наповненість салону автобуса за перегонном	Якість палива та експлуатаційних матеріалів
Якість збирання автобусів		Удосконалення системи стимулювання праці	Кількість поворотів траси маршруту	Швидкісний режим руху на маршруті
		Застосування обґрунтованих нормативів з ТО і ТР	Інтенсивність руху транспортного потоку	Довжина перегону технологічного циклу
		Виконання рекомендацій і нормативів з ТО і ТР	Кількість смуг руху	Частота планових і позапланових зупинок
		Удосконалення технологій з ТО і ТР	Наявність кишень на зупинках	
		Забезпечення робочих місць і виконавців необхідною технологічною документацією	Освітленість проїжджої частини	
		Застосування раціональних норм витрати палива		
		Удосконалення методів зберігання палива		
		Застосування комп'ютерних технологій		

## Класифікація факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів

## Вибір факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів

- середня швидкість руху на маршруті (км/год);
- питома кількість технологічних зупинок на маршруті (од./км);
- середня кількість пасажирів у салоні автобуса (пас./рейс);
- питома кількість перевезень на маршруті (пас./км);
- загальний пробіг з початку експлуатації (тис. км);
- вік автобуса (роки);
- добовий пробіг (км);
- середня температура навколишнього повітря (°C);
- кількість дощових опадів на добу (мм);
- кількість снігових опадів на добу (мм).

### Системний підхід при нормуванні витрати палива міських автобусів



Середньодобова швидкість  
сполучення на маршруті

$$V_c = \frac{L_c}{t_c} = \frac{L_M + L_0}{t_M + t_0},$$

$t_c$  - сумарний час, год

$t_M$  - час на маршруті, год

$t_0$  - час на нульовий пробіг, год

Питома кількість технологічних зупинок на  
маршруті

$$n_{зуп} = \frac{N_{зуп}}{L_c} = \frac{N_{зуп}}{L_M + L_0},$$

$N_{зуп}$  - загальна кількість технологічних зупинок на  
маршрут

$L_M$  - пробіг на маршруті

$L_0$  - нульовий пробіг

Середньодобова кількість пасажирів у  
салоні автобуса

$$N_{пасс} = \frac{P_{пасс}}{L_M} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m N_{ij} \cdot L_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m L_{ij}},$$

$N_{ij}$  - кількість пасажирів, які перебувають у салоні  
автобуса на  $i$ -му перегоні  $j$ -го рейсу

$L_{ij}$  - Довжина  $i$ -го перегону  $j$ -го рейсу маршруту

$m$  - загальна кількість перегонів, що здійснюється  
автобусом за  $j$ -й рейс

$n$  - загальна кількість рейсів, що здійснюються  
автобусом за добу.

Питомий обсяг перевезень на маршруті

$$P_{пасс} = \frac{P_{пасс}}{L_{л}} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m N_{ij}^{вход}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m L_{ij}},$$

$N_{ij}$  - кількість пасажирів, що входять до салону  
автобуса на  $i$ -ій технологічній зупинці  $j$ -го  
рейсу;

$L_{ij}$  - довжина  $i$ -го перегону  $j$ -го рейсу  
маршруту;

$m$  - загальна кількість технологічних зупинок  
на  $j$ -му рейсі;

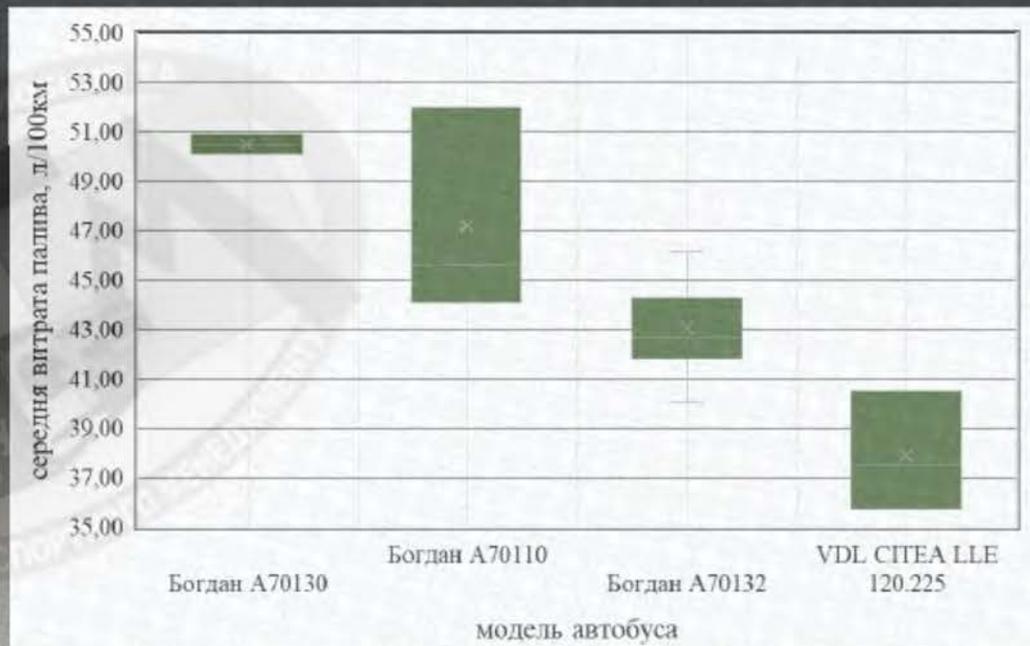
$n$  - загальна кількість рейсів, виконаних  
автобусом за добу.

# РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

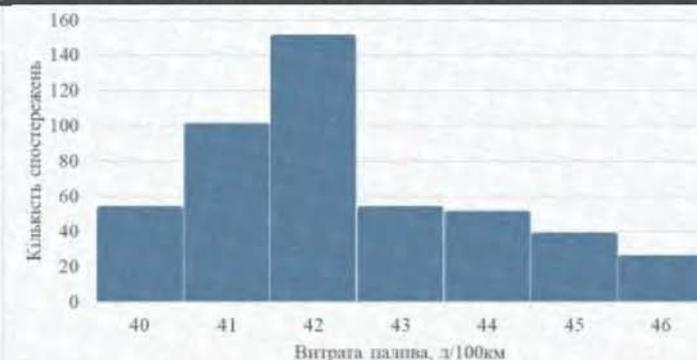
## Експлуатаційні витрати палива автобусами

Держ. номер.	Модель	Витрата палива, л/100км
01-95	Богдан А70130	50,10
01-96	Богдан А70130	50,90
<b>Середнє</b>		<b>50,57</b>
06-76	Богдан А70110	44,09
06-65	Богдан А70110	45,58
01-97	Богдан А70110	51,99
<b>Середнє</b>		<b>48,06</b>
05-47	Богдан А70132	40,10
05-46	Богдан А70132	40,64
05-43	Богдан А70132	41,72
05-49	Богдан А70132	41,82
05-01	Богдан А70132	42,01
05-39	Богдан А70132	42,08
05-03	Богдан А70132	42,38
05-17	Богдан А70132	42,67
05-42	Богдан А70132	43,45
...	...	...
<b>Середнє</b>		<b>44,34</b>
01-02	VDL CITEA LLE 120.225	37,54
01-03	VDL CITEA LLE 120.225	40,47
02-98	VDL CITEA LLE 120.225	35,73
<b>Середнє</b>		<b>38,04</b>

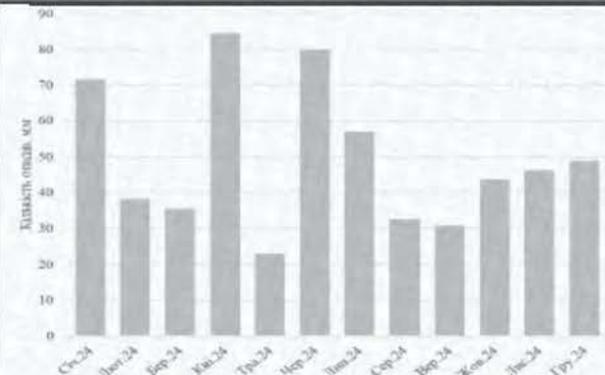
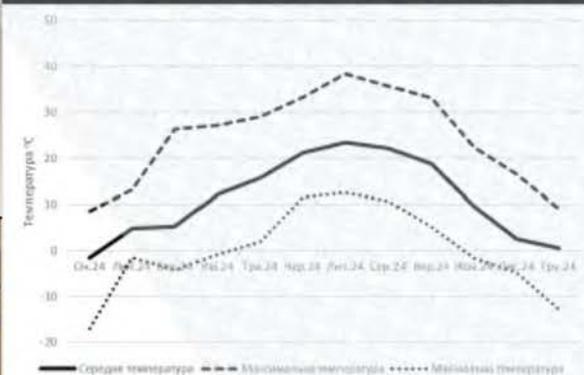
Діаграма розмаху витрати палива міських автобусів на маршруті



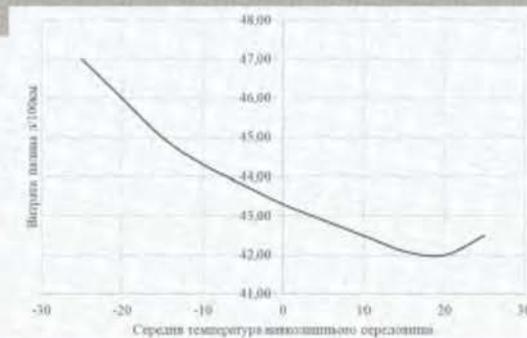
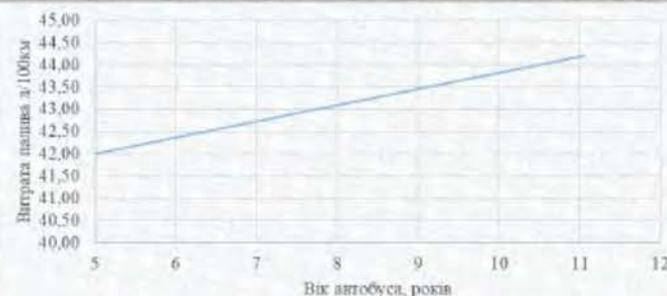
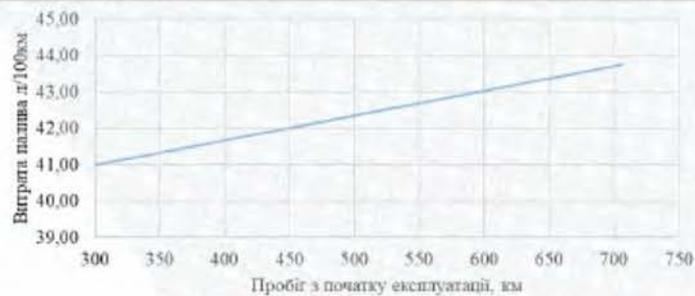
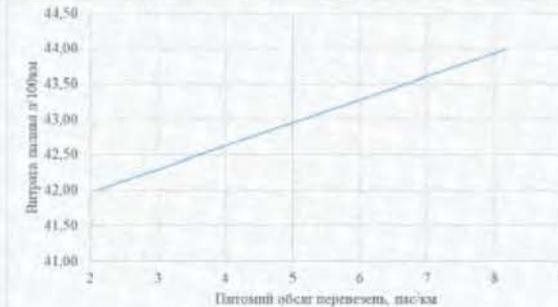
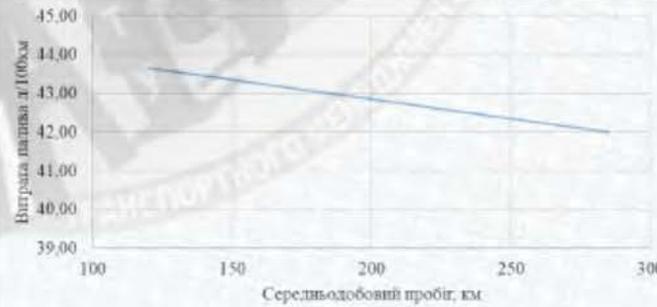
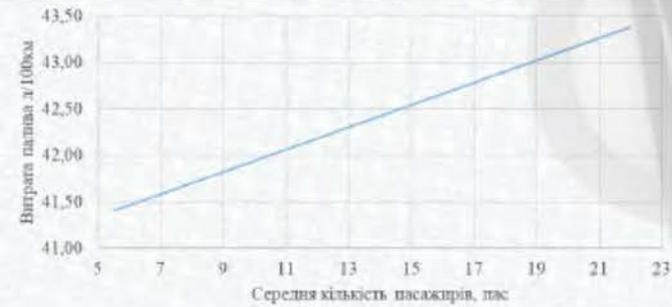
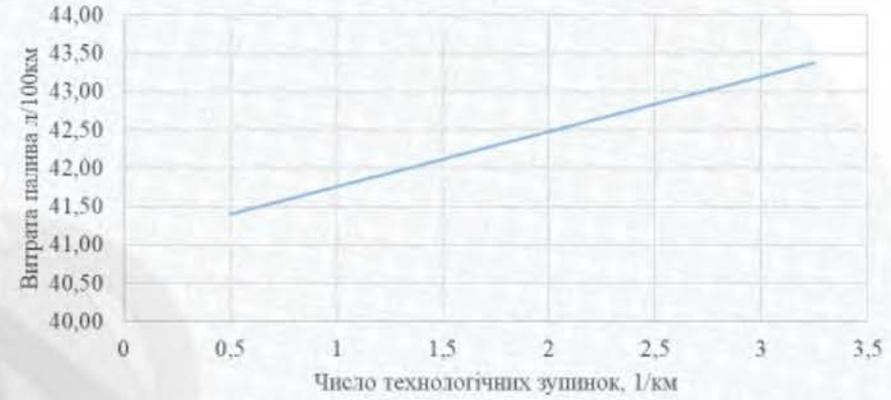
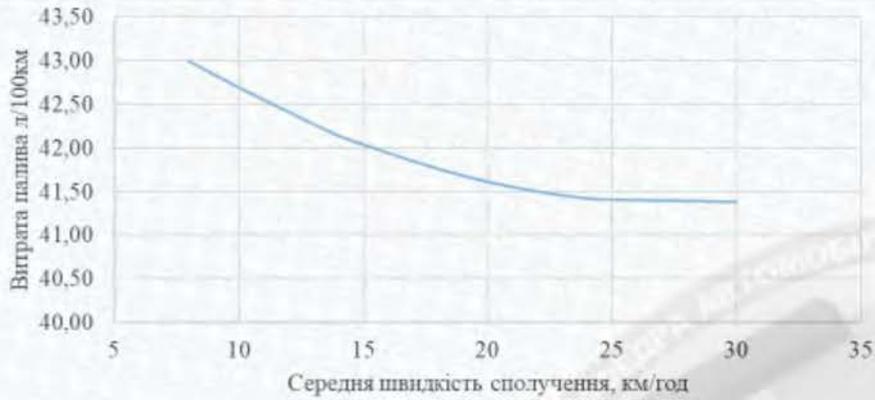
Гістограма розподілу витрати палива міських автобусів Богдан А70132



## Зміна середньодобової температури 2024 р Кількість опадів по місяцям 2024 р.



# Залежності витрати палива міських автобусів Богдан А70132 від параметрів



# Побудова і аналіз багатofакторних математичних моделей витрати палива міськими автобусами

Вклад вихідних факторів в регресійну модель витрат палива міським автобусом Богдан 70132



Математична модель витрати палива міських автобусів Богдан 70132

$$q_e = 19,44 + 0,0051 \cdot (V_c - 22,83)^2 + 2,52 \cdot n_{зуп} + 0,067 \cdot N_{пас} + 0,16 \cdot p_{пас} + 0,016 \cdot (T - 13,33)^2 - 0,036 \cdot h_d + 0,0045 \cdot L_{зп} + 0,40 \cdot B - 0,031 \cdot L_c$$

# Побудова і аналіз багатofакторних математичних моделей витрати палива міськими автобусами

Вклад вихідних факторів в регресійну модель витрат палива міським автобусом Богдан 70130



Математична модель витрати палива міських автобусів Богдан 70130

$$q_e = 16,41 + 0,0082 \cdot (V_c - 18,37)^2 + 2,8 \cdot n_{зуп} + 0,037 \cdot N_{пас} + 0,14 \cdot p_{пас} + 0,018 \cdot (T - 11,93)^2 - 0,05 \cdot h - 0,0014 \cdot L - 0,26 \cdot V - 0,025 \cdot L$$

# Побудова і аналіз багатofакторних математичних моделей витрати палива міськими автобусами

Вклад вихідних факторів в регресійну модель витрат палива міським автобусом VDL CITEA LLE 120.225



Математична модель витрати палива міських автобусів VDL CITEA LLE 120.225

$$q_e = 15,54 + 0,0082 \cdot (V_c - 17,92)^2 + 2,08 \cdot n_{зуп} + 0,04 \cdot N_{пас} + 0,11 \cdot p_{пас} + 0,019 \cdot (T - 11,75)^2 - 0,041 \cdot h_{дощ} + 0,001 \cdot L_{пробіг} + 0,64 \cdot B - 0,035 \cdot L_{пробіг}$$

Для автобуса Богдан А70132 для одного робочого дня було встановлено, що в заданих умовах експлуатації його експлуатаційна норма витрати палива становить:

$$H_e^c = 19,44 + 0,0051 \cdot (17,8 - 22,83)^2 + 2,52 \cdot 2,44 + 0,067 \cdot 15,17 + \\ + 0,16 \cdot 7,24 + 0,016 \cdot (13,2 - 13,33)^2 - 0,036 \cdot 0 + 0,0045 \cdot 540 + \\ + 0,40 \cdot 11,1 - 0,031 \cdot 245 = 42,35 \text{ л/100км}$$

Для оцінки ефективності роботи водія по паливній економічності на даному автобусі, враховуючи 5% допустимої варіації від норми, інтервальна норма витрати палива для водіїв визначається наступним чином:

$$0,95 \cdot H_e^c \leq H_e^c \leq 1,05 \cdot H_e^c$$

Тому фактична витрата палива автобуса в заданих умовах має бути в діапазоні від 40,24 л/100к м до 44,48 л/100км.

Аналогічно було проведено розрахунок для решти виходів автобусів.

1. Проаналізовано особливості сучасних умов експлуатації міських автобусів, зокрема у місті Вінниця, існуючих методик і підходів до нормування витрати палива.

2. Проаналізовано фактори, що впливають на витрату палива міських низькопідлогових автобусів на маршруті з урахуванням особливостей сучасних умов експлуатації.

3. Проведено регресійний аналіз факторів, що впливають на витрату палива міських автобусів на маршруті, і розроблені індивідуальні багатофакторні регресійні моделі витрати палива міських автобусів Богдан 70132, Богдан 70130 та VDL CITEA LLE 120.225 з використанням сучасних математичних методів, що дозволяють підвищити якість побудованих математичних моделей. Побудовані математичні моделі враховують вплив швидкісних, навантажувальних, вікових, природно-кліматичних факторів і факторів режиму роботи міських автобусів, а також їх та взаємозв'язок при визначенні експлуатаційної витрати палива міських автобусів.

4. Результат аналізу вкладу досліджуваних факторів показав, що на витрату палива автобусів Богдан 70132 впливають в основному природно-кліматичні фактори (31 %), швидкісні фактори (27 %) і добовий пробіг (25%); на витрату палива автобусів Богдан 70130 – природно-кліматичні фактори (30 %), швидкісні фактори (30 %) і добовий пробіг (24%); на витрату палива автобусів VDL CITEA LLE 120.225 – природно-кліматичні фактори (36 %), швидкісні фактори (28 %) та добовий пробіг (22%).

5. Удосконалено методику визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів та обґрунтовано можливість оперативного прогнозування експлуатаційної витрати палива при плановій роботі міських автобусів. Запропоновано методичний підхід до оцінки ефективності роботи водіїв та автобусів з паливної економічності.

Додаток Б (обов'язковий)



ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА  
НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

# ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Вдосконалення методики визначення експлуатаційних норм витрати палива міських автобусів комунального підприємства «Вінницька транспортна компанія» місто Вінниця

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

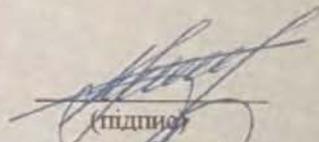
Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 11,5 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

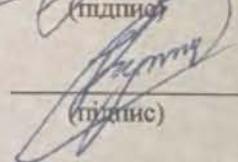
- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Цимбал С.В., завідувач кафедри АТМ  
(прізвище, ініціали, посада)

  
(підпис)

Кужель В.П., доцент кафедри АТМ  
(прізвище, ініціали, посада)

  
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

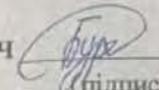
  
(підпис)

Цимбал О.В.  
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник   
(підпис)

Галушак О.О., доцент кафедри АТМ  
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач   
(підпис)

Бурченко В.О.  
(прізвище, ініціали)