

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,  
мехатроніки і робототехніки  
Кафедра автомобілів і транспортних технологій

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи  
освітнього ступеня  
магістр

Галузь знань 27 – «Транспорт»  
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

на тему: «Оцінка енергоефективності громадського транспорту на  
автобусному маршруті 126 в місті Житомирі»

Виконав: студент групи ААГ – 20М



Сергій ШЕВЕЛЬКОВ

Керівник:

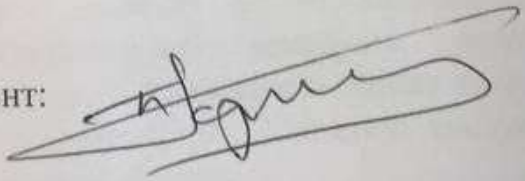


Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Завідувач кафедри:

Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент:



Олександр Кравченко

Житомир – 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра: автомобілів і транспортних технологій

Освітній ступінь: «магістр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 – Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А і ТТ  
Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

« 20 » 10 2023р.

### ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня магістр  
Шевельков Сергій Андрійович

**1.Тема роботи:** «Оцінка енергоефективності громадського транспорту на автобусному маршруті 126 в місті Житомирі» затверджена наказом вищого навчального закладу від «11» листопада 2020 року № 400-С

**Керівник роботи:** к.т.н., Шумляківський В.П.

**2. Строк подання студентом завершеної роботи** 01.12.2020 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** дані з публікацій щодо розрахунку енерговитрат автобусів в різних режимах руху, результати дослідження пасажиропотоків, що рухаються по маршруту №126 м. Житомира, передовий досвід визначення енергоефективності автобуса на основі наукових літературних джерел.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):** 1.Постановка та дослідження проблеми енергоефективності автомобільного транспорту. 2.Основні заходи та засоби оцінки енергоефективності автомобільного транспорту. 3.Вибір методики оцінки енергоефективності автобусів, розробка алгоритму експериментального дослідження. 4.Аналітична оцінка енергоефективності автобусів які рухаються за маршрутом №126. Загальні висновки та практичні рекомендації. Список використаних джерел.

**5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) – 15 слайдів.**

Дата видачі завдання « 10 » 09 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської роботи                                                                  | Строк виконання етапів | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|
| 1.    | Дослідження літературних джерел та робіт за проблемою енергоефективності автомобільного транспорту | 17.09.2023             | виконав  |
| 2.    | Постановка та дослідження проблеми енергоефективності автомобільного транспорту                    | 24.09.2023             | виконав  |
| 3.    | Основні заходи та засоби оцінки енергоефективності автомобільного транспорту                       | 08.10.2023             | виконав  |
| 4.    | Вибір методики для дослідження енергоефективності автобусів                                        | 22.10.2023             | виконав  |
| 5.    | Аналітична оцінка енергоефективності автобусів на маршруті №126 в місті Житомирі.                  | 05.11.2023             | виконав  |
| 6.    | Аналіз аналітичних розрахунків енергоефективності автобусів                                        | 19.11.2023             | виконав  |
| 7.    | Оформлення пояснювальної записки                                                                   | 26.11.2023             | виконав  |
| 8.    | Рецензування                                                                                       | 01.12.2023             | виконав  |
| 9.    | Попередній захист                                                                                  | 04.12.2023             | виконав  |
| 10.   | Захист                                                                                             | 11.12-31.12            | виконав  |

2023

Студент



Сергій ШЕВЕЛЬКОВ

Керівник роботи



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

## РЕФЕРАТ

Шевелькова С.А. на тему «Оцінка енергоефективності громадського транспорту на автобусному маршруті 126 в місті Житомирі», спеціальність 274 «Автомобільний транспорт», м. Житомир, 2023 рік

Кваліфікаційна магістерська робота на тему: «Оцінка енергоефективності громадського транспорту на автобусному маршруті 126 в місті Житомирі» містить 76 сторінок, 8 таблиць, 16 рисунків. Перелік посилань нараховує 31 найменування.

*Метою дослідження* є розгляд теоретичних положень та розробка методики збору та аналізу даних про енергоефективність міських пасажирських автобусних перевезень для подальшої оцінки якості енергоефективності окремих моделей автобусів.

*Об'єктом дослідження* є рівень енергоефективності автобусів під час перевезення пасажирів на міських автобусних маршрутах.

*Предметом дослідження* є показники оцінки енергоефективності автобусів для кращого вибору моделі для конкретного маршруту.

*Методи дослідження.* У роботі застосовувалися такі методи досліджень як статистичний аналіз, порівняльний та графічний аналіз, систематизації та узагальнення.

*Результати роботи.* Були розглянуті теоретичні положення й розроблена методика збору та аналізу даних про енергоефективність автобусів що дозволяє обрати найкращу модель для конкретного маршруту.

*Рекомендації щодо використання результатів роботи.* Досліджена в роботі методика розрахунку енергоефективності автобусів надає змогу краще підбирати автобус орієнтуючись пасажиропотоками. Використання даного методу дозволить в подальшому досягти більш енергоефективного використання автомобільного парку.

## ABSTRACT

S. A. Shevelkov on the topic "Assessment of the energy efficiency of public transport on bus route 126 in the city of Zhytomyr", specialty 274 "Automotive transport", city of Zhytomyr, 2023

The qualifying master's thesis on the topic: "Assessment of the energy efficiency of public transport on bus route 126 in the city of Zhytomyr" contains 75 pages, 8 tables, 16 figures. The list of links includes 31 titles.

The purpose of the study is to consider theoretical provisions and develop a methodology for collecting and analyzing data on the energy efficiency of urban passenger bus transportation for further assessment of the quality of energy efficiency of individual bus models.

The object of the study is the level of energy efficiency of buses during the transportation of passengers on city bus routes.

The subject of the study is the energy efficiency assessment indicators of buses for the better choice of a model for a specific route.

Research methods. Research methods such as statistical analysis, comparative and graphic analysis, systematization and generalization were used in the work.

Work results. Theoretical provisions were considered and a method of collecting and analyzing data on the energy efficiency of buses was developed, which allows choosing the best model for a specific route.

Recommendations on the use of work results. The method of calculating the energy efficiency of buses studied in the work makes it possible to better select a bus based on passenger flows. The use of this method will allow to achieve a more energy-efficient use of the car fleet in the future.

|                                                                                                                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                                                                                                                 | <b>8</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1_АНАЛІЗ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У СФЕРІ ТРАНСПОРТУ.....</b>                                                                        | <b>11</b> |
| 1.1 Підвищення енергоефективності у сфері транспорту.....                                                                                                                                         | 11        |
| 1.2 Як вимірювати енергоефективність транспорту.....                                                                                                                                              | 16        |
| 1.3 Основні напрямки розвитку автобусних перевезень .....                                                                                                                                         | 18        |
| 1.4 Оцінка ефективності транспортного парку та технологічних рішень у сфері міських автобусних перевезень .....                                                                                   | 21        |
| 1.5 Основні передумови для створення методу підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень .....                                                           | 26        |
| 1.6 Задачі досліджень .....                                                                                                                                                                       | 27        |
| Висновки до розділу 1 .....                                                                                                                                                                       | 28        |
| <b>РОЗДІЛ 2_АДАПТАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕСТОВОГО АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ....</b>                                              | <b>30</b> |
| 2.1 Підвищення транспортної енергоефективності перевезень, враховуючи зміни в технічних, експлуатаційних та дорожніх факторах перевезень. ....                                                    | 30        |
| 2.2 Математичні моделі показників транспортної енергоефективності автобуса.....                                                                                                                   | 31        |
| 2.3 Математичні моделі показників транспортної енергетичної ефективності автобуса і перевезень .....                                                                                              | 37        |
| 2.4 Математична модель показника транспортно-технологічної якості автобуса.....                                                                                                                   | 39        |
| Висновки до розділу 2 .....                                                                                                                                                                       | 45        |
| <b>РОЗДІЛ 3_ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА МАРШРУТІ 126 МІСТА ЖИТОМИР.....</b>                                                                     | <b>46</b> |
| 3.1 Планування та постановка завдань експерименту з оцінювання енергоефективності автобусів.....                                                                                                  | 46        |
| 3.2 Методика параметричного аналізу впливу різних факторів на показники якості автобуса.....                                                                                                      | 49        |
| 3.3 Аналіз впливу технічних і експлуатаційних факторів на показники енергоефективності автобусів і пасажирські перевезення на основі результатів моделювання на міських автобусних маршрутах..... | 50        |
| 3.4 Аналіз впливу конструктивних параметрів автобуса на його транспортну енергетичну ефективність.....                                                                                            | 53        |
| 3.5 Розрахунок показника результативності технологічного впливу АТЗ при розгоні $TB_p(S)$ для першої передачі .....                                                                               | 58        |
| 3.6 Аналіз результатів обстеження пасажиропотоків .....                                                                                                                                           | 66        |
| Висновки до розділу 3 .....                                                                                                                                                                       | 70        |
| <b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>                                                                                                                                                                     | <b>71</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>                                                                                                                                                           | <b>73</b> |

## ВСТУП

Зі зростанням попиту на енергію, яка необхідна у сфері транспорту країнам, що розвиваються, і економікам, що зростають та високі темпи приросту населення та урбанізації ведуть до стрімкого розширення потреби у транспортуванні, а середній клас, що утворюється, прагне використовувати приватні авто- транспортні засоби, які збільшують витрату палива. Тому завдання щодо створення ефективної транспортної системи, що задовольняє попит, але споживає якнайменше енергії, більше не є розкішшю, а стає потребою. Це важливий аспект, адже оперативне та безпечне транспортування людей і товарів є можливістю для економічного зростання.

Автомобільний транспорт займає в Україні провідне місце не тільки в економіці, але і в соціальній сфері, з огляду на його природне призначення: він є єдиним видом транспорту який доставляє пасажирів та вантажі і може функціонувати незалежно від інших видів транспорту. В цілому провізні спроможності автотранспорту повною мірою повинні відповідати потребам народного господарства і населення та сприяти розвитку економіки країни.

Пасажирський автомобільний транспорт це один з основних і найбільш розповсюджених видів пасажирського транспорту нашої країни. Він широко обслуговує транспортні потреби міського та сільського населення, забезпечує масові та індивідуальні перевезення пасажирів парком автобусів і легкових автомобілів, який щороку зростає.

Серед усіх видів пасажирського транспорту перевагу має автобусний транспорт, який є найбільш масовим. Задовольняючи потреби населення у перевезеннях, автобусний транспорт впливає на рівень продуктивності праці та побутового обслуговування, розвиток культури і дозвілля. В зв'язку з цим і удосконалення міських, приміських пасажирських перевезень має важливе соціальне значення. Незадовільне функціонування транспорту суттєво

відображається на економіці країни, тобто на роботі підприємств, установ, магазинів, шкіл, а також житті громадян. Сьогодні потреба населення в перевезеннях задовольняється не повністю: великі витрати часу пасажирів на переміщення, необхідне підвищення комфортності поїздок і розв'язання першочергових проблем технічного та технологічного забезпечення приміського транспорту. Час очікування, вартість проїзду, викликають нарікання у мешканців міст та сіл. Автобусний транспорт забезпечує більше 63% загального обсягу перевезень всіх видів пасажирського транспорту. Пасажирообіг складає близько 68% загального пасажирообігу. Пасажирські перевезення виконуються автобусами загального користування і відомчої приналежності.

Вирішення багатьох транспортних завдань залежить від ефективності автобусної мережі, адже сукупність маршрутів пасажирських перевезень на транспортній мережі пов'язана територіально і в часі. Створення матеріальної мережі або вдосконалення діючої являє собою одну з важливих проблем в організації пасажирських перевезень тому, що від рівня її формування значною мірою залежить ефективність використання транспортних засобів та якість транспортного обслуговування.

Основні положення розвитку пасажирських перевезень викладені в Концепції розвитку транспортного комплексу України. На підставі Концепції розробляються регіональні програми розвитку автомобільного транспорту загального користування

Основними завданнями регіональних програм розвитку автомобільного транспорту загального користування є обґрунтовані та заплановані показники якості транспортного обслуговування, безпеки перевезень населення на визначений період та заходи щодо їх реалізації з урахуванням умов соціально-економічного розвитку України.

Актуальність Концепції зумовлена необхідністю додержання відповідних термінів та пропозицій розвитку національної транспортної системи, захисту економічних інтересів України та законних інтересів підприємств транспорту та

споживачів транспортної продукції, забезпечення рівних умов для розвитку господарської діяльності підприємств транспорту, створення умов для безпечного функціонування транспорту, обмеження монополізму та розвитку Концепції.

Концепція ґрунтується на визначенні пріоритетного розвитку пасажирських перевезень, державній підтримці цієї галузі, а також забезпеченні державного управління діяльністю цієї сфери, що здійснюється шляхом проведення та реалізації економічної (податкової, фінансово-кредитної, тарифної, інвестиційної) та соціальної політики, включаючи надання дотацій на пасажирські перевезення.

## РОЗДІЛ 1

# АНАЛІЗ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У СФЕРІ ТРАНСПОРТУ

### 1.1 Підвищення енергоефективності у сфері транспорту

Енергоефективний транспорт має колосальний потенціал скорочення попиту як на нафту, так і на енергію в цілому. За оцінками ІЕА [1], передові технології та альтернативні види палива (напр., гібридні транспортні засоби, електричні транспортні засоби та транспортні засоби на паливних елементах) можуть зменшити енергоємність транспорту на величину від 20 до 40 % до 2050 року порівняно з його вихідним варіантом. Такі досягнення могли б наполовину зменшити потребу у викопних видах палива. Але навіть якщо енергоємність буде скорочено, то сумарний попит на енергію, найімовірніше, збільшиться і перевищить поточні рівні через сумарне збільшення попиту послуги транспорту і автотранспортні засоби. Для скорочення майбутнього попиту нижче вже наявних нині рівнів, нам необхідно не лише перейти на більш ефективні види транспорту, а й зменшити сукупний попит його пересування з розрахунку на душу населення.

Енергоефективний транспорт потребує стимулювання на трьох різних рівнях. Існує потенціал для досягнення більшої енергоефективності транспортних засобів особистого користування (ефективність транспортного засобу) та поїздок (ефективність подорожей), а також усієї транспортної системи (ефективність системи).

Відповідно до цих трьох рівнів енергоефективності на транспорті є три основні стратегії підвищення енергоефективності:

- Запобігання збільшеним обсягам транспортування та скорочення поточного попиту на транспорт;
- Переорієнтація попиту більш ефективні види транспорту;
- Удосконалення використовуваних транспортних засобів та видів

палива.

Кожна зі стратегій звертається до різних рівнів енергоефективності: уникнення/скорочення попиту на транспорт підвищує ефективність системи, переорієнтування попиту – ефективність пересування, а вдосконалення транспортних засобів та видів палива підвищить ефективність транспортного засобу.

Сумарна енергоефективність міської транспортної системи є наслідком експлуатаційних характеристик на всіх трьох рівнях (рис. 1.1):



Рис. 1.1 – Система енергоефективності [2].

### ***Ефективність системи – стратегія уникнення/скорочення***

Ефективність системи обумовлена тим, як генерується попит на транспорт, і навіть різні способи пересування. Дослідження показали, що попит на транспорт піддається впливу з боку інфраструктури та міських структур. Витрата енергії на душу населення зростає пропорційно в міру падіння міської густини []. Скорочення обсягу руху є вирішальний аспект у справі забезпечення енергоефективності транспорту. Тому при плануванні землекористування має

оптимізуватися розміщення поселень та виробничих структур для запобігання руху або скорочення відстаней, на які здійснюються поїздки. Щільна міська структура з використанням змішаного типу перевезень має істотне значення для забезпечення високої ефективності системи, адже вона відрізняється більш короткими відстанями, на які здійснюються поїздки, а також перехід з автодорожнього транспорту (що займає величезні площі) на інші, найбільш ефективні методи пересування, наприклад ходьбу пішки, їзду велосипедом, громадським транспортом. Передумови ефективності системи включають як ущільнену міську систему, а й належне управління попитом на транспорт і наявність відповідної мережі громадського транспорту.

Вантажний транспорт також має користь із щільних міських структур, які мають короткі відстані. Поєднання житлових та торгових районів скорочує шляхи перевезення товарів для індивідуального споживання. Проте суть полягає в тому, щоб забезпечити наявність достатнього місця та високоякісної інфраструктури для сучасної промисловості. Одне з можливих рішень полягає у розміщенні щільної заміської промислової зони неподалік центру комплектування вантажів. Що дало б змогу зосередитись на потоках вантажних перевезень від відправних точок до місць призначення. При цьому забезпечується організація вихідних та вантажів, що надходять, а також можливість підвищення ефективності вантажного транспорту. Крім того, об'єднання в комплекс окремих поставок, що йдуть у центр міста, зводить до мінімуму забруднення та шум.

### ***Ефективність подорожей – стратегія переорієнтації***

Ефективність подорожей пов'язана з витратою енергії, що виникає від різних способів пересування. Основними параметрами ефективності подорожей є відносні переважання різних видів транспорту (розподіл за видами транспорту) та коефіцієнти завантаження транспортних засобів. Питома витрата енергії на пасажиро-кілометр або на тонно-кілометр варіює у різних способів пересування (рис. 1.2). Ефективний шлях підвищення енергоефективності – це стимулювання пасажирів або перевізників для

використання більш ефективних форм транспорту, наприклад, громадського та немоторизованого тощо.

Як правило, пересування автотранспортними засобами особистого користування менш енергоефективне, ніж громадський транспорт. Інші важливі альтернативні варіанти включають також немоторизовані види транспорту, які взагалі не потребують палива. Витрата енергії на душу населення більшою мірою залежить від зайнятості транспортних засобів, що використовуються.

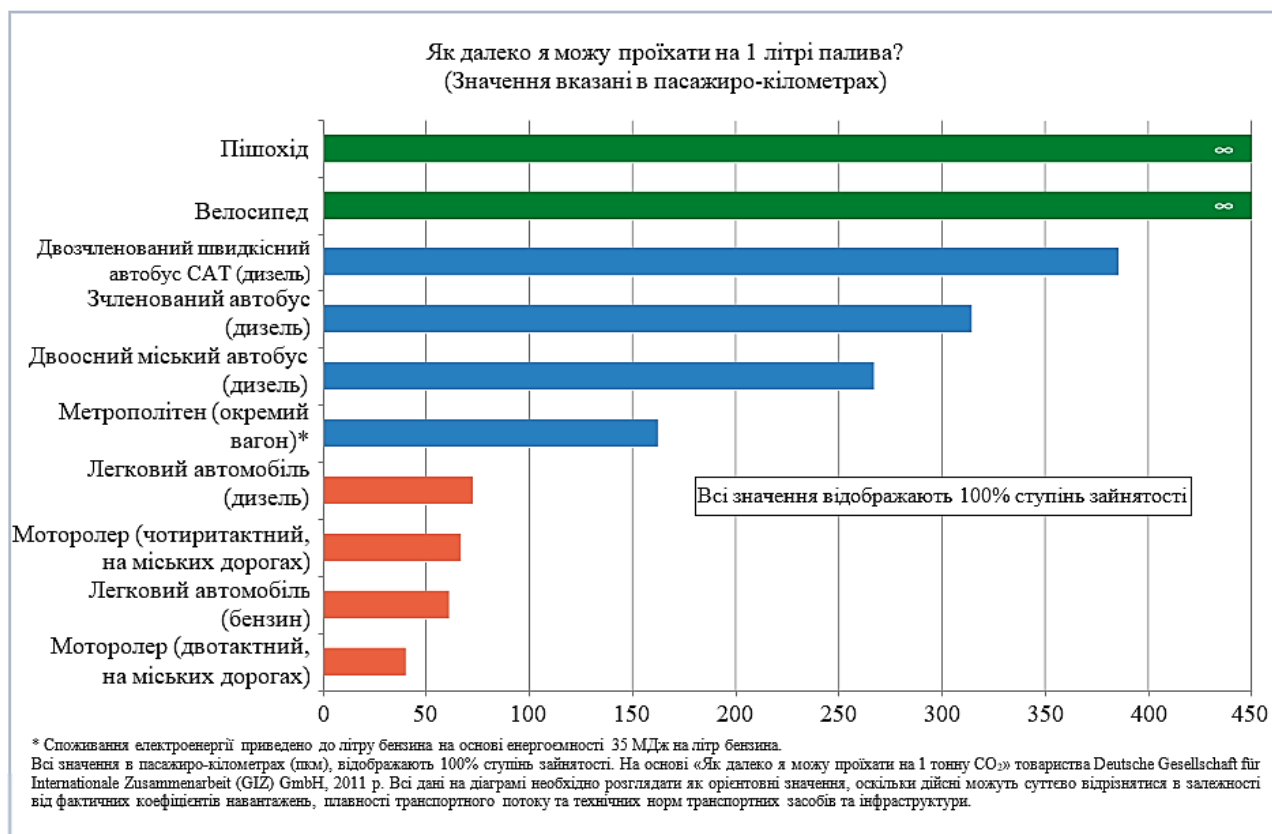


Рис. 1.2 – Енергоефективність для різноманітних видів міського транспорту [2].

Необхідно скоротити пересування населення з використанням автотранспортних засобів особистого користування та водночас збільшити питому вагу немоторизованого та громадського транспорту, особливо у міських районах, де більшість пересування здійснюється на відстані менше ніж п'ять кілометрів. Потрібно реалізувати цілу низку заходів для того, щоб зацікавити громадян долати такі відстані на велосипеді або пішки, уникаючи таким чином непотрібної витрати палива. Для більш тривалих поїздок громадський транспорт забезпечує альтернативу автомобілю. Збільшення частки

громадського транспорту приведе до підвищеного ступеня зайнятості автобусів та поїздів, що сприятиме подальшому підвищенню їхньої енергоефективності.

Поряд із пасажирським транспортом, енергоефективність необхідно також підвищити і у вантажному транспорті. Залізничні вантажні перевезення відрізняються особливою енергоефективністю через високий коефіцієнт завантаження; однак у них, на жаль, обмежена гнучкість. Продумана логістична мережа, включаючи мультимодальні логістичні центри (залізниця/автомобільна дорога або порт/автомобільна дорога) можуть допомогти у справі переходу вантажних перевезень на більш ефективні види транспорту.

### ***Ефективність транспортного засобу – стратегія вдосконалення***

Скорочення витрати палива транспортними засобами з розрахунку на кілометр пробігу збільшує їхню ефективність. Цього можна досягти удосконаленням технологій та конструкції, а також за рахунок ефективної техніки водіння. Ці заходи можна поєднати у вигляді трьох категорій:

- Удосконалення існуючих транспортних засобів;
- Нові концепції палива;
- Розробка нових концепцій для автомобілів.

Стратегія вдосконалення важлива не лише для приватних автомобілів, а й для вантажного та громадського транспорту. Специфічні заходи для пасажирських автомобілів включають використання легковагих матеріалів, зменшення розмірів (скорочення ваго-габаритних параметрів двигуна та розмірів автомобіля), а також використання гібридних двигунів. Поєднання таких заходів значно скорочує витрати енергії порівняно із середньою легковою машиною. Порівняння різних автомобілів з однаковими параметрами, в яких витрата може варіювати в діапазоні до 20 %, наголошує на потенційних перевагах технологій транспортних засобів.

Такі вдосконалення технології здебільшого належать до завдань виробників транспортних засобів та науково-дослідних інститутів. Проте, законодавство та податкові заходи можуть послужити важливими рушійними силами технологічного прогресу. Місцеві та національні адміністративні органи

можуть підтримати поширення ефективних технологій на ринку, задавати нормативи, посилювати розуміння проблем, а також стимулювати споживачів купувати більш енергоефективні транспортні засоби. Місцеві визначення досягнутої економії енергії необхідно користуватись деякими індикаторами, які сукупно описують експлуатаційні характеристики транспортної системи на всіх трьох рівнях ефективності [2].

## **1.2 Як вимірювати енергоефективність транспорту**

Особливо важливо контролювати вплив з боку політичних ініціатив щодо забезпечення економії відповідних джерел енергії так, щоб за потреби можна було вжити коригуючих заходів. Для виміру успіху стратегій з енергоефективності та для кількісного визначення досягнутої економії енергії необхідно користуватись деякими індикаторами, які сукупно описують експлуатаційні характеристики транспортної системи на всіх трьох рівнях ефективності.

Якщо індикатори піддаватися безперервній оцінці, то можливо здійснити моніторинг довгострокового розвитку транспортної системи. Більшість індикаторів ґрунтуються на місцевій статистиці або потребують досліджування ситуацій з пасажирями, домашніх господарств. Наявність обмежених даних часто заважає належному плануванню або адекватній оцінці заходів щодо забезпечення енергоефективності.

### **1. Ефективність системи**

Обсяг руху, що генерується, та ефективність системи міста тісно взаємопов'язані, адже вплив на обсяги пересування має не лише міська структура, а й економічні, культурні чи поведінкові фактори. Тим не менш, рішення в галузі планування мають значний вплив на обсяг руху та на ефективність системи.

- Оскільки витрата енергії безпосередньо пов'язана з обсягом руху, то ключовим індикатором для оцінки ефективності системи є річна кількість

пасажиро-кілометрів на душу населення. Цей показник підраховується за рахунок розподілу загальної пройденої відстані за цей період на кількість людей, які здійснили поїздки. Наприклад, 2006 р. Німеччина набрала приблизно 15 000 км на душу населення у вигляді міських, міжміських та сільських поїздок, а в Китаї ця цифра становила лише 2 400 км на душу населення [3].

- Іншим індикатором ефективності системи є міська щільність населення (людина/км<sup>2</sup>), яка може виявити структурні причини для різних об'ємів руху.

- Можливий третій індикатор – використання пасажирями енергії на транспорті з розрахунку на душу населення (МДж/люд.). Тут підсумовуються різні виміри міської енергоефективності.

## 2. Ефективність пересування

Ефективність пересування, головним чином, залежить від частки енергоефективних способів пересування, що використовуються. Крім цього, також важливо знати енергоємність кожного виду транспорту, що використовується, що залежить як від ефективності транспортного засобу, так і від ступеня його зайнятості.

- Питома вага кожного виду транспорту в сумарній кількості здійснених поїздок, а також відповідну кількість перевезених пасажиро-км або тонно-км можуть використовуватись як індикатори ефективності пересування.

- Також необхідно врахувати використання енергії на пасажиро-км (МДж/пкм) або тонну-км (МДж/ткм) кожного виду транспорту.

- Насамкінець зазначимо, що критичним аспектом ефективності пересування є ступінь зайнятості транспортного засобу. (Вона вже враховується у зв'язку з використанням енергії на пкм/ткм, але часто доцільно проводити й окремий аналіз.)

## 3. Ефективність транспортного засобу

На відміну від ефективності пересування, що вимірюється за допомогою пасажиро-км або тонн-км, ефективність транспортного засобу оцінюється з використанням кілометрів, що пройшли транспортним засобом, на одиницю витраченої енергії. Ефективність транспортного засобу є важливою як для

автотранспортних засобів особистого користування, так і для громадського транспорту.

- Вимір витрат палива або витрати енергії на пройдений транспортним засобом кілометр (МДж/км) представляє простий метод моніторингу ефективності транспортного засобу. Оскільки з цим пов'язані витрати палива та викиди  $\text{CO}_2$ , то іншим шляхом проведення оцінки ефективності транспортного засобу є замір викидів  $\text{CO}_2$  на пройдений транспортним засобом кілометр ( $\text{г CO}_2/\text{км}$ ). Однак важливо врахувати, що не всі види палива вирізняються однаковими параметрами віддачі енергії.

- На сумарну ефективність транспортних засобів міста також впливає середній термін служби парку автомобілів.

### **1.3 Основні напрямки розвитку автобусних перевезень**

Високо наукові та складні завдання, пов'язані з підвищенням енергоефективності автобусних перевезень та раціональним використанням нових автобусів, на вивченні та аналізі концептуального розвитку транспортних технологій та автобусного парку.

Концепція економії енергії та ресурсів у сфері автотранспорту для забезпечення його модернізаційного та технологічного розвитку включає наступні складові:

- а) Перегляд автотранспорту як області матеріального виробництва з інноваційним підходом до технологічних процесів перевезення.

- б) Впровадження нових наукових ідей, принципів та методів, спрямованих на вирішення складних завдань збереження енергії та ресурсів під час планування перевезень, експлуатації автобусів і організації пасажирських перевезень [4, 5, 6, 10].

У той час як нетехнологічні адміністративні методи економії енергії та ресурсів, такі як зниження норм витрат палива, збільшення терміну служби автобусів шляхом зміни їх компонентів під час ремонту, а також купівля

застарілих і фізично виснажених автобусів, фактично призводять до збереження технологічного рівня перевезень. Ці методи не вимагають глибокого аналізу і наукового підходу, і не дають можливості вирішувати довгострокові та складні завдання збереження енергії та ресурсів в системі автотранспорту, яка включає в себе експлуатацію автобусів і організацію перевезень пасажирів.

Методи, які застосовуються в існуючій теорії транспортного процесу [7], не враховують змін в технічних характеристиках автобусів з плином часу та коливання дорожніх і експлуатаційних умов на маршрутах. Розрахункова схема цих теорій автобусних перевезень базується на моделюванні автобуса як найпростішого транспортного засобу, не враховуючи його адаптивну та енергоефективну роботу. Проблемою є той факт, що в математичних моделях продуктивності автобуса і витрат на перевезення [8, 9] розглядають лише кілька його характеристик, які стосуються лише базових транспортних аспектів, такі як пасажиромісткість, балансова вартість і незмінні технічні стандарти, і не враховують адаптивний і енергоефективний характер функціонування транспортних засобів.

Головною метою розробки концепції модернізації автобусів з врахуванням їх технічної новизни є комплексне підвищення якості використання енергетичних ресурсів у сфері автобусних перевезень з урахуванням змінних факторів експлуатації [10]. Інноваційність запропонованого підходу полягає в тому, що автобус розглядається як науково-технічний продукт, а також як основний носій технічних ресурсів автотранспорту. Автобус розглядається як складний енергоперетворюючий механізм, небезпечний об'єкт управління рухом та інструмент впливу на технологічні процеси. Ці характеристики впливають на показники транспортної енергоефективності автотранспортних засобів у складний та різноманітний спосіб.

Основна ідея довгострокової економії енергії під час експлуатації автобусів, розгляданих як технічно складні транспортні засоби, полягає в

реалізації двох ключових принципів для поліпшення транспортного процесу:

1. Модернізаційно-технологічне обґрунтування автобусів з врахуванням їх технічної новизни: Цей принцип передбачає поступове впровадження нових технічних та технологічних рішень у кожній новій моделі автобуса. Важливо, щоб ці рішення були обґрунтовані як з технічного, так і з економічного погляду.

2. Технологічна адаптація автобусів до умов міських маршрутів з врахуванням максимізації показника транспортної енергоефективності: Цей принцип передбачає врахування умов і параметрів міських маршрутів при проектуванні та експлуатації автобусів з метою досягнення максимального рівня енергоефективності.

Цей підхід є етапним, оскільки нові технічні та технологічні рішення впроваджуються поетапно в нових моделях автобусів, і вони повинні бути обґрунтовані з технічних та економічних поглядів. Поетапно-модернізаційне підвищення транспортної енергоефективності автобусів призводить до постійного підвищення їх конкурентоспроможності на ринку міських пасажирських автобусних перевезень.

Для оцінки транспортної енергоефективності обґрунтованого автобуса вважається, що необхідно провести імітаційне моделювання впливу різних факторів на економію енергії та ресурсів під час його адаптивного функціонування та експлуатації на маршрутах. У математичних моделях, які використовуються для аналізу результативності інновацій, автобуси представляють собою альтернативні варіанти конструкційних параметрів транспортних засобів. Для врахування цієї вимоги в кожному варіанті вихідних даних та параметрах експлуатації створюється набір конкуруючих моделей автобусів, який представлений як послідовність змінних станів структурно-параметричної організації конструкції автобуса. При цьому кожна модель автобуса визначається набором технічних параметрів та функціональних характеристик, які описують роботу енергоефективного і пасажиронесучого обладнання автобуса. Ця сукупність представляє собою повну та належну

інформацію для опису та аналізу технологічно адаптованих робочих процесів автобуса, які відбуваються під час його руху на дорозі.

Для досягнення бажаного рівня енергоефективності автобуса необхідно здійснити відповідний вибір структурно-параметричної організації конструкції автобуса. Це означає, що необхідно визначити характеристики структури та параметри конструкції автобуса так, щоб вони сприяли вирішенню трьох основних завдань розвитку:

- Підвищення транспортної енерговіддачі автобуса під час типової міської тестової операції його руху.
- Зростання енергоресурсної транспортної ефективності автобуса у розрахунковому перевізному циклі.
- Збільшення показників енергоеквівалентної ефективності перевезень.

Це означає, що параметри конструкції автобуса повинні бути оптимізовані таким чином, щоб досягти більш високої продуктивності та енергоефективності під час його руху в міських умовах та у розрахунковому перевізному циклі, а також забезпечити ефективність використання енергії під час перевезень.

Оскільки збереження енергії є процесом, який відбувається безперервно та дискретно, перевізникам потрібна науково обґрунтована та універсальна методика вибору автобуса. Тому методика вибору ґрунтується на принципах експлуатаційно-технологічного енергозбереження, яка дозволяє вибирати оптимальний автобус для конкретних умов експлуатації та відповідає Національній транспортній стратегії України [11].

#### **1.4 Оцінка ефективності транспортного парку та технологічних рішень у сфері міських автобусних перевезень**

У існуючих методиках обґрунтування автобусів, які були пропоновані різними авторами, використані критерії розв'язують завдання соціального та етичного маркетингу, а також в окремих випадках частково розглядають

технічні та експлуатаційні аспекти. Проте вони не розглядають питання енергоефективності, оскільки базуються на неефективних розрахункових схемах перевезень пасажирів (рис. 1.3). Ці схеми є технологічно відсталими і не можуть вирішити завдання обґрунтування автобуса відповідно до концепції модернізаційно-технологічного розвитку. Вони не визначають сутність та структуру технологічних дій автобуса на дорозі та відносно загальної маси пасажирів, що реалізуються через умовну та віртуальну міграцію автобуса від однієї зупинки до наступної, тоді як носії технічних ресурсів транспорту (автобуси) не мають конструктивно-технічних та експлуатаційно-технологічних характеристик.

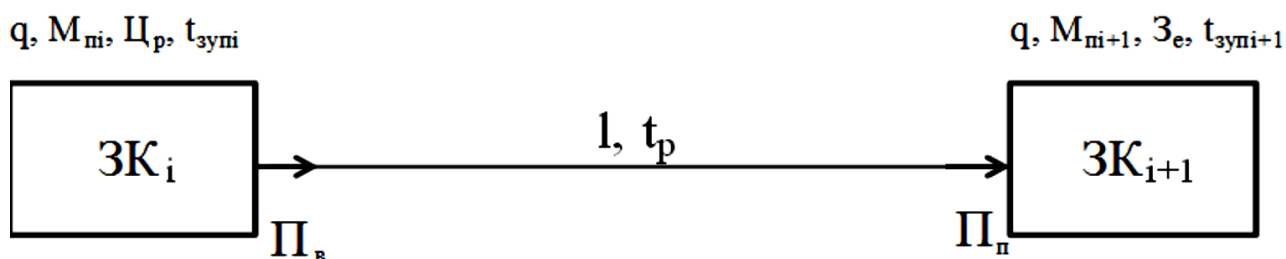


Рис. 1.3 – Існуюча організаційна схема формалізації процесу переміщення пасажирів на основі представлення віртуального транспортування пасажирів, де  $ЗК_i$  – пасажирський термінал (зупинка);  $q$  – пасажиромісткість автобусів;  $M_{п}$  – маса пасажирів;  $Ц_p$  – ціна ресурсів;  $t_{зуп}$  – час зупинки;  $П_в, П_п$  – подія відправлення і прибуття;  $З_e$  – витрати на ресурси;  $l$  – відстань між зупинками;  $t_p$  – час руху між зупинками.

Ці схеми не враховують такі важливі аспекти, як технологічні процеси та процедури, змінність конструктивних параметрів нових транспортних засобів, процеси перетворення енергії та ресурсів, а також умови адаптивного функціонування автобуса під час нерівномірного руху. Ці фактори значно впливають на технологічний рівень автобуса. Схеми також не враховують послідовність руху автобуса в їздовому циклі, де відбувається споживання енергії. Вони лише фіксують час відправлення та прибуття автобуса на зупинках і середню технічну швидкість. Таким чином, за допомогою цих схем неможливо оцінити споживчу енергозберігаючу якість автобуса в процесі експлуатації. Натуральний рух автобуса в транспортному процесі також не

може бути адекватно розрахований, оскільки саме під час руху автобуса відбувається споживання енергії та реалізація матеріально-речової бази конструктивно-технічних та транспортних факторів [12]. Отже, віртуальна схема транспортування створює модель оцінки ефективності використання автобуса, не враховуючи його технологічних характеристик. Це призводить до необхідності розробки енерготехнологічної моделі транспортування автобуса, яка базується на відображенні матеріально-речової сутності конструктивно-технічних факторів.

У теорії автомобіля існують механізми для технічної оцінки автобуса, проте вона не включає завдання оптимізації робочих процесів та конструкції транспортного засобу (ТЗ) з урахуванням вимог підвищення транспортної енергоефективності автобуса (ТЕЕА). Аналіз конструкції автобуса, розгляданого як товар для вирішення конкретних завдань перевезення та задоволення потреб перевізника (споживача), не може бути виконаним, оскільки об'єктом дослідження є автобус як технічний засіб. Для цього його необхідно розглядати як науково-технічний товар із властивостями автотранспорту з погляду енергозбереження, який представляє собою складний технічний засіб, небезпечний об'єкт управління рухом, споживач енергії, об'єкт технічного обслуговування, який морально та матеріально зношується під час експлуатації.

Оцінка конструкції автобусів, проведена на основі розрахункових схем сталого руху, що використовуються в теорії автомобіля, не може надати необхідну інформацію щодо енергоефективності автобуса при руху на режимах нерівномірного та переривчастого руху, які реалізуються при перевезеннях. Слід встановити причинно-наслідковий зв'язок між технічними характеристиками автобуса та його ефективністю в транспортному процесі. Багато показників експлуатаційної якості не дозволяють оптимізувати конструктивне вдосконалення автобуса.

В роботах Хабутдінова Р. А. [5, 10, 13] представлена теорія енергоресурсної ефективності автомобілів, в якій автомобіль розглядається як

багатофункціональний транспортний засіб, який виконує різноманітні функції, такі як енергоперетворення, керування рухом та вплив на технологічні процеси. Розрахункові схеми, запропоновані в цих роботах, дозволяють розробити комплексні методики для підвищення енергоефективності транспортних засобів загального призначення на основі математичних моделей енергетичної ефективності автомобіля в тестовій експлуатації. Також в цих роботах висвітлено ідеї, розрахункові схеми та моделі для оцінки енергетичної ефективності автомобіля за допомогою еталонно-порівняльного методу в аналізі тестових операцій [13]. Роботи автора [5, 10] закладають основи для розуміння енергоресурсної ефективності транспорту загального призначення, проте питання підвищення енергоефективності міських автобусних перевезень не було докладно розглянуто.

Одним з ключових викликів у проведенні конкурсу на отримання права надавати послуги з перевезення пасажирів на міських автобусних маршрутах є обґрунтування вибору автобусів, які відповідали б технічним, технологічним і експлуатаційним критеріям, а також відповідали б цілям і завданням комплексної програми розвитку транспортного комплексу.

Згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку проведення конкурсу на перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування» [14], однією з основних цілей цього конкурсу є впровадження стратегічних напрямків розвитку автомобільного транспорту. З урахуванням також Закону України «Про автомобільний транспорт» [15], де визначено, що держава має регулювати та контролювати раціональне використання енергетичних ресурсів, стає необхідною інноваційна оцінка енергоефективності автобусів, які обираються для маршрутів.

На основі аналізу методики конкурсного відбору перевізників для маршрутів загального користування [16, 17] було виявлено, що ця методика не враховує вищезазначені вимоги та положення. Методи, що використовуються в цьому конкурсі, базуються на теорії сталого руху для аналізу потенційних можливостей автобусів. Однак ця теорія не повністю враховує транспортну

енергоперетворюючу функцію автобусів, не описує умови їх експлуатації та не розглядає їх як носіїв технічних ресурсів транспорту. Внаслідок цього, є важливою необхідність у покращенні конкурсу для вибору перевізників для автобусних маршрутів загального користування, спрямованого на сприяння впровадженню енергозберігаючих транспортних технологій.

### **1.5 Основні передумови для створення методу підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень**

Подальший розвиток міських пасажирських автобусних перевезень обумовлений необхідністю впровадження новітніх технічних та технологічних інновацій, які відповідають ідеї комплексного енергозбереження та ресурсозбереження на транспорті [4, 5, 10]. Перевізники також повинні спрямовувати свої зусилля на довгострокову модернізацію і технологічне вдосконалення автобусів та техніки, що використовується в міських пасажирських автобусних перевезеннях. Це сприятиме збільшенню конкурентоспроможності перевізників серед інших учасників системи пасажирських перевезень. Таким чином, для обґрунтування модернізації автобусів слід використовувати методи [18-21], які відповідають цій концепції. Такий метод повинен враховувати вплив технічних параметрів автобуса на ефективність перевезення пасажирів.

На основі аналізу літератури можна зазначити, що вже існуючий підхід до обґрунтування вибору автобуса для конкретного маршруту має свої обмеження. Він обмежується врахуванням лише пасажиромісткості та загальних норм витрати палива. Однак цей підхід має декілька недоліків, включаючи:

- Не враховує зміну технічних параметрів автобуса у часі. Якщо параметри автобуса, такі як технічний стан, ефективність двигуна тощо, змінюються в процесі експлуатації, то цей підхід не враховує ці зміни.
- Не враховує людино-машинний вплив на енерговитратність нерівномірно-переривчастого руху автобуса. Такий вплив може бути значним, оскільки поведінка водія та пасажирів може впливати на режим руху та споживання пального.
- Не враховує комплексу технічних, дорожніх і експлуатаційних факторів, які впливають на економічну ефективність автобуса і перетворення

капіталовкладень у витрати.

У існуючих методиках обґрунтування вибору автобуса для міських перевезень базується головним чином на впливі пасажиропотоку на місткість автобуса. Однак такий підхід не розглядає важливі показники продуктивності автобуса і собівартості перевезень з використанням концепції віртуального транспортування (рис. 1.6).

У транспортних підприємствах зазвичай використовується організаційний підхід при проектуванні процесу перевезень, що не враховує такі важливі фактори, як енергоємність автобусних перевезень [22-24]. Це включає процеси та процедури, які відбуваються під час руху автобуса між зупинками, інтенсивність транспортного потоку, закономірності руху автобуса в їздовому циклі та умови його експлуатації.

Такий підхід не здатний забезпечити аналіз енергетичної ефективності міських автобусних перевезень згідно з вказаною концепцією.

## **1.6 Задачі досліджень**

Враховуючи все вищезгадане, головною метою цього дослідження є підвищення енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень. Для досягнення цієї мети ставляться наступні завдання:

- здійснити огляд і аналіз існуючих методів підвищення ефективності міських автобусних перевезень;
- докладно розглянути математичну модель аналізу енергоресурсної ефективності автомобіля узагальненого типу і внести необхідні уточнення для досягнення підвищення енергоефективності міських автобусних перевезень;
- розробити методики комплексного підвищення транспортної енергоефективності міських автобусних перевезень, враховуючи техніко-технологічні фактори, що починаються з ранніх етапів експлуатації автобусів.

Об'єктом дослідження є процес перевезення пасажирів на міських автобусних маршрутах, враховуючи конструктивно-технічні характеристики

автобусів, дорожні та транспортно-експлуатаційні фактори.

Предметом дослідження є взаємозв'язки між показниками транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень та конструктивно-технічними характеристиками автобусів, а також дорожніми та транспортно-експлуатаційними факторами.

### **Висновки до розділу 1**

Зазначено, що існуючі методи для обґрунтування автобусів, які використовуються для оновлення та формування автобусного парку, мають серйозні недоліки. До них відносяться такі проблеми: а) методи базуються на організаційному підході, що обмежує їх ефективність; б) вони спрямовані лише на підвищення рентабельності технологічно-консервативних перевезень і не враховують інновації; в) методи не враховують майбутні зміни в параметрах автобусів; г) вони не враховують вплив енергетичної результативності машинних процедур, що заважає оцінити їхню майбутню технологічну ефективність.

Встановлено, що для підвищення енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень необхідно адаптувати і використовувати розрахункові схеми, які були розроблені в теорії енергоресурсної ефективності автомобілів. Також потрібно визначити критерії для аналізу технологічного рівня автобусів та розробити методику врахування транспортної енергоефективності автобуса при проведенні конкурсів для вибору перевізника на конкретний маршрут.

На підставі вищезазначеної мети було описано підхід який ґрунтується на концепції інноваційного та експлуатаційно-технологічного збереження енергії у транспорті. В основі цього підходу лежить розуміння автобуса як науково-технічного товару з наступними характеристиками: він є складним технічним засобом, небезпечним об'єктом управління рухом, енергоємним транспортним засобом і об'єктом технічного обслуговування, який зазнає фізичного і

морального зносу під час експлуатації.

Зрозуміло, що відсутні розрахункові схеми та математичні моделі для аналізу енергетичної ефективності нових моделей автобусів і впливу зміни їх конструктивних параметрів на показники ефективності роботи.

## РОЗДІЛ 2

### АДАПТАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕСТОВОГО АНАЛІЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

#### 2.1 Підвищення транспортної енергоефективності перевезень, враховуючи зміни в технічних, експлуатаційних та дорожніх факторах перевезень.

На поточному етапі формування автобусного парку для міських маршрутів виникає проблема вибору правильної РС (розподільчої схеми) серед великої кількості фірм-виробників, типів автобусів та різних конструкцій. Крім того, необхідно враховувати змінні дорожні та транспортні умови експлуатації автобусів.

Автобус, який використовується для перевезення пасажирів, повинен задовольняти не лише вимоги безпеки руху та якості обслуговування пасажирів, але й технологічні вимоги для конкретних маршрутів. При виборі автобусів і формуванні автопарку необхідно враховувати особливості маршруту, по якому будуть рухатися автобуси, а також особливості регіону і міста.

Виробники автобусів періодично представляють нові моделі, які можуть відрізнятися одна від одної суттєвими або незначними технічними новинками, що стосуються технічного обладнання, ефективності енергоспоживання і інших характеристик. Отже, при виборі нового автобуса виникає необхідність використовувати комплексний підхід до оцінки його споживчих властивостей [4] (як продукту) і рівня транспортної енергоефективності автобуса (як ресурсно-технічного засобу). Адже в процесі перевезень автобуси використовуються як засоби транспортування пасажирів, а також як технологічні засоби, що впливають на процес перевезення.

Крім того, при виборі параметрів автобуса необхідно враховувати

розвиток ресурсно-технічної бази автотранспорту, концепцію енерго- та ресурсозбереження, а також стратегію підвищення техніко-технологічної конкурентоспроможності майбутніх транспортних послуг. Особливістю нових автобусів є очікувана зміна конструктивних параметрів, що наразі не враховується в методах оновлення автобусного парку. Існуючі методи технічного, транспортного та економічного аналізу неефективні в сегменті ринку автобусів через велику кількість варіантів конструкцій автобусів та різноманіття ринків транспортних послуг як в країні, так і за її межами. Крім того, вартість нових імпортованих автобусів є досить високою.

Наразі існуючі методи оновлення автобусів не відповідають концепції збереження енергії та ресурсів, а також ідеї підвищення техніко-технологічної конкурентоспроможності майбутніх транспортних послуг. Це означає, що потрібно розробити нові методи оновлення автобусів, які враховуватимуть зазначені аспекти і сприятимуть розвитку більш ефективного та стійкого автотранспорту.

У зв'язку з цим, в даній роботі розроблено методику експлуатаційного підвищення ТЕЕА з урахуванням конструктивних параметрів та умов руху на маршруті.

## **2.2 Математичні моделі показників транспортної енергоефективності автобуса**

У теорії автомобілів стверджується, що енерговитрати, необхідні для переміщення автомобіля, залежать від режимів руху та основних конструктивно-технічних параметрів. Варто зазначити, що на перегонах АТЗ можуть функціонувати у трьох типових режимах руху: рівномірний, прискорення та гальмування. Витрати енергії на цих режимах мають відмінності в своїх закономірностях.

У рівномірному режимі руху, який спостерігається у середніх зонах перегону, автобус підтримує постійну швидкість ( $l_v$  – пробіг автобуса на

режимі постійної швидкості). При фіксованій довжині перегону між зупинками, чим більше питома потужність двигуна  $N_{\Pi}$ ,  $(N_{max}/G_e)$  тим більша буде відстань  $l_v$ .

Проте, якщо питома потужність двигуна  $N_{\Pi}$  недостатня або довжина перегону невелика, можуть виникнути випадки, коли відстань  $l_v \rightarrow 0$ , це призводить до значного збільшення енерговитрат руху автобуса.

При формуванні математичної моделі енерговитрат необхідно враховувати ці особливості, включаючи аналіз інших режимів руху автобуса на перегоні. Ці особливості функціонування автобуса у відомих роботах до цього не розглядалися.

Для режимів руху ( $V = const$ ) енерговитрати на опір руху автомобіля визначається як:

$$P_{cv} = P_c \cdot V, \quad (2.1)$$

де  $P_c$  – сумарна сила опору руху автомобіля [].

а) рівномірний режим руху

$$P_{cv} = P_f \pm P_h + P_w; V = 0, \quad (2.2)$$

де  $P_f$  – сила опору кочення коліс автобуса;

$P_h$  – сила опору підйому дороги;

$P_w$  – сила опору повітря.

б) не рівномірний режим руху

$$P_{cv}(t) = P_f \pm P_h + P_w(t) \pm P_j(t); V \neq 0, \quad (2.3)$$

де  $P_j$  – сила інерції автобуса,

$V \neq 0$  – режим прискореного руху або гальмування автобуса.

За цією формулою визначаються і витрати енергії при русі із постійною та не постійною швидкістю:

а) рівномірний режим руху

$$E_v = P_{cv} \cdot l_v; \quad (2.4)$$

$$l_v = V_{\Pi} \cdot t_v; \quad (2.5)$$

б) нерівномірний режим руху

$$E_H = P_{cH} \cdot l_H; \quad (2.6)$$

$$l_H = \int V(t)dt + c. \quad (2.7)$$

Також із теорії автомобілів відомо, що потужність сил опору руху для різних режимів визначається за формулами:

а) рівномірний режим руху

$$N_v = P_{cv} \cdot l_v; \quad (2.8)$$

б) нерівномірний режим руху

$$N_H = P_{cH} \cdot l_H. \quad (2.9)$$

Витрати палива для різних режимів визначається, як:

а) рівномірний режим руху

$$Q_v = g_e \cdot N_v \cdot t; \quad (2.10)$$

б) нерівномірний режим руху

$$Q_H(t) = \frac{1}{\eta_m} \int g_e(t) \cdot N_{cd}(t), \quad (2.11)$$

де  $g_e$  – кількість витраченого палива;

$t$  – час руху АТЗ;

$N_{cd}$  – потужність сил опору руху приведено до колінчастого валу двигуна.

В теорії енергоресурсної ефективності автомобіля [6] вирішено рівняння для уніфікованого руху, які охоплюють кінематику, динаміку та енергетику модульного автомобіля, використаного у даній роботі.

В цьому теоретичному підході визначені закономірності для створення методу тестового еталонно-порівняльного аналізу енергоефективності узагальненого автомобіля, конструктивна схема якого виражена у вигляді СПОКА. Даний метод включає рівняння для оцінки параметрів енергоефективності автомобіля під час адаптивно-дискретного руху в стандартних транспортних умовах.

В структуру типової транспортної операції входить чотири фази, а саме:

- режим постійної швидкості,
- режим розгону ( $\Delta V > 0$ ),
- режим гальмування ( $\Delta V < 0$ ),
- режим накату ( $N_y = 0, \Delta V < 0$ ).

Показник транспортної енергоефективності є відношенням транспортної енерговіддачі даного автобуса у тестовій операції  $\rho$  до транспортної енерговіддачі еталонного автобуса у еталонній операції  $\rho_{ет}$  [6]:

$$\Pi_e = \frac{\rho}{\rho_{ет}} = \frac{K_v \gamma_{ст}}{K_e (\eta_q + \gamma_{ст})} \quad (2.12)$$

де  $K_v$  – коефіцієнт швидкості автобуса в тестовій операції (відношення середньої швидкості автобуса в тестовому циклі до швидкості еталонного автобуса);

$\gamma_{ст}$  – коефіцієнт статичного використання пасажиромісткості автобуса;

$K_e$  – енергетичний коефіцієнт пробігу автобуса в тестовій операції (відношення витрати палива даного автобуса в тестовій операції до витрати палива

еталонного автобуса, який рухається з постійною еталонною швидкістю);

$\eta_q$  – коефіцієнт спорядженої маси автобуса:

$$\eta_q = \frac{G_{ac}}{q_{\pi}}, \quad (2.13)$$

де  $G_{ac}$  – споряджена маса автобуса, т;

$q_{\pi}$  – номінальна пасажиромісткість автобуса, т.

Цей показник необхідно враховувати у комплексі з показником паливної ефективності  $\Pi_{epQ}$ , який являє собою відношення показників паливовіддач у еталонній операції: автобуса  $\rho_{\pi}$  і еталонного автобуса  $\rho_{\pi\tau}$

$$\Pi_{epQ} = \frac{\rho_{\pi}}{\rho_{\pi\tau}}. \quad (2.14)$$

Енергетичні коефіцієнти  $K_v$  і  $K_e$  визначаються для міського і магістрального тестових циклів [6]:

$$K_v = \frac{a_1(1,07 - 6,88\psi_{cp})}{0,5 \cdot t_p + a_2}, \quad (2.15)$$

де  $a_1$  і  $a_2$  – розрахункові коефіцієнти (для міського циклу  $a_1 = 90, a_2 = 60$ ; для магістрального циклу  $a_1 = 360, a_2 = 240$ ;

$\psi_{cp}$  – середнє значення коефіцієнту опору дороги на маршруті, що розглядається:

$$\psi_{cp} = \beta_d \cdot \psi_1 + \psi_2 \cdot (1 - \beta_d), \quad (2.16)$$

де  $\beta_d$  – частка доріг 1 та 2 категорій, яка припадає на розрахунковий маршрут;

$\psi_1$  і  $\psi_2$  – значення коефіцієнтів опору руху автобуса на дорогах 1-2 і 3-4 категорій відповідно;

$t_p$  – час розгону автобуса до 50 км/год, с:

$$t_p = f(N_{\text{пд}}^{-1}), \quad (2.17)$$

де  $N_{\text{пд}}$  – питома потужність двигуна автобуса, кВт/т.

Враховуючи частку роботи автобуса у різних режимах визначається коефіцієнт швидкості автобуса на розрахунковому маршруті:

$$K_{vp} = K_{v\Gamma} a_{\Gamma} + K_{v\text{м}} (1 - a_{\Gamma}), \quad (2.18)$$

де  $a_{\Gamma}$  – частка часу роботи автобуса в міських маршрутах (довжина перегону  $l_{\Pi} \in (100; 1200)\text{м}$ );

$K_{v\Gamma}$  і  $K_{v\text{м}}$  – значення коефіцієнта швидкості для міського і магістрального циклів відповідно.

Паливний коефіцієнт пробігу автобуса для міського і магістрального тестових циклів:

$$K_e = \frac{H \rho k_d (20 \psi_{\text{ср}} + 0,64)}{1920 q (\gamma_{\text{ст}} + \eta_q) + 1120 H_a B_a} \quad (2.19)$$

де  $\rho$  – густина палива, г/см<sup>3</sup> (для бензинових двигунів  $\rho = 0,76$ ; для дизельних  $\rho = 0,84$ );

$k_d$  – коефіцієнт дорожніх умов руху (1,1 для міського циклу);

$H_a$  і  $B_a$  – відповідно висота і ширина автобуса, м;

$H$  – загальна норма витрати палива, л/100 км:

$$H = 0,01 \cdot H_{\text{л}} \cdot L \cdot (1 + 0,01 \cdot K_{\Sigma}) \quad (2.20)$$

де  $H_{\text{л}}$  – лінійна норма витрати палива автобуса, л/100 км;

$L$  – пробіг автобуса за їзду, км;

$K_{\Sigma}$  – сумарний коригуючий коефіцієнт (для міста приймається 1,15).

Паливний коефіцієнт пробігу автобуса на розрахунковому маршруті:

$$K_{ep} = K_{e\Gamma} a_{\Gamma} + K_{eM}(1 - a_{\Gamma}), \quad (2.21)$$

де  $K_{e\Gamma}$  і  $K_{eM}$  – значення коефіцієнта для міського і магістрального циклів.

### 2.3 Математичні моделі показників транспортної енергетичної ефективності автобуса і перевезень

Раніше було визначено, що для оцінки ефективності функціонування автобусів використовуються показники якості, продуктивності та собівартості [25-29], які виявили ряд недоліків [30]. Для проведення аналізу впливу конструктивних параметрів, а також умов перевезень і характеристик дороги необхідно здійснити порівняння даного автобуса з еталонним прототипом.

На підставі цього порівняння визначаються енергетично еквівалентні значення пробігу автобуса  $l_e$ , швидкості  $V_{ete}$  та часу його руху  $t_{pe}$ :

$$l_e = l \cdot K_e; \quad (2.22)$$

$$V_{ete} = V_{e\Gamma} \cdot K_v; \quad (2.23)$$

$$t_{pe} = t_p \cdot K_t, \quad (2.24)$$

де  $l, V_{e\Gamma}, t_p$  – відповідно пробіг автобуса на маршруті (м), еталонна швидкість (приймається рівною 40 км/год) та час руху (с);

$K_e, K_v, K_t$  – енергетичні коефіцієнти пробігу, швидкості та часу руху автобуса,  
 $K_t = \frac{K_e}{K_v}$ .

Показники (2.22, 2.23, 2.24) підставляються у відомі з теорії транспортних процесів формули продуктивності та собівартості [22]. В результаті отримано енергетично еквівалентні показники продуктивності  $W_{ге}$  та собівартості  $S_{кме}$ :

$$W_{\text{ге}} = \frac{q \cdot \gamma_{\text{ст}} \cdot l_{\text{м}}}{t_p \cdot K_t + t_{\text{зуп}} + t_{\text{ок}}} = K_w \cdot W_{\text{г}}, \quad (2.25)$$

де  $l_{\text{м}}$  – довжина маршруту, км;

$t_p$  – час руху автобуса, год;

$t_{\text{зуп}}$  – час зупинки для посадки і висадки пасажирів, год;

$t_{\text{ок}}$  – час простою автобуса в кінцевих пунктах простою, год;

$W_{\text{г}}$  – годинна продуктивність автобуса, пас.-км/год;

$K_w$  – енергетичний коефіцієнт годинної продуктивності автобуса [6]:

$$K_w = \frac{K_v}{X_d(K_e - 1) + 1}, \quad (2.26)$$

$$K_v = c_1 x^2 + c_2 x + c_3, \quad (2.27)$$

$$K_e = b_1 x^2 + b_2 x + b_3, \quad (2.28)$$

де  $X_d$  – частка часу руху автобуса у загальному часі їздки  $t_i$ :

$$X_d = \frac{t_p}{t_i} = \frac{t_p}{t_p + t_{\text{зуп}} + t_{\text{ок}}}, \quad (2.29)$$

$$S_{\text{кме}} = C_{\text{зм}} \cdot K_e + \frac{C_{\text{пос}} \cdot (t_p \cdot K_t (t_{\text{зуп}} + t_{\text{ок}}) \cdot \beta)}{l_{\text{м}}} = K_s \cdot S_{\text{км}}, \quad (2.30)$$

де  $C_{\text{зм}}$  – змінні витрати на 1 км пробігу, грн/км;

$C_{\text{пос}}$  – постійні витрати на 1 годину роботи, грн/год;

$K_s$  – енергетичний коефіцієнт собівартості перевезень:

$$K_s = K_e \left( s_1 + s_2 \frac{C_{\text{пос}}}{C_{\text{зм}}} \right); \quad (2.31)$$

$$K_e = b_1 x^2 + b_2 x + b_3 \quad (2.32)$$

де  $s_1, s_2$  – коефіцієнти, які враховують експлуатаційні фактори перевезень;

$S_{\text{км}}$  – собівартість виконання 1 км транспортної роботи, грн/ км;

$x$  – значення конструктивного параметра.

Оптимізація використання автобуса в енергетично нормалізованій схемі транспортної операції здійснюється за критеріями:

$$W_{\text{ге}} \rightarrow \max; S_{\text{кме}} \rightarrow \min. \quad (2.33)$$

Перевага розробленої моделі полягає в тому, що при вирішенні задач організації перевезень енергетичні коефіцієнти  $K_e$  і  $K_t$  приймаються рівними одиниці. Якщо вирішуються організаційні та технологічні задачі, то ці коефіцієнти враховуються. Для визначення цих коефіцієнтів розроблені математичні моделі та методи моделювання [6]. З їх допомогою можна вирішувати технологічні та організаційні задачі перевезень з урахуванням еволюції конструктивних параметрів, умов перевезень і характеристик дороги.

## **2.4 Математична модель показника транспортно-технологічної якості автобуса**

Показником результативності технологічних впливів називається відношення дискретної транспортної роботи  $W(\Delta l)$ , яка відповідає характерному пробігу АТЗ  $\Delta l$ , до величини імпульсів сили тяги автобуса  $P_m \Delta t$  [6]:

$$TB = \frac{W(\Delta l)}{P_m \Delta t^2} \rightarrow \max. \quad (2.34)$$

У багатофазовій операції руху показник енергетичної результативності технологічного впливу  $TB$  визначається для окремих підфаз і фаз ( $TB_i$ ), а також для тестового циклу ( $TB_{\text{ц}}$ ). Підфазами операції руху для АТЗ з багатоступінчастими коробками передач являються режими руху на певній передачі. Величини  $TB_i$  та  $TB_{\text{ц}}$  являють собою відношення дискретної транспортної роботи у певній фазі до квадратичного імпульсу сили тяги у цій фазі та визначаються таким чином:

$$TB_i = \frac{q\gamma_{\text{ст}} l_i}{P_{mi} t_i^2} \rightarrow \max, i = \overline{1, n}, \quad (2.35)$$

де  $q\gamma_{\text{ст}}$  – пасажиромісткість та коефіцієнт її використання;

$l_i$  – довжина маршруту у  $i$ -й фазі операції (стала швидкість, розгін, накат, гальмування), м;

$P_{mi}$  – середня сила тяги автобуса у  $i$ -й фазі операції, кН:

$$P_m = \sum_{j=1}^{n_n} P \Delta t_j / \sum_{j=1}^{n_n} \Delta t_j \quad (2.36)$$

де  $P_j$  – середня сила тяги автобуса при русі на  $j$ -й передачі коробки передач, кН;

$\Delta t_j$  – час руху автобуса на  $j$ -й передачі, с;

$n_n$  – кількість передач коробки передач;

$t_i$  – час руху автобуса у  $i$ -й фазі операції, с;

$n$  – кількість фаз в операції руху;

$$TB_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n TB_i \cdot m_i, \quad (2.37)$$

де  $m_i$  – доля пробігу автобуса у  $i$ -тій фазі операції.

Необхідно зазначити, що умову (2.37) для фази розгону необхідно мінімізувати, оскільки частка несталого руху в операції повинна бути скорочена. Показник технологічного впливу є проміжним на етапі визначення енергетичної ефективності АТЗ, але він дозволяє аналізувати результативність технологічних впливів. В зв'язку з цим, показник ТВ необхідно враховувати у комплексі з показником енергетичної ефективності.

Визначення показника технологічного впливу

1. Визначення швидкості автобуса (за двома точками), м/с:

$$V_{1i} = 0,095 \cdot \frac{n_m \cdot r_k}{U_{ki} \cdot U_0}, \quad V_{2i} = 0,095 \cdot \frac{n_n \cdot r_k}{U_{ki} \cdot U_0}, \quad (2.38)$$

де  $n_m$  – частота обертання колінчастого валу, що відповідає максимальному крутному моменту ( $M_{\text{max}}$ ), об/хв;

$r_k$  – радіус колеса, м;

$U_{ki}$  – передаточні числа коробки передач;

$U_0$  – передаточне число головної передачі;

$n_n$  – частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності, об/хв.

2. Визначення крутного моменту дизельного двигуна:

$$M_1 = 1,07 \cdot M, \quad M_n = 716 \cdot \frac{N_{\text{max}}}{n_n}, \quad M_2 = M, \quad (2.39)$$

де  $N_{\text{max}}$  – максимальна потужність двигуна, кВт.

3. Визначення сили тяги автобуса:

$$P_{1i} = \frac{M_1 \cdot \eta_T \cdot U_{k_1} \cdot U_0}{r_k}, \quad P_{2i} = \frac{M_2 \cdot \eta_T \cdot U_{k_1} \cdot U_0}{r_k}, \quad (2.40)$$

де  $\eta_T$  – коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії (0,91 – 0,92 для 4х2).

4. Визначення сил опору повітряного середовища:

$$P_{w1i} = k \cdot B \cdot H \cdot V_{1i}^2, \quad P_{w2i} = k \cdot B \cdot H \cdot V_{2i}^2, \quad (2.41)$$

де  $k$  – коефіцієнт обтічності автобуса ( $k = 0,05 - 0,06$ );

$B, H$  – відповідно ширина та висота автобуса, м.

5. Визначення динамічного фактору транспортного засобу:

$$D_{1i} = \frac{P_{1i} - P_{w1i}}{G_a}, \quad D_{2i} = \frac{P_{2i} - P_{w2i}}{G_a}, \quad (2.42)$$

де  $G_a$  – повна маса автобуса, кг.

6. Визначення прискорень транспортного засобу, м/с<sup>2</sup>:

$$a_{1i} = \frac{(D_{1i} - \psi) \cdot g}{\delta_i}, \quad a_{2i} = \frac{(D_{2i} - \psi) \cdot g}{\delta_i}, \quad (2.43)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт опору дорожнього покриття ( $\psi = 0,012$ );

$g$  – прискорення вільного падіння (9,81 м/с<sup>2</sup>);

$\delta_i$  – коефіцієнт врахування мас, що обертаються:

$$\delta_i = 1,04 + 0,0015 \cdot U_{ki}^2 \cdot u_0^2. \quad (2.44)$$

7. Визначення прискорень по передачах, м/с<sup>2</sup>:

$$a_{ci} = \frac{a_{1i} + a_{2i}}{2}. \quad (2.45)$$

8. Визначення швидкісних діапазонів по передачах:

$$V_{MI} = V_{2(i-1)}, \quad \Delta V_i = V_{2i} - V_{MI}. \quad (2.46)$$

9. Визначення часу розгону та шляху розгону по передачах:

$$t_i = \frac{\Delta V_i}{a_{ci}}, \quad S_i = \frac{\Delta V_i^2}{2 \cdot a_{ci}}. \quad (2.47)$$

10. Визначення середньої сили тяги по передачах:

$$P_{ci} = \frac{P_{1i} + P_{2i}}{2}. \quad (2.48)$$

11. Визначення середньої швидкості по передачах:

$$V_{ci} = V_{MI} + 0,5 \cdot \Delta V. \quad (2.49)$$

12. Визначення показника технологічних впливів по передачах:

$$T_{vi} = \frac{q \cdot \gamma_{ст} \cdot V_{ci}}{9,8 \cdot R_i \cdot (t_i + t_{пер})}, \quad (2.50)$$

де  $q\gamma_{ст}$  – загальна маса в кузові автомобіля;

$t_{пер}$  – час переключання передач, с ( $t_{пер} = 2$  с).

13. Середньозважений фактор технологічних впливів автобуса при розгоні:

$$T_{\text{вп}}(S) = \frac{\sum(T_{\text{вп}} \cdot S_i)}{\sum S_i}. \quad (2.51)$$

14.Визначення відстані руху автобуса зі сталою швидкістю:

$$L_v = 300 - S_p. \quad (2.52)$$

15.Визначення часу руху автобуса зі сталою швидкістю:

$$t_v = \frac{L_v}{V_{50}}, \quad (2.53)$$

де  $V_{50}$  – швидкість автобуса, 50 км/год.

16. Визначення фактору технологічних впливів транспортному засобу при русі зі сталою швидкістю:

$$TB_v = \frac{g \cdot V \cdot L_v}{P_u}, \quad (2.54)$$

де  $P_u$  – сила тяги автобуса:

$$P_u = \psi \cdot G_a, \quad (2.55)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт опору дорожнього покриття.

17.Визначення показника технологічних впливів автобуса в циклі:

$$TB_{\text{ц}} = \frac{TB_p \cdot S_p + TB_v \cdot L_v}{S_p + L_v}. \quad (2.56)$$

## Висновки до розділу 2

Виявлено, що існуючі в теорії транспортного процесу показники оцінки ефективності автобуса ґрунтуються на розрахункових схемах віртуального транспортування пасажирів, в яких автобус розглядається як самохідний кузов, а його переміщення між зупинками – віртуальне. Це, в свою чергу, ускладнює вирішення техніко-технологічних завдань, пов'язаних з його обґрунтуванням.

З метою аналізу впливу конструктивних параметрів, умов перевезень і характеристик дороги використана модульна схема структурно-параметричної організації автобуса узагальненого типу, а також енергетично нормалізована схема перевізного процесу, яка передбачає порівняння енергетичних характеристик заданого та еталонного автобуса.

Запропоновано показник енерговіддачі автобуса для оцінки технологічного рівня перевезень, який визначається відношенням транспортної роботи, виконаної автобусом, до енерговитрат на його переміщення. Виявлено, що підвищення даного показника сприяє збільшенню технологічного рівня перевезень.

Для можливості аналізу впливу конструктивних параметрів автобуса на собівартість перевезень використано модель енергоеквівалентної собівартості перевезень, яка дозволяє зв'язати експлуатаційні витрати з енергоємністю.

За допомогою розроблених математичних моделей показників транспортно-технологічної якості АТЗ необхідно провести аналіз впливу зміни конструктивних параметрів, умов перевезень та характеристик дороги на технологічний рівень перевезень.

### РОЗДІЛ 3

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА МАРШРУТІ 126 МІСТА ЖИТОМИР

### 3.1 Планування та постановка завдань експерименту з оцінювання енергоефективності автобусів

В умовах міських автобусних перевезень однією з важливих задач є технологічне обґрунтування і вибір автобусів, що відповідають вимогам підвищення ТЕЕА при перевезеннях. Складні умови руху автобуса, що виникають на міських маршрутах обумовлюють високий рівень енергоємності та ресурсоємності перевезень. Цей рівень залежить від його конструктивних параметрів, режимів руху, дорожніх та транспортних факторів. Тому для підвищення транспортної енергоефективності перевезень з врахуванням цих факторів, виникає необхідність в використанні імітаційних моделей аналізу функціонування автобуса в міському циклі. У моделях, що використовуються для симуляції функціонування автобуса в тестовому режимі, враховані аналітичні зв'язки його дискретної кінематики, динаміки та енергетики [6]. Такі моделі дозволяють створити не тільки узагальнену модель тестової операції, в якій розглядаються різні варіанти автобусів, а і дає можливість розглядати різні режими руху і характеристики дороги на маршруті. Тому такий підхід дозволяє вибрати автобус який буде відповідати вимогам енергоефективності перевезень з урахуванням особливостей маршрутів, на яких планується перевозити пасажирів.

Мета імітаційного моделювання полягає в створенні умов для експлуатаційного функціонування та аналізі придатності конструктивних параметрів автобуса як транспортного засобу з метою підвищення транспортної енергоефективності перевезень на маршруті.

Вказаний підхід надає можливість проводити комплексний аналіз

енерговитратного процесу функціонування автобуса, враховуючи:

- розгляд складних технічних аспектів та управління рухом як ключових аспектів, оцінка, як автобус пристосований до різних умов перевезень;
- рівень технологічної придатності варіанта автобуса, оцінка, наскільки конкретний варіант автобуса відповідає умовам перевезень.

Задачі моделювання включають:

- формування конкуруючих варіантів автобусів, розробка різних варіантів автобусів для маршруту;
- імітація фаз рухових операцій автобуса;
- моделювання різних етапів руху автобуса відповідно до характеристик маршруту;
- порівнювальний аналіз варіантів автобусів;
- визначення найефективнішого варіанту з точки зору транспортної енергоефективності;
- розрахунок транспортного циклу між зупинками та визначення енергетичних коефіцієнтів для використання у системі конкурсного вибору автобуса.

Затрати енергії та витрати палива під час тестової експлуатації розраховуються, враховуючи вплив характеристик робочих процесів конструкції автобуса на динаміку потужності двигуна  $N(t)$  та споживання пального  $g(t)$ . Енергетичні витрати  $E_{\text{ц}}$  під час тестової експлуатації визначаються за такою формулою [6]:

$$E_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^{n_y} \left( \int N_{yi} dt + c_{1i} \right) + \sum_{i=1}^{n-n_y} \left( \int N_i(t) dt + c_{2i} \right); \quad (3.1)$$

$$N_{yi} = N_{yoi} / \eta_T;$$

$$N_{i(t)} = N_{oi}(t) / \eta_T,$$

де  $N_{yi}, N_i$  – потужність двигуна відповідно при сталому та несталому русі, кВт;

$n$  – кількість фаз тестової операції;

$n_y$  – кількість фаз сталого руху;

$t$  – час фази тестової операції, с;

$c_{1i}, c_{2i}$  – постійні інтегрування;

$N_{yoi}, N_{oi}(t)$  – потужність сил опору руху автобуса на сталих ( $V = const$ ) і не сталих ( $V \neq const$ ) режимах тестової операції;

$\eta_T$  – ККД трансмісії.

Витрати палива в тестовій операції  $Q_{\text{ц}}$  визначаються за формулою [6]:

$$Q_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^{n_y} \left( \int N_{yi} g_{yi} dt + c_{3i} \right) + \sum_{i=1}^{n-n_y} \left( \int N_i(t) g_i(t) dt + c_{4i} \right); \quad (3.2)$$

$$V_{\text{ц}} = \left( \sum_{i=1}^{n_y} V_{yi} t_{vi} + \frac{\sum_{i=1}^{n-n_y} (\int V_i(t) dt + c_{5i})}{(\sum_{i=1}^{n_y} t_{vi} + \sum_{i=1}^{n-n_y} t_{hi})} \right), \quad (3.3)$$

де  $g_{yi}, g_i$  – питома витрата палива двигуна відповідно при сталому та несталому русі автобуса, г/кВт·год;

$V_{\text{ц}}$  – середня швидкість автобуса, км/год;

$c_3, c_4, c_5$  – постійні інтегрування.

Загальні рішення рівнянь (3.1) і (3.2) для АТЗ узагальненого типу отримано в роботі [6]. В даній роботі були використанні ці рішення і адаптовані для задач формування математичних моделей автобусної тестової операції.

### 3.2 Методика параметричного аналізу впливу різних факторів на показники якості автобуса

При формуванні парку на транспортному підприємстві, перевізник стає перед вибором автобусів із широкого різноманіття марок та моделей. Вони, в свою чергу, відрізняються між собою різними варіантами конструкцій та технічних параметрів. Крім того, змінними є такі фактори, як: дорожні умови, інтенсивність транспортних потоків, наповнення автобусів та ін. Для аналізу впливу цих факторів на ТЕЕА використовуються математичні моделі (2.14, 2.17, 2.21). При використанні цих математичних моделей для аналізу транспортної енергоефективності АТЗ в автобусних тестових операціях, можливо вирішувати як задачу аналізу варіанту конструкції так і задачу параметричного аналізу впливу будь-якого конструктивного параметру на транспортну енергоефективність автобусних перевезень. Так, при виборі автобуса з декількох варіантів схожих конструкцій та одного типу, що відрізняються лише однією характеристикою або параметром при інших рівних умовах, при одно параметричному аналізі можна вибрати більш ефективний.

Формування математичної постановки задачі має наступний вигляд: вибрати із ряду конкуруючих варіантів конструкцій автобусів, які відносяться до одного класу ( $q_{\pi} = const$ ), що відрізняються значеннями деяких технічних характеристик; за результатами моделювання в тестових операціях визначити такий варіант автобуса, що забезпечить максимальне значення показників енергетичної ефективності  $P_e$  (2.14) і результативності технологічних дій  $TB$  (2.36) автобуса в тестовій операції при умові:

$$P_e \rightarrow \max; TB \rightarrow \max. \quad (3.4)$$

Параметричний аналіз передбачає рішення наступних задач:

- визначення мети аналізу;
- формування задач;

- формування порівняльних конкуруючих варіантів конструкцій автобусів;
- формування умов аналізу, що порівнюються, та обмежень факторів, які контролюються;
- формування масиву вихідних даних та введення його у програму;
- розрахунок показників  $P_{ep}$  і  $TB$  для конкуруючих варіантів конструкцій автобусів при різних умовах руху;
- розрахунок енергоеквівалентних показників ефективності (собівартості і продуктивності) перевезення пасажирів на розрахунковому маршруті;
- аналіз техніко-технологічної придатності автобуса до обраного маршруту.

### **3.3 Аналіз впливу технічних і експлуатаційних факторів на показники енергоефективності автобусів і пасажирські перевезення на основі результатів моделювання на міських автобусних маршрутах**

За допомогою імітації роботи автобуса у тестовій операції визначаються показники ТЕЕА [6]. Схема тестової операції має загальний вигляд представлений на рис. 3.1, але в умовах міського руху при зменшенні довжини перегону або при малій питомій потужності автобуса при підвищенні щільності транспортного потоку, сталих режимів руху може і не бути. При цьому рівень ТЕЕА значно зменшується.

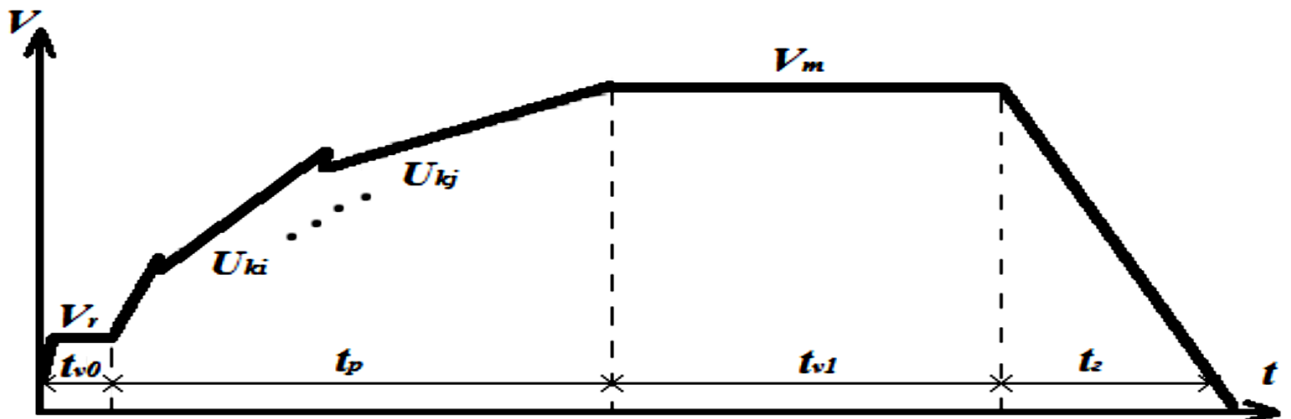


Рис. 3.1 – Схема карти тестової операції руху

де:  $V_r, V_m$  – задані значення швидкості сталої руху автобуса (початкова та максимальна відповідно);  $t_{v0}, t_{v1}$  – час руху автобуса при швидкостях відповідно  $V_r, V_m$ ;  $U_{ki} \dots U_{kj}$  – передаточні числа коробки передач, які використовуються при розгоні автобуса;  $t_p, t_r$  – час руху автобуса при розгоні та гальмуванні відповідно.

Значення сталої швидкості автобуса після його розгону у перегінному циклі визначається наступним чином:

$$V_m = V_r(h_g U_{kr}) + \Delta V_s(n_n); \quad (3.5)$$

$$\Delta V_s = \sum_{i=1}^{n_n} \Delta V_i(U_{ki}), \quad (3.6)$$

де  $V_r$  – вихідна мінімальна швидкість автобуса в зоні зупинки ( $V_r = 3$  м/с);

$\Delta V_s$  – сумарне збільшення швидкості у циклі;

$\Delta V_i$  – приріст швидкості на  $i$ -й передачі при розгоні автобуса, обумовлений динамікою розгону АТЗ і алгоритмом дій водія;

$n_n$  – кількість передач, що використовуються при розгоні відповідно до заданої операційної;

$h_g$  – відносне положення педалі подачі палива,  $h_g \in (0; 1)$ ;

$U_{kr}$  і  $U_{ki}$  – передаточне число коробки передач автобуса у фазах розгону.

Вихідні значення характеристик тестової операції руху наведено в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Значення елементів тестової операції в міському циклі

| $V_r$ , м/с | $V_m$ , м/с | $V_k$ , м/с | $\Delta V_s$ , м/с | $t_{v0}$ , с | $t_r$ , с | $l_{\text{ц}}$ , м |
|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------------|-----------|--------------------|
| 3           | 14          | 9           | 11                 | 10           | 10        | 590                |

В результаті проведення моделювання для різних варіантів конструкції автобусів отримуємо значення показників ТЕЕА. До цих показників відносяться:

1)  $K_{ec}$  – енергетичний коефіцієнт пробігу, який являє собою відношення витрат енергії для заданого автобуса та еталонного [6];

2)  $K_{eq}$  – паливний коефіцієнт пробігу, який являє собою відношення витрат палива для заданого автобуса та еталонного [6];

3)  $K_{vc}$  – енергетичний коефіцієнт швидкості. Це відношення середньої швидкості в циклі до еталонної швидкості, яка приймається постійною (40 км/год);

4)  $K_{tn}$  – енергетичний коефіцієнт часу несталого руху. Це відношення часу руху при змінній швидкості до загального часу руху у циклі:

$$K_{tn} = \frac{t_p + t_r}{T_{\text{ц}}}; \quad (3.7)$$

$$t_p = \sum_{i=1}^{n_n} t_{pi}, \quad (3.8)$$

де  $T_{\text{ц}}$  – загальний час руху у циклі, с.

5)  $P_{ep}$  – показник енергетичної ефективності. Це відношення транспортної енерговіддачі заданого  $\rho_a$  та еталонного  $\rho_{\text{ет}}$  автобуса;

$$\Pi_{ep} = \frac{\rho_a}{\rho_{em}}, \quad (3.9)$$

6)  $\Pi_{eq}$  – показник паливної ефективності. Це відношення транспортної паливовіддачі заданого автобуса до паливовіддачі еталонного АТЗ:

$$\Pi_{eq} = \frac{\rho_{qa}}{\rho_{qem}}, \quad (3.10)$$

7)  $TBC$  – середнє значення показника результативності технологічного впливу в циклі:

$$TB = \frac{q\gamma V_i}{P_{ci} \cdot t_i}, \quad (3.11)$$

$$TB_c = \sum TB_i \cdot l_i / l_{\Sigma}. \quad (3.12)$$

8)  $TB_r, TB_m$  – значення показника результативності технологічного впливу машинних процедур автобуса при швидкостях відповідно  $V_r$  та  $V_m$ .

### **3.4 Аналіз впливу конструктивних параметрів автобуса на його транспортну енергетичну ефективність**

Методика поелементного аналізу конструкції автобуса включає наступні етапи:

- а) постановка завдання аналізу (вибір базової моделі, переліку змінних характеристик, що вибрано для різних варіантів конструкції);
- б) формування конкуруючих варіантів конструкції автобуса для однопараметричного або багатопараметричного аналізу;
- в) розрахунок показників транспортної енергоефективності автобуса  $\Pi_{ep}$  і

ТВ для кожного варіанту;

г) встановлення закономірності впливу однієї або декількох конструкційних характеристик;

д) формулювання висновків про вагомість даної характеристики або варіанту конструкції.

Поелементний однопараметричний аналіз впливу конструкції автобуса проводиться за визначеним алгоритмом (рис. 3.2) та на основі функціональних залежностей.

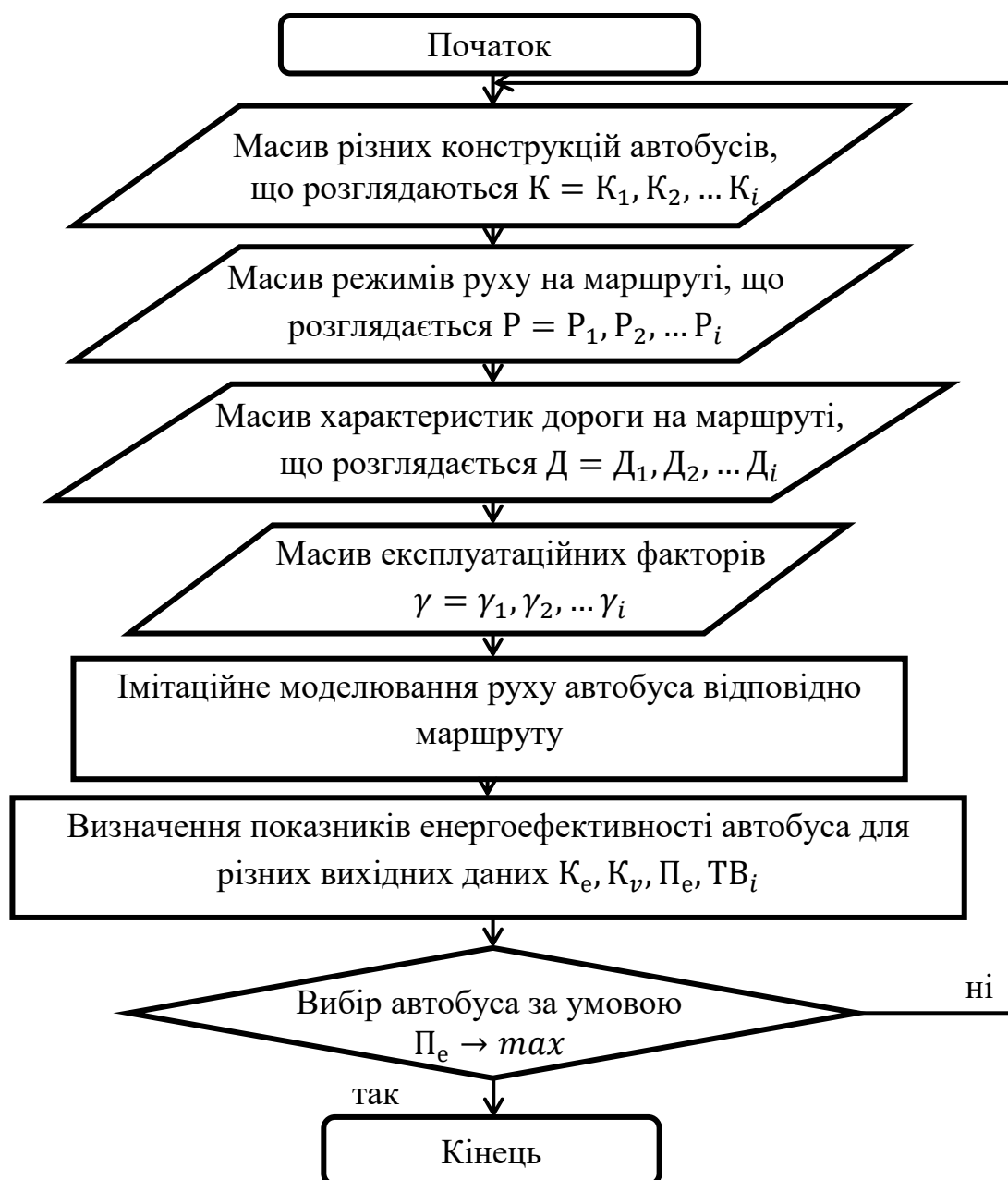


Рис 3.2 – Алгоритм багатоваріантного аналізу для оцінки автобуса за

## енергоефективністю

У математичних моделях для визначення показників  $K_v$ ,  $K_e$  і  $P_{ep}$  в рамках перетину множин  $\{K\}$  (конструкція автобуса),  $\{P\}$  (режими руху),  $\{D\}$  (дорога) враховується формування трьох фізичних чинників транспортної роботи [6]:

- а) середньої швидкості складного адаптивно-дискретного руху автобуса;
- б) енергоемності і паливоємності транспортної роботи на різних фазах руху;
- в) пробігової структури операції руху, що складається з набору фаз сталого і несталого руху автобусних перевезень.

При параметричному аналізі конструкції автобуса приймається незмінність множин  $\{D\}$  та  $\{P\}$ .

Подальші розрахунки проведено для автобусів, які курсують за даним маршрутом ATAMAN A092H6, Volvo 7900 Hybrid та Volvo 8700 LE (рис.3.4, 3.5, 3.6), короткі технічні характеристики яких приведені у таблиці 3.2. Коефіцієнт використання пасажиромісткості варіюється в межах  $\gamma = 0 \dots 1$ , тобто кількість пасажирів в салоні змінюється від 0 до максимального значення. Довжина циклу (тестова відстань між зупинками) 590 метрів. Сталим вважається рух зі швидкістю 14 м/с.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики розрахункових автобусів

| Технічні характеристики                        | ATAMAN A092H6 | Volvo 8700 LE | Volvo 7900 Hybrid        |
|------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------------------|
| Пасажиромісткість, чол. загальна / для сидіння | 52/22+1       | 99/38+1       | 102/32+1                 |
| Габаритні розміри, мм:                         |               |               |                          |
| Довжина                                        | 8220          | 12000         | 12000                    |
| Ширина                                         | 2320          | 2550          | 2550                     |
| Висота                                         | 2700          | 3150          | 3280                     |
| Повна маса, кг                                 | 8780          | 18600         | 19000                    |
| Двигун                                         | ISUZU 4HK1    | Volvo D7E290  | Volvo D5F<br>Volvo I-SAM |
| Максимальна потужність, кВт (к.с.)             | 114 (154)     | 213 (290)     | 161 (216)<br>120(161)    |
| Тип палива                                     | ДП            | ДП            | ДП+електро               |

|                                  |                          |             |              |
|----------------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| Трансмісія                       | Механічна,<br>6-ступенів | Автоматична | Автоматична  |
| Розмір шин                       | 215/75R17,5              | 295/80R22.5 | 275/70R 22.5 |
| Лінійна витрата палива, л/100 км | 20-25                    | 35-40       | 25-28        |



Рис. 3.4 – Автобус ISUZU ATAMAN A092H6



Рис. 3.5 – Автобус Volvo 7900 Hybrid



Рис. 3.6 – Автобус Volvo 8700 LE

### 3.5 Розрахунок показника результативності технологічного впливу АТЗ при розгоні $TB_p(S)$ для першої передачі

За еталонний автобус для розрахунків було обрано автобус ISUZU ATAMAN A092H6.

Визначення швидкості АТЗ (за двома точками) для п'яти передач, м/с:

$$V_{1i} = 0,095 \cdot \frac{1600 \cdot 0,367}{5,979 \cdot 4,556} = 2,05,$$

$$V_{2i} = 0,095 \cdot \frac{2600 \cdot 0,367}{5,979 \cdot 4,556} = 3,33.$$

Визначення крутного моменту двигуна, кгс·м:

$$M_n = 716 \cdot \frac{154}{2600} = 42,41,$$

$$M_1 = 1,07 \cdot 42,41 = 45,38,$$

$$M_2 = M_n = 42,41.$$

Визначення сили тяги автотранспортного засобу, кгс:

$$P_{1i} = \frac{45,38 \cdot 0,91 \cdot 5,979 \cdot 4,556}{0,367} = 3065,01,$$

$$P_{2i} = \frac{42,41 \cdot 0,91 \cdot 5,979 \cdot 4,556}{0,367} = 2864,49.$$

Визначення сил опору повітряного середовища, кгс:

$$P_{w1i} = 0,06 \cdot 2,32 \cdot 2,7 \cdot 2,05^2 = 1,58,$$

$$P_{w2i} = 0,06 \cdot 2,32 \cdot 2,7 \cdot 3,33^2 = 4,16.$$

Визначення динамічного фактору транспортного засобу:

$$D_{1i} = \frac{3320,43 - 1,58}{8780} = 0,35,$$

$$D_{2i} = \frac{3103,20 - 3,55}{8780} = 0,33.$$

Визначення прискорень АТЗ, м/с<sup>2</sup>:

$$a_{1i} = \frac{(0,35 \cdot 0,012) \cdot 9,81}{2,15} = 1,53,$$

$$a_{2i} = \frac{(0,33 \cdot 0,012) \cdot 9,81}{2,15} = 1,43.$$

Визначення середніх прискорень по передачах, м/с<sup>2</sup>:

$$a_{ci} = \frac{1,53 + 1,43}{2} = 1,48.$$

Визначення швидкісних діапазонів по передачах, м/с:

$$V_{MI} = 1,28,$$

$$\Delta V_i = 3,33 - 1,28 = 2,05.$$

Визначення часу розгону по передачах, с:

$$t_i = \frac{2,05}{1,48} = 1,38.$$

Визначення шляху розгону по передачах, м:

$$S_i = \frac{2,05^2}{2 \cdot 1,48} = 3,37.$$

Визначення середньої сили тяги по передачах, кгс:

$$P_{ci} = \frac{3065,01 + 2864,49}{2} = 2964,75.$$

Визначення середньої швидкості по передачах, м/с:

$$V_{ci} = 1,28 + 0,5 \cdot 2,05 = 2,30.$$

Визначення показника технологічних впливів по передачах:

$$TB_i = \frac{4160 \cdot 1 \cdot 2,30}{9,81 \cdot 2964,75 \cdot (1,38 + 2)} = 0,098.$$

Визначення середньозваженого фактору технологічного впливу АТЗ при розгоні (за пройденим шляхом):

$$TB_{p(s)} = 0,262 \rightarrow \max.$$

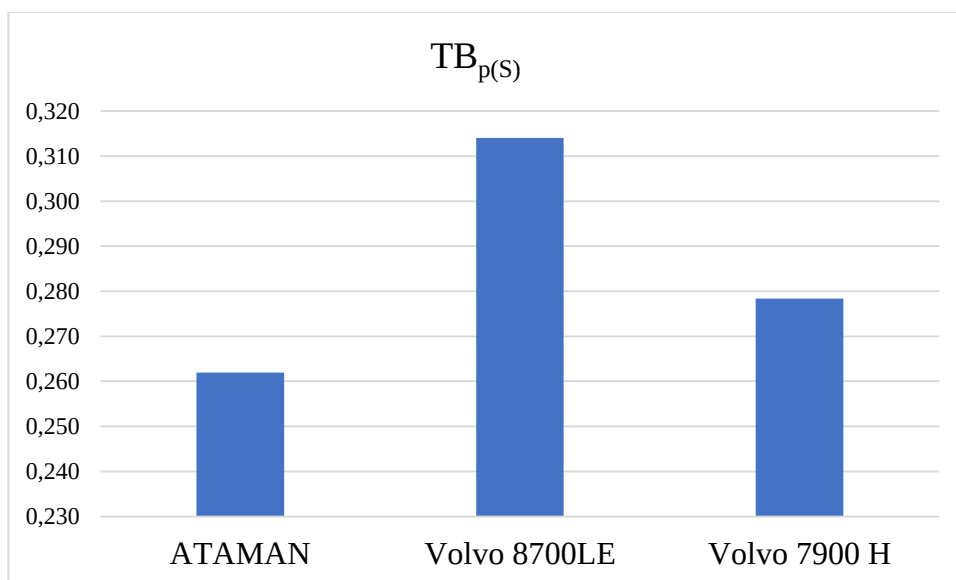


Рис. 3.6 – Значення показника середньозваженого фактору технологічного впливу АТЗ при розгоні для автобусів.

За результатами розрахунків встановлено, що найбільше значення показника результативності технологічного впливу спостерігається у автобуса Volvo 8700LE, це засвідчує, що цей автобус найбільш придатний до застосування енергозберігаючих технологій.

Визначення показника енергетичної ефективності автобуса ATAMAN A092H6

Коефіцієнт швидкості АТЗ в міському циклі:

$$K_v = \frac{90 \cdot (1,07 - 6,88 \cdot 0,032)}{0,5 \cdot 35 + 60} = 0,987.$$

Визначення паливного коефіцієнту пробігу АТЗ в міському циклі.

Паливний коефіцієнт пробігу АТЗ в циклі дорівнює:

$$K_e = \frac{(2,7 \cdot 10^3 \cdot (20 \cdot 0,032 + 0,64) \cdot 1,1 \cdot 25 \cdot 0,84)}{1920 \cdot 4,16 \cdot (1 + 2,111) + 1120 \cdot 2,7 \cdot 2,32} = 2,506.$$

Показник енергетичної ефективності АТЗ в розрахунковому маршруті дорівнює:

$$P_e = \frac{0,987 \cdot 1 \cdot 0,91}{2,505 \cdot (2,111 + 1)} = 0,115.$$

Результати таких розрахунків дають можливість технологічного вибору автобусів із тих, за якими проводився розрахунок.

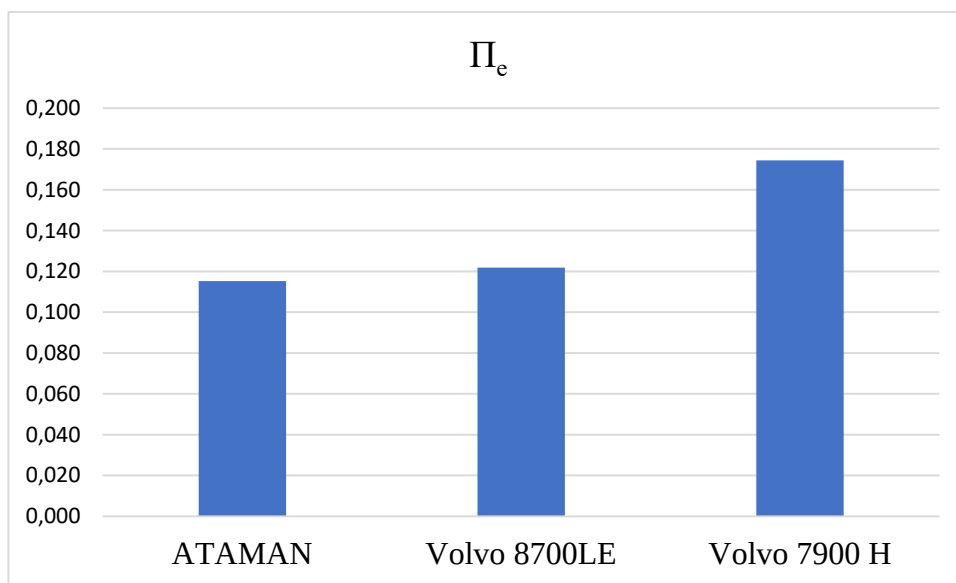


Рис. 3.7 – Значення показника енергетичної ефективності АТЗ.

Розрахунки були виконані в прорахунку повного використання пасажиромісць, тобто  $\gamma = 1$ . Також були використані дані по витратам палива надані перевізником, так як витрати варіюються від пори року, було обрано найбільшу витрату для розрахунку.

Всі розрахунки виконано за допомогою електронних таблиць в програмному середовищі Excel які наведені в таблицях 3.3, 3.4 3.5 та 3.6.

Таблиця 3.3 – Результати аналізу тягово-швидкісних властивостей  
АТАМАН А092Н6

| Передача     | 1       | 2       | 3      | 4      | 5      | 6      |
|--------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| $V_{1i}$     | 2,05    | 3,57    | 6,58   | 9,44   | 12,24  | 16,13  |
| $V_{2i}$     | 3,33    | 5,79    | 10,69  | 15,34  | 19,90  | 26,21  |
| $\delta_i$   | 2,153   | 1,407   | 1,148  | 1,092  | 1,071  | 1,058  |
| $u$          | 5,979   | 3,434   | 1,862  | 1,297  | 1,000  | 0,759  |
| $u_0$        | 4,556   |         |        |        |        |        |
| $M_1$        | 45,38   |         |        |        |        |        |
| $M_2$        | 42,41   |         |        |        |        |        |
| $M_n$        | 42,41   |         |        |        |        |        |
| $P_{1i}$     | 3065,01 | 1760,37 | 954,52 | 664,88 | 512,63 | 389,09 |
| $P_{2i}$     | 2864,49 | 1645,20 | 892,07 | 621,38 | 479,09 | 363,63 |
| $P_{w1i}$    | 1,58    | 4,78    | 16,25  | 33,49  | 56,34  | 97,81  |
| $P_{w2i}$    | 4,16    | 12,62   | 42,91  | 88,45  | 148,79 | 258,27 |
| $D_{1i}$     | 0,35    | 0,20    | 0,11   | 0,07   | 0,05   | 0,03   |
| $D_{2i}$     | 0,33    | 0,19    | 0,10   | 0,06   | 0,04   | 0,01   |
| $a_{1i}$     | 1,53    | 1,31    | 0,81   | 0,54   | 0,37   | 0,20   |
| $a_{2i}$     | 1,43    | 1,21    | 0,72   | 0,44   | 0,23   | 0,00   |
| $a_{ci}$     | 1,48    | 1,26    | 0,77   | 0,49   | 0,30   | 0,10   |
| $V_{MI}$     | 1,28    | 2,23    | 4,11   | 5,90   | 7,65   | 10,08  |
| $\Delta V_i$ | 2,05    | 3,57    | 6,58   | 9,44   | 12,24  | 16,13  |
| $V_{ci}$     | 2,30    | 4,01    | 7,40   | 10,62  | 13,77  | 18,15  |
| $t_i$        | 1,38    | 2,83    | 8,58   | 19,38  | 40,81  | 164,48 |
| $S_i$        | 3,11    | 8,01    | 16,57  | 21,71  | 22,49  | 12,76  |
| $P_{ci}$     | 2964,75 | 1702,79 | 923,29 | 643,13 | 495,86 | 376,36 |
| $TB_i$       | 0,098   | 0,207   | 0,322  | 0,328  | 0,275  | 0,123  |

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку експлуатаційно-технологічних властивостей при повному заповненні салону

|             | АТАМАН | Volvo 8700LE | Volvo 7900 H |
|-------------|--------|--------------|--------------|
| $TB_{p(s)}$ | 0,262  | 0,314        | 0,278        |
| $K_v$       | 0,987  | 0,956        | 0,927        |
| $K_e$       | 2,506  | 2,132        | 1,454        |
| $\Pi_e$     | 0,115  | 0,122        | 0,174        |
|             | 0,098  | 0,032        | 0,025        |

Таблиця 3.5 – Результати аналізу тягово-швидкісних властивостей Volvo 8700 LE

| Передача      | 1        | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11     | 12     |
|---------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| $V_{1i}$      | 0,92     | 1,18    | 1,53    | 1,95    | 2,49    | 3,18    | 4,02    | 5,12    | 6,64    | 8,47    | 10,88  | 13,81  |
| $V_{2i}$      | 1,77     | 2,26    | 2,93    | 3,73    | 4,78    | 6,09    | 7,70    | 9,81    | 12,73   | 16,24   | 20,85  | 26,48  |
| $\delta_i$    | 6,70     | 4,53    | 3,11    | 2,31    | 1,82    | 1,52    | 1,34    | 1,22    | 1,15    | 1,11    | 1,08   | 1,07   |
| $u$           | 14,940   | 11,730  | 9,040   | 7,090   | 5,540   | 4,350   | 3,440   | 2,700   | 2,080   | 1,630   | 1,270  | 1,000  |
| $u_0$         | 4,110    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        |
| $M_1$         | 96,60    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        |
| $M_2$         | 90,28    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        |
| $M_n$         | 90,28    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        |
| $P_{1i}$      | 10838,56 | 8509,79 | 6558,27 | 5143,60 | 4019,12 | 3155,80 | 2495,62 | 1958,78 | 1508,98 | 1182,52 | 921,35 | 725,47 |
| $P_{2i}$      | 10129,49 | 7953,07 | 6129,22 | 4807,10 | 3756,18 | 2949,35 | 2332,36 | 1830,63 | 1410,26 | 1105,16 | 861,07 | 678,01 |
| $P_{w1i}$     | 0,32     | 0,52    | 0,88    | 1,43    | 2,34    | 3,79    | 6,06    | 9,84    | 16,58   | 26,99   | 44,46  | 71,71  |
| $P_{w2i}$     | 1,18     | 1,91    | 3,22    | 5,24    | 8,58    | 13,92   | 22,26   | 36,14   | 60,89   | 99,15   | 163,33 | 263,44 |
| $\Delta_{1i}$ | 0,60     | 0,47    | 0,36    | 0,29    | 0,22    | 0,18    | 0,14    | 0,11    | 0,08    | 0,06    | 0,05   | 0,04   |
| $\Delta_{2i}$ | 0,56     | 0,44    | 0,34    | 0,27    | 0,21    | 0,16    | 0,13    | 0,10    | 0,07    | 0,06    | 0,04   | 0,02   |
| $a_{1i}$      | 0,86     | 1,00    | 1,11    | 1,16    | 1,14    | 1,05    | 0,92    | 0,77    | 0,60    | 0,46    | 0,33   | 0,22   |
| $a_{2i}$      | 0,81     | 0,93    | 1,03    | 1,08    | 1,06    | 0,97    | 0,85    | 0,70    | 0,54    | 0,39    | 0,24   | 0,10   |
| $a_{ci}$      | 0,83     | 0,96    | 1,07    | 1,12    | 1,10    | 1,01    | 0,89    | 0,74    | 0,57    | 0,43    | 0,29   | 0,16   |
| $V_{MI}$      | 0,85     | 1,08    | 1,40    | 1,79    | 2,29    | 2,91    | 3,68    | 4,69    | 6,09    | 7,77    | 9,97   | 12,66  |
| $\Delta V_i$  | 0,92     | 1,18    | 1,53    | 1,95    | 2,49    | 3,18    | 4,02    | 5,12    | 6,64    | 8,47    | 10,88  | 13,81  |
| $t_i$         | 1,11     | 1,22    | 1,43    | 1,74    | 2,27    | 3,13    | 4,52    | 6,95    | 11,64   | 19,93   | 37,79  | 84,95  |
| $S_i$         | 0,36     | 0,67    | 1,25    | 2,12    | 3,41    | 5,11    | 7,15    | 9,63    | 12,58   | 15,27   | 17,02  | 15,51  |
| $P_{ci}$      | 10484,02 | 8231,43 | 6343,75 | 4975,35 | 3887,65 | 3052,58 | 2413,99 | 1894,70 | 1459,62 | 1143,84 | 891,21 | 701,74 |
| $V_{ci}$      | 1,31     | 1,67    | 2,16    | 2,76    | 3,53    | 4,50    | 5,69    | 7,25    | 9,41    | 12,01   | 15,41  | 19,57  |
| $TB_i$        | 0,03     | 0,05    | 0,08    | 0,12    | 0,17    | 0,23    | 0,29    | 0,35    | 0,38    | 0,39    | 0,35   | 0,26   |

Таблиця 3.6 – Результати аналізу тягово-швидкісних властивостей Volvo 7900 Hybrid

| Передача      | 1        | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11     | 12     |
|---------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| $V_{1i}$      | 0,74     | 0,95    | 1,23    | 1,56    | 2,00    | 2,55    | 3,22    | 4,11    | 5,33    | 6,80    | 8,73   | 11,09  |
| $V_{2i}$      | 1,36     | 1,73    | 2,25    | 2,87    | 3,67    | 4,67    | 5,91    | 7,53    | 9,77    | 12,47   | 16,00  | 20,32  |
| $\delta_i$    | 8,50     | 5,64    | 3,77    | 2,72    | 2,07    | 1,67    | 1,44    | 1,28    | 1,18    | 1,13    | 1,09   | 1,07   |
| $u$           | 14,940   | 11,730  | 9,040   | 7,090   | 5,540   | 4,350   | 3,440   | 2,700   | 2,080   | 1,630   | 1,270  | 1,000  |
| $u_0$         | 4,720    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        |
| $M_1$         | 75,22    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        |
| $M_2$         | 70,30    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        |
| $M_n$         | 70,30    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        |
| $P_{1i}$      | 10515,97 | 8256,51 | 6363,07 | 4990,51 | 3899,49 | 3061,88 | 2421,35 | 1900,48 | 1464,07 | 1147,32 | 893,93 | 703,88 |
| $P_{2i}$      | 9828,01  | 7716,37 | 5946,80 | 4664,03 | 3644,39 | 2861,57 | 2262,94 | 1776,15 | 1368,29 | 1072,27 | 835,45 | 657,83 |
| $P_{w1i}$     | 0,28     | 0,45    | 0,75    | 1,23    | 2,01    | 3,26    | 5,21    | 8,46    | 14,26   | 23,21   | 38,24  | 61,68  |
| $P_{w2i}$     | 0,93     | 1,51    | 2,54    | 4,12    | 6,75    | 10,96   | 17,52   | 28,44   | 47,92   | 78,02   | 128,53 | 207,30 |
| $\Delta_{1i}$ | 0,55     | 0,43    | 0,33    | 0,26    | 0,21    | 0,16    | 0,13    | 0,10    | 0,08    | 0,06    | 0,05   | 0,03   |
| $\Delta_{2i}$ | 0,52     | 0,41    | 0,31    | 0,25    | 0,19    | 0,15    | 0,12    | 0,09    | 0,07    | 0,05    | 0,04   | 0,02   |
| $a_{1i}$      | 0,62     | 0,73    | 0,84    | 0,90    | 0,92    | 0,87    | 0,79    | 0,67    | 0,53    | 0,41    | 0,30   | 0,20   |
| $a_{2i}$      | 0,58     | 0,68    | 0,78    | 0,84    | 0,85    | 0,81    | 0,72    | 0,61    | 0,48    | 0,35    | 0,23   | 0,11   |
| $a_{ci}$      | 0,60     | 0,71    | 0,81    | 0,87    | 0,88    | 0,84    | 0,76    | 0,64    | 0,50    | 0,38    | 0,26   | 0,15   |
| $V_{MI}$      | 0,62     | 0,79    | 1,02    | 1,30    | 1,67    | 2,12    | 2,69    | 3,42    | 4,44    | 5,67    | 7,27   | 9,24   |
| $\Delta V_i$  | 0,74     | 0,95    | 1,23    | 1,56    | 2,00    | 2,55    | 3,22    | 4,11    | 5,33    | 6,80    | 8,73   | 11,09  |
| $t_i$         | 1,23     | 1,33    | 1,51    | 1,79    | 2,26    | 3,03    | 4,27    | 6,42    | 10,58   | 17,91   | 33,46  | 72,47  |
| $S_i$         | 0,17     | 0,32    | 0,61    | 1,07    | 1,77    | 2,73    | 3,92    | 5,39    | 7,16    | 8,78    | 9,94   | 9,40   |
| $P_{ci}$      | 10171,99 | 7986,44 | 6154,94 | 4827,27 | 3771,94 | 2961,72 | 2342,14 | 1838,31 | 1416,18 | 1109,79 | 864,69 | 680,86 |
| $V_{ci}$      | 0,99     | 1,26    | 1,64    | 2,08    | 2,67    | 3,40    | 4,30    | 5,47    | 7,11    | 9,07    | 11,64  | 14,78  |
| $TB_i$        | 0,03     | 0,04    | 0,06    | 0,09    | 0,14    | 0,19    | 0,24    | 0,29    | 0,33    | 0,34    | 0,32   | 0,24   |

### 3.6 Аналіз результатів обстеження пасажиропотоків

Перевезення пасажирів автобусами загального користування здійснюється по маршрутній мережі, яка складається з автобусних маршрутів. Досліджуваний автобусний маршрут №126 вул. Селецька – с. Тетерівка. Час витрачений на маршрут в прямому і зворотному напрямку по 40 хв., довжина маршруту 16,22 км., середня швидкість руху 20 км/ч.

В даній магістерській роботі пасажиропотоки були обстежені табличним методом. Результати обстеження зведені в таблицю 3.7.

Таблиця – 3.7 Пасажирообмін зупиночних пунктів, пасажиропотоки, пасажирообіг на маршруті

| Прямий напрям                    |              |        |        |                  |
|----------------------------------|--------------|--------|--------|------------------|
| Зупинка                          | Відстань, км | Зайшло | Вийшло | Час відправлення |
| Тетерівка (к)                    | 2,7          | 3      | 0      | 7:48             |
| Західне шосе                     | 1,3          | 18     | 3      | 7:55             |
| Гідропарк                        | 0,95         | 0      | 3      | 8:00             |
| вулиця Чуматський шлях           | 0,55         | 9      | 6      | 8:03             |
| Завод Агромаш                    | 0,4          | 7      | 0      | 8:05             |
| Житомирська політехніка          | 0,25         | 4      | 1      | 8:06             |
| Торгівельно-економічний коледж   | 1,9          | 6      | 0      | 8:07             |
| майдан Соборний                  | 0,3          | 3      | 11     | 8:12             |
| вулиця Київська (готель Україна) | 0,19         | 0      | 14     | 8:13             |
| вулиця Київська                  | 0,27         | 0      | 9      | 8:14             |
| вулиця Небесної сотні            | 0,5          | 1      | 4      | 8:17             |
| вулиця Князів Острозьких         | 0,5          | 6      | 0      | 8:18             |
| вул. Івана Мазепи(на вимогу)     | 0,24         | 1      | 2      | 8:20             |
| Майдан Згоди                     | 0,28         | 1      | 3      | 8:21             |
| ТРЦ "Глобал"                     | 0,5          | 2      | 1      | 8:22             |
| Автовокзал                       | 0,45         | 2      | 1      | 8:24             |
| Залізничний вокзал               | 0,35         | 1      | 0      | 8:25             |
| вулиця Гоголівська               | 0,7          | 2      | 4      | 8:26             |
| вулиця Шевченка                  | 0,35         | 1      | 0      | 8:27             |
| ТЦ "ЗаТак"                       | 0,45         | 1      | 0      | 8:28             |
| вулиця Корольова                 | 0,6          | 5      | 2      | 8:30             |
| Майдан Польовий                  | 0,35         | 0      | 3      | 8:31             |
| фонтан Космонавт                 | 0,3          | 0      | 0      | 8:31             |
| вул. імені І. Огієнка            | 0,4          | 0      | 3      | 8:32             |
| вулиця Вітрука                   | 0,4          | 0      | 0      | 8:34             |
| вулиця Селецька                  | 0,35         | 0      | 3      | 8:36             |

## Продовження таблиці 3.7

| Зворотній напрям               |              |        |        |                  |
|--------------------------------|--------------|--------|--------|------------------|
| Зупинка                        | Відстань, км | Зайшло | Вийшло | Час відправлення |
| вулиця Селецька                | 0,4          | 0      | 0      | 8:38             |
| вулиця Вітрука                 | 0,55         | 0      | 0      | 8:39             |
| вулиця Івана Огієнка           | 0,55         | 13     | 0      | 8:42             |
| Майдан Польовий                | 0,6          | 6      | 0      | 8:43             |
| вулиця Корольова               | 0,4          | 5      | 0      | 8:45             |
| ТЦ "ЗаТак"                     | 0,26         | 0      | 2      | 8:46             |
| вулиця Шевченка                | 0,35         | 4      | 0      | 8:47             |
| вулиця Гоголівська             | 0,21         | 0      | 1      | 8:50             |
| Залізничний вокзал             | 0,5          | 0      | 3      | 8:51             |
| Автовокзал                     | 0,5          | 1      | 3      | 8:53             |
| ТРЦ "Глобал"                   | 0,45         | 3      | 5      | 8:55             |
| майдан Згоди                   | 0,4          | 6      | 3      | 8:57             |
| вулиця Князів Острозьких       | 0,17         | 0      | 2      | 8:59             |
| вулиця Хлібна                  | 0,45         | 4      | 4      | 9:00             |
| вулиця Небесної сотні          | 0,4          | 5      | 2      | 9:02             |
| вулиця Покровська              | 0,27         | 2      | 1      | 9:04             |
| кафе Поліський чай             | 0,35         | 6      | 4      | 9:05             |
| вулиця Л. Качинського          | 1,4          | 2      | 1      | 9:07             |
| Монумент Слави                 | 0,45         | 0      | 0      | 9:10             |
| Торгівельно-економічний коледж | 0,35         | 0      | 4      | 9:10             |
| Житомирська політехніка        | 0,28         | 0      | 6      | 9:11             |
| вулиця Зв'язківців             | 0,4          | 2      | 4      | 9:12             |
| Спорткомплекс "Динамо"         | 0,35         | 0      | 3      | 9:13             |
| вулиця Чуматський шлях         | 0,5          | 1      | 3      | 9:14             |
| Гідропарк                      | 0,9          | 0      | 0      | 9:14             |
| Західне шосе                   | 1,3          | 0      | 2      | 9:16             |
| Тетерівка (к)                  | 2,7          | 0      | 7      | 9:21             |

Пасажиропотік характеризує навантаження транспортної мережі міста за напрямками руху в кожний період часу. Пасажиропотоки характеризуються потужністю. Дані про потужність пасажиропотоків використовуються для вибору автобусів необхідної місткості та визначення необхідної кількості автобусів, що забезпечували б раціональну ефективність їх використання та високий рівень обслуговування пасажирів.

Пасажиропотоки змінюються за своєю структурою в часі і в просторі, за своїм спрямуванням і інтенсивністю зростання, утворюючи відповідні стійкі

спади за годинами доби, днями тижня і сезонами року.

Таблиця 3.8 – Пасажиропотік за день роботи одного автобуса на маршруті.

| Прямий напрям                    |            |            | Зворотній напрям               |            |            |
|----------------------------------|------------|------------|--------------------------------|------------|------------|
| Зупинка                          | Зайшл<br>о | Вийшл<br>о | Зупинка                        | Зайшл<br>о | Вийшл<br>о |
| Тетерівка (к)                    | 17         | 0          | вулиця Селецька                | 6          | 0          |
| Західне шосе                     | 21         | 3          | вулиця Вітрука                 | 0          | 0          |
| Гідропарк                        | 0          | 3          | вулиця Івана Огієнка           | 40         | 0          |
| вулиця Чуматський шлях           | 18         | 6          | Майдан Польовий                | 13         | 1          |
| Завод Агромаш                    | 31         | 2          | вулиця Корольова               | 13         | 2          |
| Житомирська політехніка          | 37         | 1          | ТЦ "ЗаТак"                     | 2          | 3          |
| Торгівельно-економічний коледж   | 44         | 0          | вулиця Шевченка                | 9          | 4          |
| майдан Соборний                  | 7          | 21         | вулиця Гоголівська             | 1          | 6          |
| вулиця Київська (готель Україна) | 5          | 41         | Залізничний вокзал             | 1          | 6          |
| вулиця Київська                  | 14         | 26         | Автовокзал                     | 14         | 15         |
| вулиця Небесної сотні            | 21         | 19         | ТРЦ "Глобал"                   | 28         | 13         |
| вулиця Князів Острозьких         | 13         | 20         | майдан Згоди                   | 14         | 7          |
| вул. Івана Мазепи (на вимогу)    | 1          | 5          | вулиця Князів Острозьких       | 1          | 2          |
| Майдан Згоди                     | 5          | 15         | вулиця Хлібна                  | 12         | 14         |
| ТРЦ "Глобал"                     | 8          | 15         | вулиця Небесної сотні          | 28         | 10         |
| Автовокзал                       | 6          | 12         | вулиця Покровська              | 11         | 5          |
| Залізничний вокзал               | 4          | 2          | кафе Поліський чай             | 33         | 4          |
| вулиця Гоголівська               | 2          | 12         | вулиця Л. Качинського          | 16         | 10         |
| вулиця Шевченка                  | 1          | 11         | Монумент Слави                 | 0          | 1          |
| ТЦ "ЗаТак"                       | 3          | 5          | Торгівельно-економічний коледж | 1          | 21         |
| вулиця Корольова                 | 5          | 6          | Житомирська політехніка        | 2          | 19         |
| Майдан Польовий                  | 1          | 12         | вулиця Зв'язківців             | 2          | 27         |
| фонтан Космонавт                 | 0          | 7          | Спорткомплекс "Динамо"         | 0          | 11         |
| вул. імені І. Огієнка            | 0          | 13         | вулиця Чуматський шлях         | 2          | 24         |
| вулиця Вітрука                   | 0          | 2          | Гідропарк                      | 0          | 0          |
| вулиця Селецька                  | 0          | 5          | Західне шосе                   | 2          | 9          |
|                                  |            |            | Тетерівка (к)                  | 0          | 37         |
| Всього                           | 264        | 264        |                                | 251        | 251        |

Результат оцінки енергоефективності автобуса для кожної зупинки наведений на діаграмах рис. 3.8, рис. 3.9

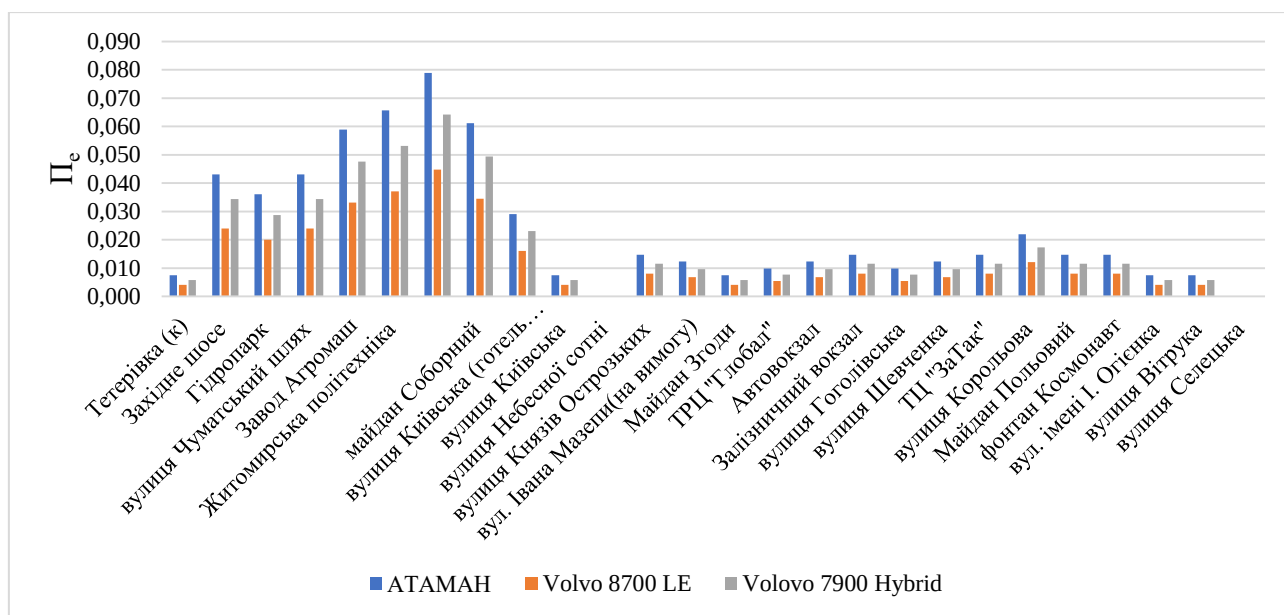


Рис. 3.8 – Значення показника енергетичної ефективності АТЗ для кожної зупинки з урахуванням використання пасажиромісць прямий напрям

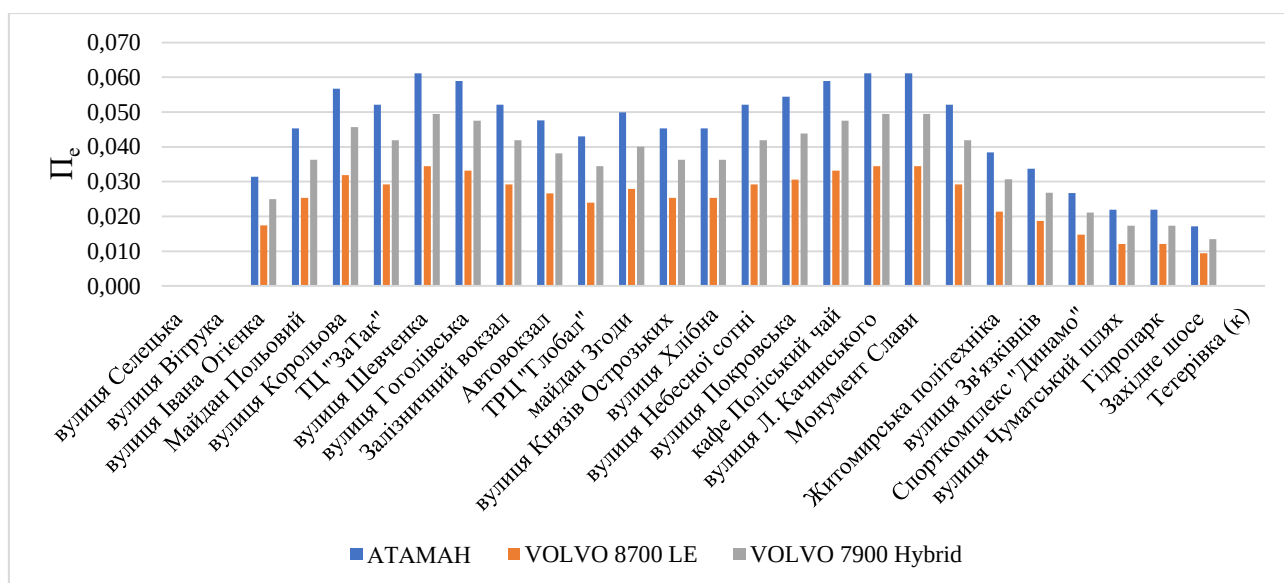


Рис. 3.9 – Значення показника енергетичної ефективності АТЗ для кожної зупинки з урахуванням використання пасажиромісць зворотній напрям

В результаті проведених розрахунків було виявлено що найбільш енергоефективним автобусом для маршруту №126 є ISUZU ATAMAN A092H6 так як він показує найбільш високі показники енергоефективності впродовж

всього маршруту.

### **Висновки до розділу 3**

Застосована методика моделювання енергоефективності автобуса з урахуванням його конструкції, яка розглядається. Завдяки застосуванню модульної схеми узагальненого агрегату з використанням апаратного та програмного забезпечення, необхідні зміни в програмному забезпеченні зводяться до мінімуму, та умови порівняльного аналізу залишаються незмінними як щодо фізичних, так і вартісних параметрів.

Розроблено і запропоновано методику обґрунтування транспортно-технологічних та енергетичних якостей ТЗ, яка враховує зміни технічних параметрів.

Рівень експлуатаційно-технологічних якостей визначається двома показниками: результативності технологічних дій і енергетичної ефективності. Чим більше значення цих показників тим більше вони придатні до енергозберігаючих технологій.

Отримані математичні залежності між енергоеквівалентними показниками собівартості перевезень та продуктивності автобуса і його конструктивними параметрами на основі моделювання енергоресурсної ефективності перевезень.

Встановлено, що дискретне представлення часу руху, енерговитрат, витрат палива, енергетичної результативності технологічного впливу дозволяє оптимізувати алгоритми керування автомобілем за критерієм його ефективності.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішена важлива науково-технічна задача підвищення транспортної енергетичної ефективності перевезень шляхом використання методу комплексного обґрунтування автобусів як носіїв технічних ресурсів автотранспорту із урахуванням конструктивно-технічних, дорожніх та транспортно-експлуатаційних факторів, що дозволяє забезпечити реалізацію концепції експлуатаційно-технологічного збереження енергії в процесах автобусних перевезень. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Аналіз існуючих методів обґрунтування оновлення рухомого складу автобусних парків, виявив, їх не відповідність концепції енергозбереження на автотранспорті, оскільки в них використовується спрощений метод підвищення противитратної ефективності автобусних перевезень.

2. З метою аналізу впливу конструктивних параметрів, умов перевезень і характеристик дороги використана модульна схема структурно-параметричної організації автобуса узагальненого типу, а також енергетично нормалізована схема перевізного процесу, яка передбачає порівняння енергетичних характеристик заданого та еталонного автобуса.

3. Запропоновано показник енерговіддачі автобуса для оцінки технологічного рівня перевезень, який визначається відношенням транспортної роботи, виконаної автобусом, до енерговитрат на його переміщення. Виявлено, що підвищення даного показника сприяє збільшенню технологічного рівня перевезень.

4. За допомогою розроблених математичних моделей показників транспортно-технологічної якості АТЗ був проведений аналіз впливу зміни конструктивних параметрів, умов перевезень та характеристик дороги на технологічний рівень перевезень.

5. Проведені розрахунки енергоефективності на маршруті №126 міста Житомир, в результаті було виявлено, що найбільш енергоефективним

автобусом для даного маршруту є ISUZU ATAMAN A092H6. При збільшенні пасажиропотоку, якщо ISUZU ATAMAN A092H6 за пасажиромісткістю не зможе задовільнити потреби споживача, Volvo 7900 Hybrid буде показувати більший рівень енергоефективності.

5. Встановлено, що дискретне представлення часу руху, енерговитрат, витрат палива, енергетичної результативності технологічного впливу дозволяє оптимізувати алгоритми керування автомобілем за критерієм його ефективності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. IEA – International Energy Agency (2010): World Energy Outlook 2010. IEA/OEC D, Paris
2. GTZ (ed.) (2012): Urban Transport and Energy Efficiency Module 5h
3. IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2008)
4. Піцик М. Г., Хмельов І. В. Шляхи реалізації технологічної концепції комплексного збереження енергії та ресурсів у системі автобусних перевезень. LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2019. С 246.
5. Хабутдінов Р. А. Концептуальна характеристика транспортної системи та її інтегративної властивості // Управління проектами, системний аналіз і логістика. 2006. № 3. С. 153 – 157.
6. Хабутдінов Р. А., Коцюк О. Я. Енергоресурсна ефективність автомобіля. К. : УТУ, 1997. 137 с.
7. Мороз М.М. Удосконалення транспортної системи пасажирських перевезень м. Кременчук. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Полтава : ПолтНТУ, 2014. Вип. 2 (41), С. 156-164.
8. Піцик М.Г. Дослідження експлуатаційно-технологічних якостей автобусів на міському маршруті за енергетичними критеріями. LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2011. С. 168.
9. Піцик М.Г. Методика моніторингу енергетичної ефективності міських автобусів. LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2012. С. 200.
10. Хабутдінов Р. А., Коцюк О. Я. Енергоресурсна ефективність автомобіля. К. : УТУ, 1997. 137 с.

11. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430. К. : КМУ, 2018.
12. Піцик М. Г. Аналіз експлуатаційно-технологічних якостей міських автобусів. LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2018. С 231.
13. Хабутдінов Р. А. Методи параметричного аналізу автомобілів для ресурсозбереження // Автошляховик України // Вісник ЦНЦ ТАУ. 2000.-№ 3. С. 33-34.
14. Про затвердження Порядку проведення конкурсу з перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування : Постанова Кабінету Міністрів України від 03.12.2008 № 1081. К. : КМУ, 2008.
15. Закон України “Про автомобільний транспорт” № 22. К. : ВРУ, 2001.
16. Піцик М. Г. Вдосконалення конкурсної методики оцінки перевізників при виборі автобусів на маршрут // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. К. : 2012. № 9. С. 155-157.
17. Піцик М. Г. Аналіз методики конкурсного вибору перевізників на міських маршрутах. LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних співробітників університету: тези доповідей. Київ, 2014. С 205.
18. Піцик М. Г. Експлуатаційне обґрунтування параметрів міських автобусів по їх транспортній ефективності // Вісник Національного транспортного університету. К. : 2012. № 26(2). С. 254-258.
19. Піцик М. Г., Хмельов І. В. Методика оцінки транспортно-технологічної якості транспортних засобів. LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2014. С 204.
20. Піцик М. Г. Методика оцінки техніко-технологічних якостей автобусів, що здійснюють перевезення по місту. LXXI наукова конференція

професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2015. С 256.

21. Піцик М. Г. Методика обґрунтування вибору автобуса на міський маршрут з урахуванням його транспортної енергоефективності. LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ, 2016. С 231.

22. Дмитриченко М. Ф., Яцківський Л. Ю., Ширяєва С. В., Докуніхін В. З. Основи теорії транспортних процесів і систем: навчальний посібник для ВНЗ. К. : Видавничий Дім «Слово», 2009. 336 с.

23. 14. Ігнатенко О. С., Маруніч В. С. Організація автобусних перевезень у містах. К. : УТУ, 1998. 196 с.

24. 15. Доля В. К. Пасажирські перевезення. Харків : Форт, 2011. 504 с.

25. Прокудін Г.С., Омаров Д.М. Підвищення ефективності та якості автобусних пасажирських перевезень. LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ: НТУ, 2014. С. 209.

26. Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Омаров Д.М. Підвищення продуктивності та якості автобусних пасажирських перевезень в місцях-конгломераціях // Науковотехнічний збірник «Вісник НТУ». Київ: НТУ, 2016. № 1 (34). Серія «Технічні науки». С. 378–387.

27. Прокудін Г.С., Прокудін О.Г., Омаров Д.М. 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.

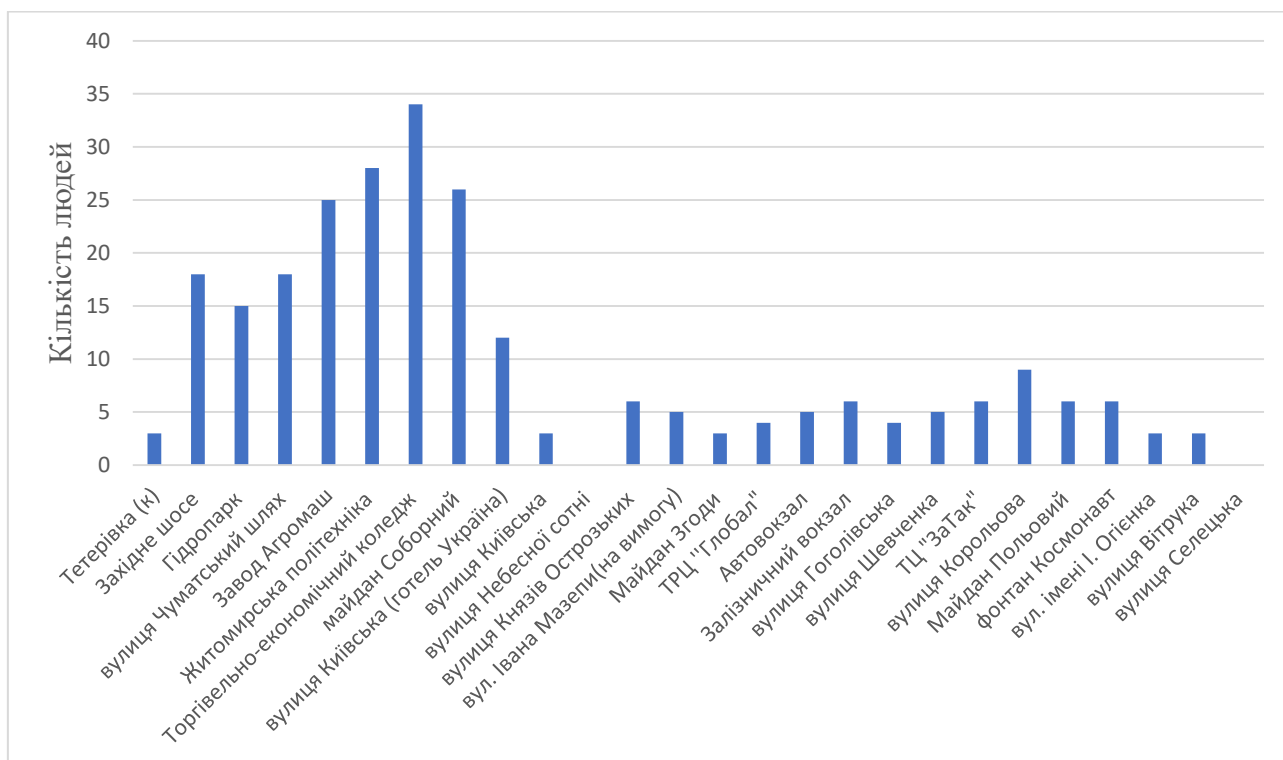
28. Єрмак О.М., Пустовіт В.І. Щодо визначення якості пасажирських перевезень / Міжвузівський збірник „Наукові нотатки”. Київ, 2014. Вип. 46. С. 170–176.

29. 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.
30. Хабутдінов Р. А., Піцик М. Г. Обґрунтування вибору автобусів з використанням моделі енергетичного показника собівартості // Вісник Національного транспортного університету. 2009. № 19(2). С. 111 – 114.
31. brochure[https://wikibus.blob.core.windows.net/sources5307/VOLVO%207900%20\(ENG\).pdf](https://wikibus.blob.core.windows.net/sources5307/VOLVO%207900%20(ENG).pdf)

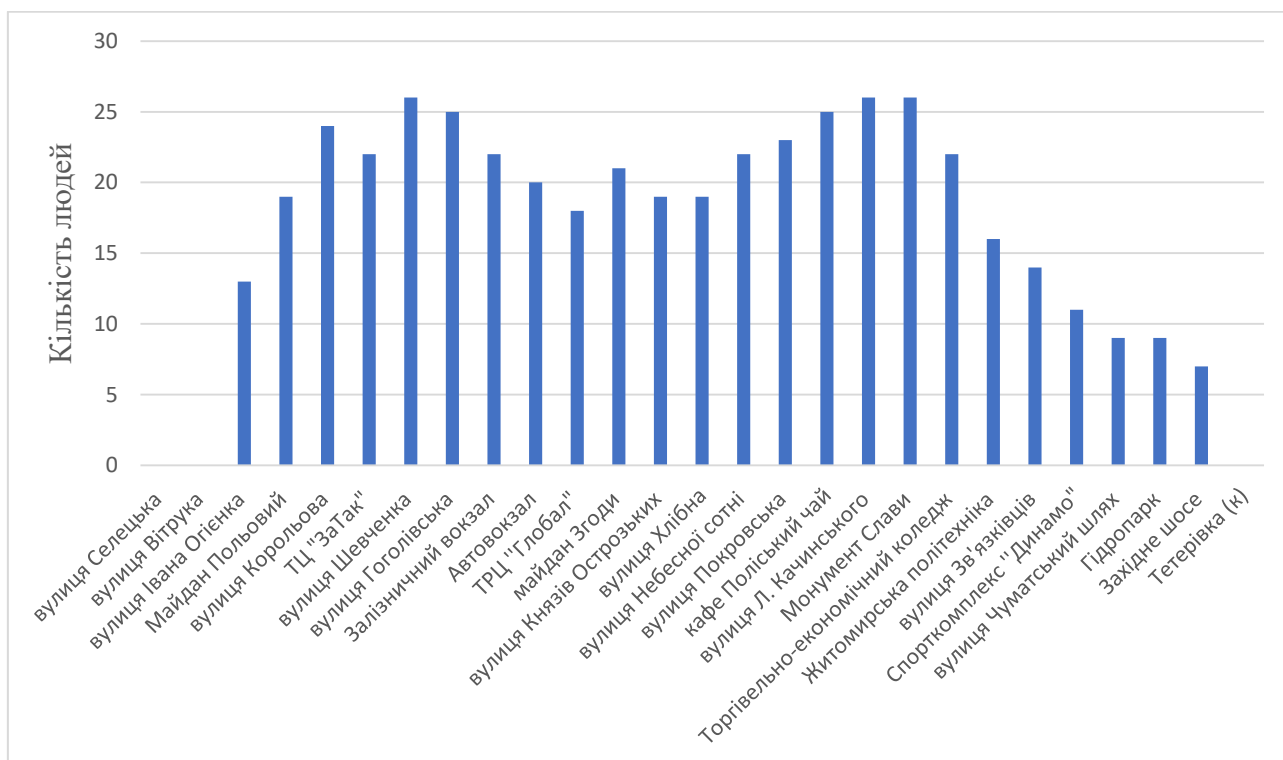
## ДОДАТКИ

### Додаток А

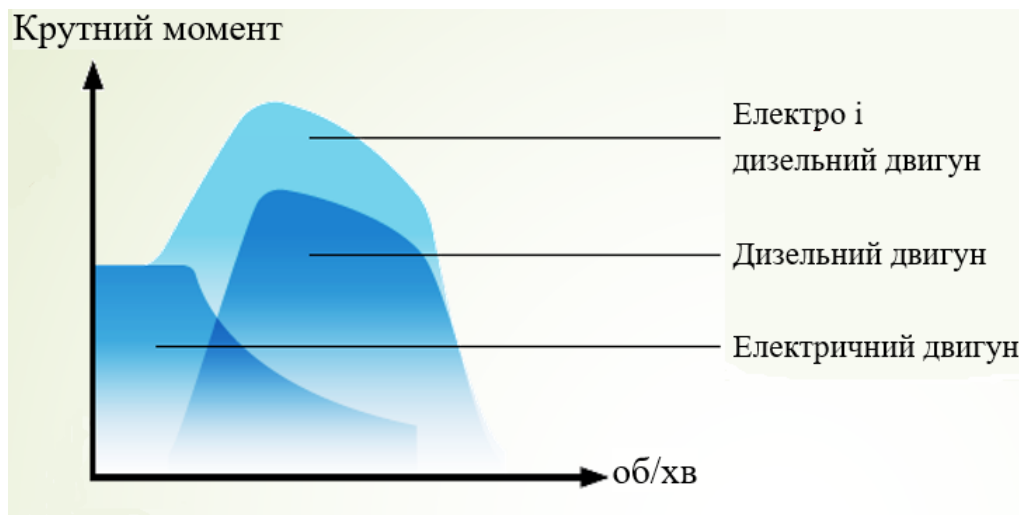
#### Графіки використання пасажиромісткості на маршруті



#### Прямий напрям

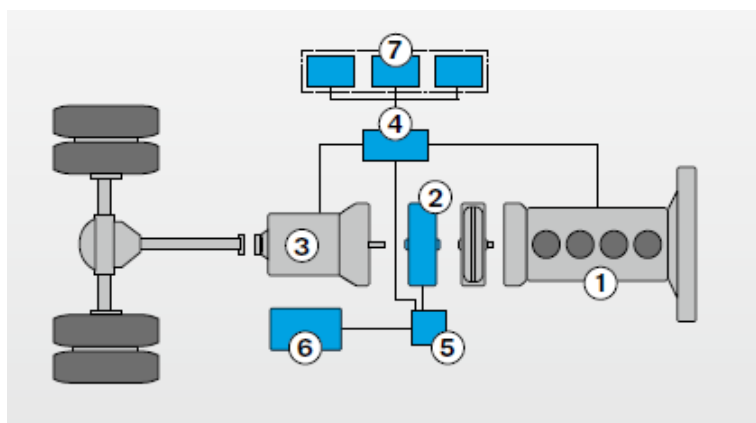


#### Зворотній напрям



Принцип роботи гібридного двигуна.

Дизельний двигун запускається, коли електродвигун розганяє автобус. Тоді два джерела живлення працюють у тандемі, а вражаючі властивості електродвигуна на низьких обертах додають дизельному двигуну чудову тягову потужність на вищих обертах [31].



Основні компоненти гібридної системи Volvo:

1. Дизельний двигун, 2. Електричний двигун/генератор I-SAM 3. Трансмісія
4. Блок керування трансмісією (PMU) 5. Перетворювач енергії DC/DC 600В/24В 6. Батареї 7. Електрифіковані допоміжні пристрої [31].

Дискові гальма Volvo з електронним керуванням (EBS). Функція змішування гальм. Автоматичні трансмісії мають вбудований сповільнювач. На Volvo 7900 Hybrid, електродвигун I-SAM діє як сповільнювач і накопичує енергію гальмування.