

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко-технологічний факультет**

**ПОГОДЖЕНО**  
Декан механіко-технологічного  
факультету

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри транспортних  
технологій та засобів у АПК

\_\_\_\_\_ В. Братішко

\_\_\_\_\_ Савченко Л.А.

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему «Дослідження транспортного процесу перевезень та удосконалення якісних показників при наданні пасажирських послуг»**

Спеціальність: 275 «Транспортні технології (за видами)»

Освітня програма: «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми:**

Доктор економічних наук, професор \_\_\_\_\_ Загурський О.М.

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:** к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Бондарєв С.І.

**Виконав**

\_\_\_\_\_ Дзєндзюра П.М.

**КИЇВ – 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко-технологічний факультет**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

**Транспортних технологій та засобів у АПК**

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Савченко Л.А.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

**Дзендзюрі Петру Миколайовичу**

Спеціальність: 275 «Транспортні технології (за видами)»

Освітня програма: «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: **«Дослідження транспортного процесу перевезень та удосконалення якісних показників при наданні пасажирських послуг»**

затверджена наказом ректора НУБіП України від “13” листопада 2024 р. № 2037 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2025. 11. 15

Вихідні дані до роботи: річні звіти про роботу дослідного автопідприємства, довідкова література, офіційні інтернет джерела.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1) Характеристика автотранспортного підприємства на ринку пасажирських автомобільних послуг та звітні показники роботи автобусів;

2) проектування процесу транспортування пасажирів за визначених якісних показників транспортної послуги та використання транспорту на альтернативному виді пального;

3) Розрахунок економічної оцінки запропонованих заходів та рекомендації.

Дата видачі завдання “ 10 ” жовтня 2024 р.

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_

Бондарев С.І.

**Завдання прийняв до виконання**

\_\_\_\_\_

Дзєндзюра П.М.

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему: «Дослідження транспортного процесу перевезень та удосконалення якісних показників при наданні пасажирських послуг» викладена на 72 сторінках комп'ютерного тексту й містить 12 ілюстрацій, 12 таблиць, 73 літературних джерел. Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та списку літературних джерел.

Для написання підприємство КП «Київпастрас» представлено в аспекті перевезень пасажирів на міських маршрутах міста Києва. Досліджено організаційні та управлінські засади транспортного процесу і запропоновані шляхи удосконалення рухомого більш екологічного рухомого складу. Обґрунтовано доцільність упровадження CNG-автобусів для використання їх на маршрутах м. Києва у години «ПІК».

Результатами досліджень підтверджено ефективність, раціональність і екологічну доцільність CNG-автобусів. Проведені розрахунки економічної оцінки упровадження розроблених заходів свідчать про економію витрат до 30% при проектуванні з упровадження CNG-автобусів в перспективі на 14 років експлуатації.

*Метою магістерської роботи є дослідження й удосконалення транспортного процесу перевезень пасажирів в умовах роботи КП «Київпастрас» із запровадженням CNG-автотранспорту.*

*Об'єктом магістерської роботи є транспортний процес при перевезенні пасажирів у міському сполученні.*

*Предметом досліджень є теоретичні та методичні аспекти, практичний інструментарій управління автотранспортними перевезеннями пасажирів у міському сполученні з використанням CNG-автотранспорту.*

До завдань досліджень віднесені наступні питання:

- Детальний аналіз діяльності КП «Київпастрас» з організації пасажирського перевізного процесу в міських умовах.

- Дослідити, обґрунтувати і порівняти роботу автобусів, котрі працюють на дизельному та CNG-пальві.
- Виконати аналіз і розрахувати витрати на перевезення пасажирів в міських умовах для автобусів, котрі працюють на дизельному й CNG-пальві.
- Надати глибокий аналіз відповідних витрат і зробити прогноз на 14 років експлуатації автобусів, котрі працюють на дизельному та CNG-пальві.
- Проаналізувати і надати екологічну оцінку роботи дизельних і CNG-автобусів на міських пасажирських лініях.
- Висвітлити основні засади з озорони праці і безпеки при виконанні пасажирських перевезень CNG-транспортом.

*Ключові слова:* пасажирські перевезення, міські перевезення, CNG-автобуси, ефективність перевезень CNG-транспортом, організація автопідприємства для роботи з CNG-транспортом, екологічні аспекти CNG-транспорту, охорона праці і безпеки пасажирських перевезень CNG-транспортом.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ І ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДНОГО ПІДПРИЄМСТВА .....	11
1.1 Основні аспекти діяльності КП «Київпаstrans».....	11
1.2 Виробничі проблеми підприємства та напрямки її вирішення .....	13
1.3 Автобусний рухомий склад КП «Київпаstrans» .....	16
1.4 Зона обслуговування пасажирської маршрутної мережі підприємством у м. Києві .....	18
Висновки до розділу 1 .....	21
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРАТЕГІЙ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ .....	22
2.1 Основні аспекти розвитку автомобільного транспорту щодо економії енергії мобільних установок.....	22
2.2 Напрями щодо підвищення екологічної безпеки автотранспорту .....	24
2.3 Напрями щодо зменшення собівартості перевезень за рахунок використання «екологічного» автотранспорту .....	26
2.4 Основні відомості досліджень науковців щодо забруднення атмосферного повітря автотранспортом .....	30
2.5 Пасажирський автобусний транспорт у Києві та обсяги його викидів забруднюючих речовин .....	33
Висновок до розділу 2.....	36
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ І ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ МІСЬКИХ НАЗЕМНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.....	37
3.1 Вихідні параметри при дослідженні економічної ефективності роботи автобусів .....	37

3.2 Основні витрати при експлуатації дизельних і CNG-автобусів .....	39
3.3 Витрати на експлуатацію дизельних і CNG-автобусів приведених до граничного строку експлуатації.....	44
Висновок до розділу 3 .....	49
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ CNG-СИСТЕМ НА ПАСАЖИРСЬКОМУ АВТОТРАНСПОРТІ	
ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ .....	51
4.1. Загальна характеристика та ризики роботи автобусів з двигунами CNG .....	51
4.2. Технічні засоби з безпеки та вимоги при проектуванні і обладнанні техніки .....	52
4.3. Законодавство і правові норми щодо охорони праці і техніки безпеки при організації роботи з автомобільною технікою .....	55
4.4. Організація перевезень та порівняльна характеристика СПГ- і дизельного транспорту .....	56
4.5. Основні положення щодо охорони праці і безпеки водія CNG-автобуса .....	57
Висновки до розділу 4 .....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	63

## ВСТУП

Сьогодні, у сучасних умовах розвитку міст і їх агломерацій питання організації безпечних, якісних і екологічно доцільних пасажирських перевезень набуло особливого значення. Загалом транспортна система нині є не лише складовою певної міської інфраструктури, але й важливим чинником соціально-економічного розвитку нашого суспільства. Ефективність останньої впливає безпосередньо на комфорт проживання населення міст, мобільність їх трудових ресурсів і в цілому конкурентоспроможність економіки. Однак разом автомобільний транспорт, котрий є основним видом міських перевезень, лишається одним із головних джерел забруднення атмосфери.

За даними Департаменту екології КМВА, частка викидів від застосованого в місті автотранспорту у структурі забруднення повітря м. Києва становить близько 80 %, що і є критичним показником щодо такого великого міста. Основні джерела забруднення є дизельні автотранспортні засоби зокрема автобуси громадського транспорту, вантажний транспорт, двигуни яких засмічують навколишнє середовище оксидом азоту, чадним газом, сажею і твердими надшкідливими частинками  $PM_{2.5}$ , що невиправно шкодять здоров'ю населення. Саме тому тема щодо оновлення автотранспортного рухомого складу та переходу на екологічно чисті види пального нині є досить актуальною.

Останнім часом в Україні відзначається повільний і поступовий перехід транспортних підприємств до використання альтернативних енергоносіїв. Зокрема, одним із найбільш перспективних напрямів вважається впровадження автобусів на стислому природному газі (надалі CNG). Це надає змогу зменшити викиди надшкідливих речовин у повітря в міській зоні на 20–25 % порівняно з аналогами автотранспорту з дизельними двигунами, а також скорочувати витрати пального майже на 26-30 %.

Нині у світовій практиці вказаний вид палива зарекомендував себе давно, як оптимальне поєднання і економічності, і екологічності. Така

тенденція стосується особливо великих міст, де автобуси працюють у режимі інтенсивного щоденного навантаження.

Водночас в українській столиці функціонування пасажирського автотранспорту здійснюється переважно на базі дизельних автобусів, середній вік котрих перевищує 10–12 років (межа ресурсу). Частина автопарку КП «Київпастрасу» як фізично, так і морально застаріла, що суттєво впливає не лише на якісні показники перевезень, але й на екологічний стан міської атмосфери. У 2024 році підприємство обслуговувало понад 90 міських пасажирських маршрутів й експлуатувало майже 530 автобусів (максимальна потужність), значна частина котрих належить до екостандарту Євро-3(4), тобто морально застарілого рівня. Враховуючи те, що відповідно до урядових ініціатив, з 01.01.2027 року в Україні планують перехід на екостандарти Євро-6, що передбачає посиленого контролю щодо рівня шкідливих викидів й оновлення рухомого складу (РС). Для низки підприємств міського автотранспорту це означає необхідність не лише кардинальної модернізації автотранспорту, але і оптимізації самого пасажирського транспортного процесу, аби ж забезпечити ефективне повнофункціональне використання власних ресурсів.

Отож підсумуємо. Актуальність теми представленої нижче магістерської роботи полягає у проведенні детального дослідження шляхів з удосконалення транспортного процесу пасажирських міських перевезень і підвищення якісних показників з надання відповідних послуг шляхом впровадження автобусів, що працюють на стислому природному газі CNG. Як свідчать численні аналітичні ресурси і результати практичного використання CNG-автотранспорту, використання останніх дозволить з часом одночасно вирішувати і економічні, і технічні, а також і особливо «екологічні завдання», котрі дадуть можливість створювати умови для поступового переходу підприємств різної форми власності до більш сучасних стандартів транспортної мобільності.

Практична цінність подібних напрямів досліджень полягає у можливості запровадження аналогічних рішень у діяльність автотранспортних підприємств. За результатами численних досліджень, котрі були проведені у реальних умовах використання CNG-автотранспорту маємо наступну статистику, яка підтверджує, що транспорт на CNG-паливі має витрати на пального до 30 % менше, а рівень шкідливих викидів у доквілля зменшується більше аніж 22 %, що є значущим екологічним ефектом для громадян [26].

Окрім зазначеного, CNG-транспорт нижчим рівнем шуму характеризуються, тобто до 75 дБ (для дизельного транспорту - 85–90 дБ). Са самою важливою особливістю являється ресурс CNG-двигунів, котрі мають в середньому на 15–20 % більше, а в міських умовах навіть – до 28-32%, що дозволяє скоротити значні обсяги на проходження ТО і продовжити термін експлуатації транспорту.

Застосування CNG-автобусів також змогу дає зменшити викиди надшкідливих речовин разом з вихлопними газами: оксиду азоту - у 2,5 раза, твердих частинок - у 5–6 разів (порівняно з дизелем). Таким чином, заміна лише 10-20 одиниць старих автобусів на нові CNG-автобуси дозволить зменшити річні шкідливих викиди приблизно на 160–200 тонн CO<sub>2</sub>-еквівалента.

Науковою новизною представленої роботи є розроблення комплексного підходу щодо оцінки техніко-економічної й екологічної ефективності CNG-автотехніки, котра працює у міських умовах і основана на поєднанні як економічних, так і природозахисних показників.

Ця робота, як одна із нечисленних досліджень, проведена для умов м. Києва, де представлено порівнювальний аналіз ефективності використання CNG- й дизель-автобусів із урахуванням тривалого терміну експлуатації (14 років).

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що запропоновані рекомендації можуть бути застосовані для оптимізації міської маршрутної мережі й оновлення автопарку КП «Київпаstrанс», а також для

підготовки міських київських програм розвитку щодо екологічного автотранспорту. Результати даної роботи можуть також стати підґрунтям і для подальших досліджень стосовно переходу навіть на водневі чи електричні енергетичні установки для міському автотранспорті.

Отже, в цілому, проведене нами дослідження сприятиме ефективному розв'язанню важливих задач із удосконалення транспортного процесу, зростання енергоефективності й особливо екологічної безпеки довкілля. Запропоновані нами рішення повністю відповідають стратегічним напрямкам розвитку автотранспортної української галузі та можуть практично бути реалізовані у діяльності автопідприємств середніх і великих міст

Підсумком представленої роботи вважається як прикладне значення вирішення транспортної задачі, так і соціально-екологічної, оскільки надані результати сприятимуть створенню позитивних умов для розвитку міського автотранспорту, підвищення екологічної якості життя населення у місті Києві.

## РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ЗАСАДИ ДІЯЛЬНОСТІ І ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДНОГО ПІДПРИЄМСТВА

### 1.1 Основні аспекти діяльності КП «Київпаstrанс»

Повне найменування дослідного автопідприємства – Комунальне підприємство «Київпаstrанс». КП «Київпаstrанс» – комунальне підприємство Київської міської ради, створене рішеннями міської влади наприкінці 2000 року та зареєстроване 26 жовтня 2001 року [1]. Форма власності – комунальна [2]. Основний вид діяльності – пасажирські перевезення наземним транспортом згідно КВЕД 49.31 [2]. Підприємство підпорядковане Департаменту транспортної інфраструктури КМДА і займається перевезенням пасажирів як автобусами, так і тролейбусами, трамваями, фунікулером [3].

Переважно можна віднести до стратегічних напрямів діяльності підприємства це забезпечення сталої так званої міської мобільності, розвиток мережі громадського транспорту загального користування та наступне впровадження сучасних стандартів у перевезеннях пасажирів [4].

Після здобуття Україною незалежності у 1991 році практично увесь столичний громадський транспорт залишався поділеним поміж кількома комунальними підприємствами, а саме: КП «Київелектротранс» відповідало за надання перевезень тролейбусами і трамваями, а автобусами – міське об'єднання автотранспорту. Економічна криза по всій Україні 1990-х років значно ускладнила оновлення пасажирського рухомого складу і ефективне фінансування перевезень. Але 26 жовтня 2001 року згідно рішення Київради з двох підприємств було створено єдине підприємство - «Київпаstrанс». Це практичне рішення підсилило ефективність роботи і дало змогу централізувати систему управління усіма видами наземного пасажирського громадського транспорту у столиці.

Отже новостворене підприємство почало достатньо активно оновлювати транспорт. У період 2002–2005 років на маршрути вийшли сотні нових

автобусів і тролейбусів, серед яких вже були й перші низькопольні автобуси. У цей період ремонтували техніку і поступово оновлювали депо.

Одним із помітних проєктів став запуск відповідної міської електрички у період 2009–2013 років, тобто це є, так зване, залізничне кільце, котре з'єднало переважну більшість районів Києва. До початку 2010-х «Київпаstrанс» уже обслуговував понад 170 різних маршрутів і щодня перевозив приблизно мільйон киян.

У 2014, після зміни керівника підприємства, та наступні роки стали періодом серйозного оновлення рухомого складу. Місто у особі Київради домовилося про щедрі кредити з Європейським інвестиційним банком, щоб купити сучасні трамваї й автобуси. Так, вже у 2018 році оголосили деякі тендери на десятки сучасних нових низькопольних автобусів і також кілька трисекційних сучасних трамваїв.

З'явилася можливість залишати відгуки про якість перевезень через мобільні додатки. Саме в цей час почалася поетапна реалізація електронного квитка – «Kyiv Smart Card», яка згодом стала універсальною для всього міського транспорту.

Як відомо, карантин через COVID-19 вплинув серйозно на роботу всього підприємства, тобто пересування пасажирів стало менше і, як наслідок, прибутки впали. Але оновлення транспорту практично не зупинилося: закуповувалися нові як автобуси, так і трамваї.

У 2022 році повномасштабна війна поставила перед дослідним підприємством «Київпаstrансом» деякі нові завдання. Транспорт почав зупинятися під час повітряних тривог біля укриттів і відновлював рух майже після відбою. Попри певні складні умови, автобуси, трамваї та тролейбуси продовжували працювати.

Певним чином 2024 рік приніс позитивні кадрові зміни – керівництво підприємства кардинально оновилося. Водночас продовжується оновлення парку рухомого складу. Укладаються угоди на постачання сучасних трисекційних трамваїв «Татра-Юг» і нових комфортабельних автобусів.

Але певним чином разом із позитивними змінами на виробництві є й певні проблеми. Підприємство має деякі великі фінансові збитки й залежить від відносно великих дотацій міста. Час від часу виникають корупційні скандали, пов'язані із розкраданням певних коштів або непрозорими тендерами (конкурсами).

Але все ж таки, попри все це «Київпаstrанс» лишається головним перевізником столиці. На даний час щодня транспортом «Київпаstrанс» користуються сотні тисяч людей. Перед підприємством стоїть непросте завдання – не тільки оновлювати техніку, а й стабілізувати фінанси, щоб забезпечити киянам зручний і сучасний транспорт, організувати ефективні маршрути, котрі будуть з мінімальною кількістю пересадок, якість надання послуг з перевезень, тобто оптимальний коефіцієнт наповнення салонів АТЗ особливо у години «пік» .

## **1.2. Виробничі проблеми підприємства та напрямки її вирішення**

Як і в інших транспортних організаціях, так і у КП «Київпаstrанс» існують проблеми у оптимізації маршрутної мережі. Місто періодично проводить деякі корекції певних маршрутів (як приклад є перенаправлення автобусу №7 у якості частини оптимізації мережі), але ці деяким чином такі зміни часто сприймаються як водіяма, так й пасажирами дещо суперечливо, тобто є маршрути із надлишковим покриттям і одночасно так званими «білими плямами» без доступного у відповідній кількості транспорту [8].

Також до актуальних проблем підприємства віднесено велику частину рухомого складу, як старі автобуси з дизельними двигунами, що потребують заміни на аналогічний транспорт із двигунами, котрі мають вищий екологічний клас (Euro-5/Euro-6 або узагалі на електротранспорт, електробуси на певних коротких маршрутах).

Виходячи з висвітлених проблемних питань у 2023 році проведено було відкрите громадське обговорення проєкту програми, котрий дозволить киянам подавати зауваження та відповідні пропозиції. Зауваження та пропозиції

приймалися до 19 грудня 2023 року. Пізніше була створена міська цільова програма розвитку транспортної інфраструктури міста Києва 2024-2025, котра передбачає покращення за такими напрямками [9]:

1. будівництво та ремонт доріг, мостів та шляхопроводів для оптимізації транспортних потоків.
2. модернізація автобусних, трамвайних та тролейбусних маршрутів, а також впровадження нових видів громадського транспорту.
3. розвиток велосипедної інфраструктури.
4. впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) для покращення управління трафіком та безпекою дорожнього руху.
5. стратегічну екологічну оцінку програми впливу на довкілля та здоров'я населення забруднення повітря викидами автомобільного пального.

Офіційний портал КМДА - Головна

Як зазначалось вище, проблеми істотні є у фінансах та прозорості закупівель. Деякі аудиторські висновки та певні журналістські розслідування фіксують проблеми з прозорістю закупівель і можливі ризики корупції у деяких тендерах, що практично уповільнює оновлення парку й підвищує ого остаточні витрати.

Тому на порядку денному можуть бути такі практичні рекомендації.

1. Необхідність у проведенні комплексного аудиту маршрутної мережі з детальним оглядом реального міського пасажиропотоку (як наприклад, GPS + білінг електронного квитка) та обґрунтувати і оптимізувати частоту й інтервали руху у години «пік».
2. Обґрунтувати і актуалізувати пріоритет щодо закупівлі низькоемісійного транспорту (Еуро-6 / електробуси) у рамках міжнародних кредитних програм [9].
3. Підвищення прозорості у тендерах і ввести зовнішній моніторинг для зменшення ризиків корупції.

Особливою проблематикою на пасажирському транспорті вважають проблеми, що впливають на задоволеність найбільше, а саме:

- своєчасність і частота руху (попри все пасажирів надто цінують стабільність інтервалів руху транспорту, тобто там, де маршрутні інтервали непередбачувані, рівень незадоволення занадто високий).
- екологічність й комфорт рухомого складу, тобто пасажирів оцінюють позитивно низькопідлогові й кондиціоновані («опалювальні») автобуси, а попит на «чистіший» транспорт звісно росте.
- інформація і відповідний зворотній зв'язок, тобто можливість відстежувати рух транспорту і, особливо, скаржитись через спеціальні додатки підвищує довіру й терпимість пасажирів.

Проведені чисельні опитування показують, що значна частина киян роботою громадського транспорту задоволена загалом. У публічних опитуваннях понад 70% респондентів позитивну оцінку висловлювали (до 80% у дослідженні за 2023 рік). Але загальна оцінка практично не враховує актуальні нарікання, тобто пасажирів особливо скаржаться на нерегулярність руху автотранспорту на низці маршрутів, низьку їх швидкість у проблемних ділянках, де пропускна здатність доріг незначна, а також переповненість у години «пік» і обмаль низькопідлогового автотранспорту для людей із обмеженою фізичною мобільністю [10]. Нижче наведено дані з кількома актуальними проблемними маршрутами КП «Київпаstrансу» і можливими пропозиціями змін (таблиця 1.1) [11, 12].

Таблиця 1.1

Актуальні проблеми на деяких маршрутах і заходи для їх подолання

№ маршруту / тип маршруту	Опис проблеми	Можливі зміни або пропозиції
1	2	3
№ 24, № 36 (Оболонський район)	Закриті маршрути через ремонт шляхопроводу на перетині вул. Богатирської та Лугової на півночі. Пасажирів змушені користуватися маршрутами з пересадками, довше добиратися, замовляють автобуси-тимчасові.	Організація тимчасових автобусних маршрутів з кращим сполученням, щоб було менше пересадок. Після ремонту оновити дорожню інфраструктуру, щоб уникнути повторних значних простоїв РС.

## Продовження таблиці 1.1

1	2	3
№ 7, 46, 112 (автобуси)	Часті зміни маршруту через святкові заходи, ярмарки, що змінюють напрямки маршрутів - пасажирів дещо плутаються, затримки, незручності	Заздалегідь робити об'яви про зміни за допомогою мобільних додатків, дорожніх маршрутних табло, створити постійні або запасні об'їзні схеми. Також проаналізувати маршрути так, щоб мінімізувати необхідність змін під час непередбачуваних форсмажорів.
Маршрути, що дублюють метрополітен під час його зупинки або порушення руху	В разі, коли метро не працює або його частини переповнені, наземний транспорт часто некритично виконує функцію дублювання, але ж кількість наземного транспорту недостатня. Пасажири стикаються з проблемами	Заздалегідь визначити список маршрутів (дублерів), збільшити випуск їхній при потребі, чітко організувати доцільні інтервали руху, щоб не було великих проміжків у очікуванні. Запровадити допоміжний РС, котрий може підсилити пасажирообмін у випадку порушень роботи транспорту.
Рухомий склад автотранспорту з недостатнім або невідповідним екологічним класом	Низка автобусів із дизельними двигунами мають старі стандарти, що і спричинює більшу кількість шкідливих викидів у повітря. Це спостерігається на маршрутах із великим трафіком і в пікові години.	Як пріорит - закуповувати транспорт із високим екологічним стандартом (Еуро-6, CNG, електробуси або ж гібриди)., особливо для маршрутів із високим пасажиропотоком, тобто забезпечити низькоемісійний або взагалі електричний транспорт. Також доцільно буде запровадити системи моніторингу викидів у транспорті, що працює на маршрутах з високим трафіком.
Маршрути із нерегулярним інтервалом, особливо в годинах «пік» або ж на окраїнах міста	Пасажири скаржаться на значні інтервали - особливо у вечірні або ранкові години, тобто коли транспорт обмежений кількісно, і деякі маршрути майже не мають регулярного сполучення.	Оптимізувати і організувати належну частоту руху залежно від пасажиропотоку, доцільність використання GPS-даних чи даних з електронного квитка, щоби виявити ті маршрути, що є з недостатнім коефіцієнтом випуску. Запровадити так звані «пік - режим» — більше транспорту в години найбільшого на нього попиту.

### 1.3. Автобусний рухомий склад КП «Київпастрас»

Протягом років автобусний рухомий склад КП «Київпастрас» змінювався в залежності від багатьох чинників, особливо протягом 5-и останніх років дуже динамічно. У 2021 році автобусний парк підприємства КП «Київпастрас» складав близько 862 одиниць [6]. А вже станом на 1 січня 2024 року на балансі налічувалось вже 1 856 автобусів (загалом – 2 988 одиниць усіх видів рухомого складу, тобто разом з тролейбусами і трамваями [4]). Зазначене зростання автопарку зумовлене ефективною програмою лізингових закупівель, котрі були здійснені протягом періоду з 2020 по 2023 роки,

наприклад у 2023 році одночасно придбано 200 нових автобусів МАЗ, які замовили ще у 2021 році [7]. Також 90 автобусів великої місткості «MAN A23 Lion's City», «Mercedes Citara», «Irisbusi Citelis 12M», які були отримані як гуманітарна допомога в період 2023-2024 роки.

Також на маршрутах підприємства працює залучений рухомий склад за ліцензіями КП «Київпаstrанс». У 2021 році в Києві автобуси маршрутні обслуговували 19 приватних компаній, що експлуатували 1 424 автобуси на 147 маршрутах міста [6]. Тоді як у своєму власному парку підприємства було лише 862 автобуси [6]. Після 2021 року частка приватних перевізників різко стала зменшувалася внаслідок активного лізингової програми закупівель рухомого складу. І до того ж підприємство зробило головну «ставку» на розвиток власного комунального транспорту. КП «Київпаstrанс» на кінець 2024 року має власних загалом 1104 автобуси, котрі працюють на маршрутах та потенційно можуть бути відремонтовані і поставлені на маршрутні лінії, але на даний час технічно справні лише 531.

За офіційними даними, наданих КМДА, у комунальному автопарку підприємства «Київпаstrанс» перебуває 320 практично зношених автобусів, середній вік котрих практично 25 років [15].

Аналіз доступних даних свідчить, що з-поміж наявних в експлуатації автобусів розподіл за віковими групами є такий (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

## Віковий термін автобусів КП «Київпаstrанс» [15]

Віковий термін, роки	Кількість
до 5	~14
від 5 до 10	~19
понад 10	~287
понад 20	~320

Також варто зазначити, що, попри вік більшості автобусів, загалом у структурі громадського транспорту можна констатувати те, що рухомий склад

тролейбусів, муніципальних автобусів відповідає у більшості вимогам доступності для пасажирів з особливими обмеженими можливостями, в тому числі й на кріслах колісних [12].

#### **1.4. Зона обслуговування пасажирської маршрутної мережі підприємством у м. Києві**

Автобусні маршрути КП «Київпаstrанс» у Києві та загальна кількість маршрутів. За останні кілька років мережа автобусних маршрутів КП «Київпаstrанс» суттєво змінилася. За офіційними даними, станом на кінець 2023 року підприємство обслуговувало 85 міських автобусних маршрутів [13].

За інформацією аналітичних джерел на 2024 рік, кількість таких маршрутів становила вже близько 91 маршруту [13].

Останні цифри стосуються лише міських пасажирських автобусних ліній, що сьогодні експлуатуються комунальним перевізником, а приватні маршрути в цю статистику не включено.

Райони обслуговування підприємства. КП «Київпаstrанс» покриває фактично всі адміністративні райони нашої столиці. Зокрема, як неодноразово повідомлялося в доповідях представників Київради, автопарк № 6 «Київпаstrансу» обслуговує низку маршрутів у Дніпровському, Деснянському, Оболонському й Подільському районах м. Києва [14].

Інші автобусні парки дослідного підприємства такі як № 5, 7, 8 тощо) обслуговують відповідно маршрути в інших районах м. Києва, тобто від Солом'янського, Шевченківського та Святошинського до Голосіївського, Печерського й інших районів. Таким чином автобуси КП «Київпаstrансу» курсують майже по всіх районах міста, обслуговуючи як і правобережні, так й лівобережні мікрорайони столиці.

Райони та напрями з найбільшим пасажиропотоком, який обслуговується найбільшою кількістю автобусів підприємства. Тобто найбільша кількість автобусів підприємства КП «Київпаstrанс» традиційно задіяна у найбільш густонаселених лівобережних районах м. Києва. Зокрема

зауважимо, що у Деснянському, Дніпровському й Оболонському районах та на Подолі міста працює найбільш значна частина пасажирської маршрутної мережі підприємства. Наприклад, за даними Деснянської РДА, серед найбільш завантажених маршрутів парку № 6 – є такі маршрути № 114, 99, 21, 101, 102, 73 та 46 [14]. Останні проходять через ключові житлові масиви і повністю забезпечують перевезення значної кількості пасажирів по цим районах. Все приведене вище свідчить, що особливо на лівому березі міста - в напрямках, котрі пов'язаних із Дніпровським й Оболонським районами, завжди спостерігається найбільша інтенсивність пасажирського автобусного руху.

Підприємство має зручну інтерактивну карту маршрутів і руху транспорту по ним (рис. 1.1).

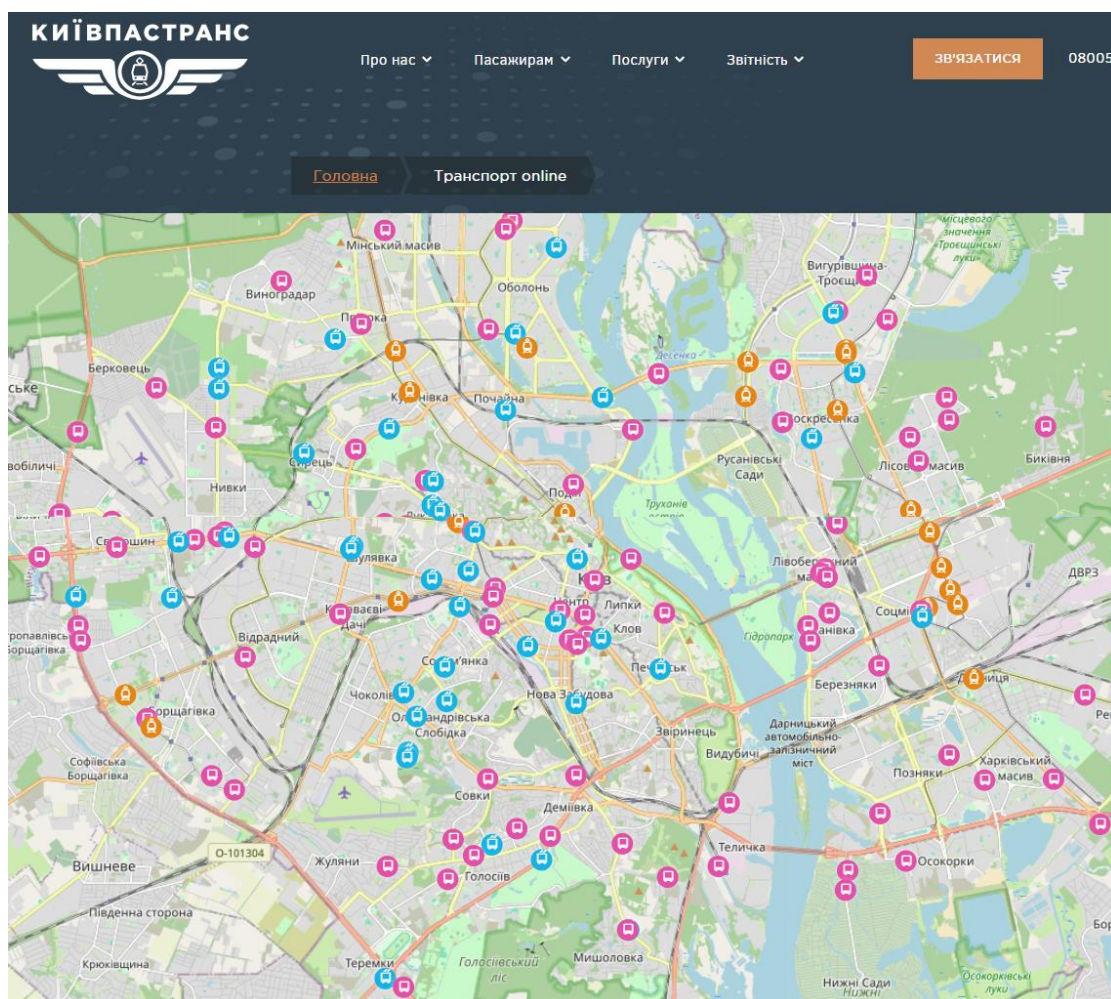


Рис. 1.1. Інтерактивна карта маршрутів, котрі обслуговуються КП «Київпастрас» і руху транспорту по ним в онлайн режимі

Тобто КП «Київпастрас» надає безкоштовну інтерактивну онлайн- карту-схему руху усіх власних маршрутів (де показуються як автобуси, так і трамваї, тролейбуси) з GPS-відстеженням усіх транспортних засобів підприємства. Для особистого планування поїздок пасажери можуть користуватися даним сервісом на офіційному сайті КМДА або ж відповідних порталах баз даних «Київпастрас».

Проекти підприємства стосовно впровадження в лінійку автобусного парку з екологічним транспортом є амбітними. На момент жовтня 2025 року «Київпастрас» працює активно над оновленням свого автобусного парку з урахуванням автотранспорту з найвищими екологічними стандартами. Однак, наразі підприємство зовсім не використовує автобуси, котрі працюють на чи то метані, водневих двигунах чи інших альтернативних видах палива. Однак же, в межах подальшої модернізації, фахівцями підприємства заплановано придбання 17 нових електробусів, котрі працюватимуть на маршрутах міста на акумуляторних батареях. Ці ж електробуси взагалі не вимагатимуть контактної мережі, бо будуть заряджатися на кінцевих зупинках або ж проміжних де є маршрути з протяжністю понад 15 км. Запланована загальна сума закупівлі складає 320 млн грн і вже перші електробуси очікуються на маршрутах у 2026 році, якщо фінансування буде у повному обсязі.

Також за «свіжою» інформацією підприємство планує оновлення рухомого складу здійснити за власні кошти, а саме нові автобуси, котрі курсуватимуть на маршрутах звичайного міського режиму руху. Довжина останніх має складати 8,2 метра, тобто ці АТЗ мають бути щонайменше на 57 пасажирів та, головне, відповідати екологічним стандартам EURO – 5 і 6. Окрім вказаного також важливо є те, що цей транспорт має враховувати принципи безбар'єрності, маєтись на увазі - у салонах передбачені трапи для крісел колісних та візочків дитячих, облаштовані спеціально місця для пасажирів із інвалідністю, встановлена інноваційна електронна інформаційна система. Орієнтовна вартість закупівлі майже 83 млн. грн, а постачання очікується вже до кінця 2025 року.

## **Висновок до розділу 1**

Отже, підводячи висновок проведеному аналізу роботи дослідного підприємства зазначимо, що в умовах сьогодення підприємство є активний і відносно ефективний гравець на ринку пасажирських міських перевезень в місті Києві. З точки зору надання транспортної послуги у якісному вираженні маємо двосторонній відгук як від пасажирів, так і керівних органів КП «Київпастрас» завдяки реалізації електронного квитка – «Kyiv Smart Card». Нажаль автопарк майже на 80 % є фізично і морально застаріли, хоча у гарному відремонтованому стані. Але стосовно екологічності цієї старої техніки мова не йде. Автопарк підприємства обслуговує 91 маршрут 531 автобусами різної пасажиромісткості по усім районам міста. Є прогресивні плани на оновлення рухомого складу серед якого планується придбати у 2026 році 17 нових електробусів та дизельних автобусів з двигунами екологічного класу ЄВРО – 5/6 загальною пасажиромісткістю від 70 пасажиромісць.

## **РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРАТЕГІЙ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ**

Енергетична проблема дедалі гостріше постає перед людством. Вона не виникла сьогодні, а вирішувати її треба як найшвидше. Прогрес сучасних технологій не дає можливості позбутись залежності від невідновлюваних джерел енергії, а навпаки ж, сприяє планомірному залученню до процесу соціального виробництва значної частки цих ресурсів, що залишилися у володінні людини. Вирішення енергетичної проблеми полягає у переході існуючих технологій на альтернативні відновлювані джерела палива, а також у створенні і впровадженні нових екологічно безпечних та енергоефективних технологій. У численних наукових колах ретельно розглядаються різні варіанти виробництва альтернативного палива з урахуванням природних, економічних та екологічних аспектів і особливо це стосується використання альтернативних джерел енергії в транспортній сфері в умовах сучасної складної економічної ситуації в Україні, енергетичної залежності від інших країн та постійного зростання цін на паливо.

### **2.1. Основні аспекти розвитку автомобільного транспорту щодо економії енергії мобільних установок**

Головними завданнями покращення роботи автомобільного транспорту є підвищення його паливних, економічних, а також екологічних характеристик. Під паливом у широкому розумінні мається на увазі мобільні енергоносії, які застосовуються для приводу силової установки автотранспортних засобів в дію. Відомо, що майже 80% всієї механічної мобільної енергії транспорту, яка застосовується людьми, генерується двигунами внутрішнього згоряння, які є головними споживачами рідких нафтових палив, тобто бензини, дизельне паливо і в незначному обсязі пропан-бутан. Зрозуміло, що будь-який товар, котрий купується на ринку в кінцевій

ціні має транспорту складову, яка може коливатись від 15-20 до 50-60 %. Ця частка транспортування в ціні товарів, насамперед, залежить від ряду особливостей, тобто спочатку доставки на підприємство сировини, засобів виробництва тощо, а потім постачання готового товару на певні відстані кінцевому споживачеві.

Але, безперечно, частка транспортної складової буде залежать від вартості перевезень, а тарифи на транспортування в переважній більшості залежатиме від вартості пального.

Як відомо, більшість сучасних автомобілів обладнується бензиновими та дизельними двигунами внутрішнього згорання, ККД яких у середньому коливається лише від 25 % до 35 %. Значна частина енергії гається у вигляді тепла, тертя й механічних опір.

До шляхів підвищення енергоефективності двигунів можна віднести наступні заходи, а саме:

1. Удосконалення процесу згорання палива в камерах згорання двигунів;
2. Використання турбонаддуву, систем безпосереднього впорскування пального, багатоклапанних систем і змінних фаз у газорозподілі, що забезпечує повніше згорання пального й знижує споживання останнього.
3. Зменшення маси РС, тобто використання легких сплавів, композитних матеріалів або ж полегшених конструкцій;
4. Удосконалення кузовів транспорту з точки зору зменшення аеродинамічні лобового опору в русі й застосування активних аеродинамічних елементів, допомагає зменшити споживання пального на 5-10 %;
5. Сучасні системи керування масами паливної суміші. Електронні блоки управління двигуном ECU, котрі оптимізують співвідношення повітря-пальне й режими роботи АТЗ в залежності від навантаження;
6. Використання альтернативних палив є одним із ключових напрямків розвитку транспорту, тобто потрібна поетапна заміна традиційних видів палива альтернативними.

Перші 5-ть заходів нині активно і на високому рівні використовують виробники транспорту. Стосовно 6-го заходу - є різнонаправлені підходи, тому цей пункт розглянемо детально нижче.

## **2.2. Напрями щодо підвищення екологічної безпеки автотранспорту**

Підвищення екологічної безпеки пари застосуванні автотранспорту сьогодні певним чином задовольняється за рахунок покращення якості палива, удосконалення систем подачі пального і якості його згорання в ДВС, використання газоподібного пального (CNG, LNG) та використання силових установок на електротязі. Коли питання стосуються легкового транспорту, то тут є світові тенденції щодо силових установок таких як використання традиційних ДВС, так і використання ДВС, що працюють на газі, гібридні установки, наприклад бензин/дизель - газ, бензин/дизель – електрика тощо. Однак, стосовно комерційного вантажного або «важкого» транспорту (автобуси), то маємо малу частку використання силових установок на альтернативному пальному і то лише в окремих транспортних організаціях різних країн, а в більшості лишаються ДВС (бензин й у більшій мірі дизель).

Науковці і практики активно працюють над застосуванням в силових установках транспорту біопалива (біоетанол, біодизель, біогаз), котре дозволяє скоротити залежність від нафти та знизити обсяги викидів CO<sub>2</sub>. Але, нажаль, за останні 10-12 років їх спроможності обмежились незначними досягненнями - лише долученням до ринку пального з додаванням біоетанолу до бензину (5%). Однак особливого впливу на екологію це не спричиняє, так як 96-97% власників «важкого» автотранспорту користуються традиційним бензином і дизелем.

Також зауважимо такий важливий аспект, що «світові гравці» нафтового ринку жорстко лобіюють власні інтереси і зацікавлені лише у видобутку нафти і газу в межах нинішнього споживання у світі за високими цінами. В даному питанні є маса важливих моментів, а саме те, що у світовій економіці нафтовидобувана і навтопереробна галузі у ланцюзі від машинобудування,

видобування, транспортування, бізнесу, пов'язаного з продажами продуктів нафтопереробки, займає близько 5% світової економіки. А країни, що видобувають або переробляють нафту є надто впливовими в порівнянні з лобістами альтернативних видів пального, особливо для транспорту. Тому, роблячи висновок, впровадження транспортних засобів на альтернативних видах пального має надто сильний спротив з боку бізнесу «нафтових магнатів».

Приблизно останні 10 років, широко почав свій відносно впевнений шлях електричний транспорт. Ряд країн, особливо розвинені, на національному рівні надають суттєву підтримку у транспорту з електричними енергоустановками (електрокари, гібридні авто). Хоча, цей аспект, знову ж таки, у більшій мірі стосується індивідуального легкового транспорту, а не комерційного «важкого», котрий задіяний у перевезенні вантажів та великої кількості пасажирів.

Тому впровадження транспортних засобів з енергетичними установками на альтернативному пальному чи електротязі залежить від конкретних підприємств, котрі мають бажання і потенціал для використання такого транспорту.

Стосовно екологічної безпеки – маємо такі тенденції. Частка (відсоток) шкідливих забруднюючих речовин від роботи автотранспорту у містах (світовий середньостатистичний показник) становить 30-50% від всіх шкідливих викидів (промисловість, ТЕЦ і т.і.). А ось у великих містах може сягати 60-80% залежно від країни, їх рівня розвитку, структури транспорту, контролю тощо.

Стосовно Києва, то частка викидів від автотранспорту сягає 80%, що ставить особливий акцент для жителів міста і влади [16]. Автотранспорт з дизельними двигунами є основними забруднювачами повітря і найбільш небезпечними для здоров'я є частки, оксид азоту та сірчаний газ, оскільки вони викликають серйозні захворювання навіть при невеликих концентраціях, а в місті на вулицях з інтенсивним рухом концентрація канцерогенів перевищує

норму в кілька разів. В свою чергу великий рівень захворюваності населення призводить до значного навантаження на заклади охорони здоров'я і значні витрати на медицину бюджетних коштів. Як бачимо, все взаємопов'язано.

З огляду на зазначене вище, влада Києва не лише закликає громадян використовувати автотранспорт з низьким рівнем шкідливих викидів, але й сама робить відповідні кроки. Наприклад, кїврадою разом з КП «Київпастрасом» заплановано до кінця 2025 року закупівлю 20 автобусів за рахунок КП «Київпастрас» і кївського бюджету щонайменше на 57 пасажирів з екологічним стандартом ЄВРО-5(6). А із урахуванням автобусів КП як фізично, так і морально зношених, це буде поповнення нової техніки на 5%. Також планується закупівля 17 електробусів (0% шкідливих викидів) до кінця 2026 року, тобто ще оновлення на 4 %. Але електробуси потребуватимуть значних капіталовкладень в інфраструктуру їх обслуговування.

Зрозуміло, що навіть ці заходи не можуть призвести до суттєвих змін відносно покращення екологічної обстановки в місті. В Києві щодня працюють на маршрутах майже 600 дизельних автобусів серед яких майже 390 належать КП «Київпастрас». Річ у тому, що дизельні автобуси – це РС, котрий працює безперестанно по 16-17 годин в день і кожен з автобусів спричиняє забруднення непорівняно легковому автотранспорту, який може використовуватись в середньому 2-3 година протягом дня.

### **2.3. Напрями щодо зменшення собівартості перевезень за рахунок використання «екологічного» автотранспорту**

Розгляд питання заміни наземного пасажирського громадського транспорту на екологічний на території України має власні практики – в містах Києві, Вінниці, Кривому розі, Кіровограді та інших.

Основний пасажирський громадських екологічний транспорт це автобуси, котрі працюють на дизельному пальному (98%), скрапленому газі (0,004%), метані (0,12%) та електробуси (1,88%) [14]. Тобто аналіз стосовно

використання автобусів, котрі працюють на скрапленому газі (СПГ) в Україні показав, що не має практичного масового використання. Однак багато прикладів по різних містах, де вже використовуються електробуси (на коротких маршрутах), і планів та стратегій щодо обмеження «дизельних» автобусів та про перехід як на електротранспорт, так і закупівлю транспорту, котрі працюють на «газових» двигунах.

Для подальшого аналізу зосередимося на електробусах та автобусах, двигуни яких працюють на метані (біометані).

Розглянемо можливість забезпечити фінансуванням будівництво/збільшення зарядної інфраструктури й з'єднати депо міського АТП до необхідної потужності — електробуси дають найкращі локальні екологічні вигоди і менші експлуатаційні витрати, але у довгостроковій перспективі. Але цей підхід потребує досить значного початкового капіталовкладення та організації інфраструктури заряджання батарей електробусів. Якщо інвестиції в електричну інфраструктуру обмежені, або деякі маршрути є великої протяжності 20 і більше км з обмеженою можливістю підзарядки під час рейсу, то найбільш раціональним є використання транспорту, що працює на метані (CNG) і може стати значно дешевшою альтернативою із зниженими капіталовкладеннями на інфраструктуру, але з менш сприятливим екологічним «ефектом» порівняно з електробусами [17]. Це твердження лише справедливе для використання електробусів у містах. Так як виготовлення електробатарей для електротранспорту – є дуже шкідливе виробництво, котре також має значні викиди шкідливих речовин за межами населених пунктів.

Перерахуємо головні критерії де слід враховувати при порівнянні транспорту з електроджерелом (ЕВ), CNG і дизельним джерелом (Євро-4) енергетичної установки для пасажирських громадських перевезень у містах та представим у вигляді таблиці (табл 2.1).

Серед представлених вище трьох типів засобів автотранспорту електробуси являються найбільше екологічними для довілля міста, проте й

найкоштовнішим рішенням для впровадження на етапі придбання та формування повноцінної інфраструктури. Останні найкраще підходять для пасажирських міських маршрутів із великою кількістю зупинок, мають найменші витрати експлуатаційні й мінімальний рівень шуму, проте ж залежать від наявності кошовних потужних електромереж і довгого часу заряджання.

Автобуси на метані (CNG) - компроміс поміж екологічністю та економічною ефективністю, тобто вони значно менші мають об'єм шкідливих викидів порівняно з дизельними автобусами, працюють стабільно за будь-яких перепадів температур і погодних умов, мають дешевшу інфраструктуру в порівнянні з електробусами, але дорожчу за інфраструктуру для дизельних автобусів, але мають триваліший ресурс двигунів (в 1,5-1,7 рази більше). Однак, при цьому вимагають регулярного обслуговування газових систем і мають помірні викиди парникових газів. Дизельні ж автобуси Євро-4 — найбільш доступні за ціною в порівнянні з ЕВ і CNG, проте застарілі в екологічному сенсі: високі викиди вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) і оксидів азоту NO<sub>x</sub>, шум, а крім того, залежність від дорогого імпортного палива робить їх малопридатними до сучасних екологічних норм.

Тому для українських міст максимально доцільним є поетапний перехід від автобусів з дизельними двигунами до CNG-транспорту як проміжного кроку в реаліях сьогодення, а далі - до електробусів у довгостроковій перспективі. Однак маємо зазначити, що електробуси використовують батареї, виготовлення яких є не лише складним процесом, але й має високий рівень забруднювання довкілля, попри спеціальні системи фільтрації та існує проблема утилізації таких батарей.

Таблиця 2.1

Порівняльна таблиця: електробуси (EV), автобуси на CNG (метані) й дизельному пальному

Параметр	Електробус (EV)	CNG-автобус (метан)	Дизельний автобус (Євро-4)
----------	-----------------	---------------------	----------------------------

<b>Щоденний пробіг по маршрутах (км/день)</b>	Батарея 280–320 кВт·год забезпечує 200–250 км. Заміна батареї через 5–6 років, вартість $\approx$ \$100 000.	300–450 км на повній заправці. Ресурс двигуна 15–17 років.	400–500 км на баку. Ресурс двигуна 10–12 років.
<b>Тип маршрутів</b>	Короткі міські з частими зупинками.	Відносно універсальні. Підходять для тривалих міських, приміських і міжміських маршрутів до 400 км	Універсальні — підходять для будь-яких маршрутів.
<b>Час простою / зарядка-заправка</b>	Зарядка 4–6 год (нічна), або швидка 20–40 хв.	Заправка 5–10 хв.	Заправка 5–7 хв.
<b>Інфраструктура / потужність</b>	Високі вимоги до мережі, трансформаторів, кабелів. Високі початкові витрати.	Потрібна CNG-станція, компресори, дешевша інфраструктура.	Найпростіша — наявна мережа АЗС.
<b>Вартість енергії / палива</b>	Електроенергія — найдешевша, найнижчі експлуатаційні витрати.	Метан дорожчий за електрику, але дешевший за дизель.	Дизель — найдорожче паливо, високі витрати.
<b>Капітальні витрати на транспорт</b>	Високі (електробус $\approx$ \$450–600 тис.), але економічний у довгостроковій перспективі.	Середні (\$180–250 тис.), менша стартова ціна.	Найнижчі (\$150–200 тис.), але високі експлуатаційні витрати.
<b>Інфраструктура дозаправки / зарядки</b>	Зарядні депо або пантографи — дороге будівництво (1–2 роки).	CNG-станції — дешевше, 3–6 міс. на реалізацію.	Вже існуюча інфраструктура — вже вготова до використання.
<b>Кліматичні умови (зима)</b>	Втрата 20–30 % ємності батареї, запас ходу зменшується.	Незначний вплив холоду.	Робота стабільна за будь-якої температури.
<b>Техобслуговування / персонал</b>	Потрібні електромеханіки, навчання з високовольтних систем.	Потрібен персонал із газових систем, регулярні перевірки балонів.	Стандартне обслуговування, доступні запчастини.
<b>Екологічність / викиди</b>	Відсутні локальні викиди CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM.	Зниження CO <sub>2</sub> на 20–25 % проти дизеля, менше NO <sub>x</sub> .	Високі викиди CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM; відповідає нормі Євро-4.
<b>Рівень шуму</b>	Дуже низький.	Помірний.	Високий.

#### 2.4. Основні відомості досліджень науковців щодо забруднення атмосферного повітря автотранспортом

У зв'язку зі значним збільшенням автомобільного парку в Україні постійно підвищується його вплив на забруднення атмосферного повітря,

особливо у великих містах. На забруднення атмосфери автотранспортом припадає приблизно 60 % всіх викидів. Особливо високий рівень CO у повітрі відзначено на перехрестях доріг, де мотори автомобілів працюють на холостому ході переважно перед світлофорним регулюванням. У областях з вузькими вулицями та високими будівлями високий рівень оксиду вуглецю розповсюджується повільно і спричиняє хронічні отруєння людей, які довго перебувають у цих зонах [22].

У відпрацьованих газах автомобільних двигунів міститься більше тисячі різноманітних шкідливих речовин, які мають згубний вплив на людину та довкілля, 200 з них вже розпізнано.

Основними з цього переліку є: оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), вуглеводні (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>), сполуки сірки (основна сполука – двооксид сірки SO<sub>2</sub>), тверді частинки (переважно сажа, що складається з вуглецю C), альдегіди (загальна формула RCHO), канцерогенні речовини, до яких належать складні ароматичні вуглеводні поліциклічної будови (найтоксичніший та найпоширеніший елемент – бенз(а)пірен – C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>), сполуки свинцю (PbO<sub>4</sub>) [22].

Оксид вуглецю (CO) або чадний газ, (2–10 % його концентрація у викидах) утворюється внаслідок неповного згоряння вуглецю у паливі. При вдиханні оксид вуглецю зв'язується з гемоглобіном у кровоносній системі, замінюючи кисень, і в результаті виникає киснева недостатність. Великий вміст оксиду вуглецю в повітрі, навіть при короткочасному контакті, може призвести до летальних випадків. Порівняно невеликі дози викликають уповільнення метаболізму, головний біль, запаморочення та відчуття втоми [23].

Вуглеводні (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) (частка у викидах 0,1–1,0 %) — неповністю спалені хімічні паливні складники. Найбільше їх викидів спостерігається біля перехресть, розв'язок і світлофорів у порівнянні з магістральними ділянками транспортних шляхів. Вони можуть стати причиною низки хронічних захворювань. Найнебезпечнішим вважається бензопірен, який володіє високими канцерогенними властивостями [24].

Оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) (вміст у викидах приблизно 0,1–0,5 %) з'являються при спалюванні різних видів палива — вугілля, природного газу, бензину чи мазуту. Найбільш токсичний діоксид азоту  $\text{NO}_2$ , який при взаємодії з парою води в атмосфері утворює азотисту та азотні кислоти. Надходячи у верхні шари атмосфери, діоксид азоту сприяє формуванню кислотних хмар і кислотних опадів. Вплив оксидів азоту не піддається послабленню жодними нейтралізуючими засобами. У поєднанні з вуглеводнями вони створюють токсичні нітроолефіни, які влітку за сприяння високих температур можуть формувати фотохімічні смоги [24].

*Розглянемо як і які токсичні викиди від автотранспорту впливають на довкілля й здоров'я і в якій мірі.*

1. Частинки ( $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ). Існує тривала і краткострокова «експозиція»  $\text{PM}$  з'єднана з підвищеною смертністю та захворюваністю серцево-судинної і респіраторної систем людини (інсульт, інфаркт, ХОЗЛ, загострень астми тощо) [25].
2. Діоксид азоту  $\text{NO}_2$  і суміш дорожнього забруднення. Діоксид азоту добре співвідноситься з впливом дорожнього трафіку; вдихання цих газів з'єднана з респіраторними захворюваннями людей, зростанням тривалих госпіталізацій і значної смертності [26].
3. Інші компоненти (РАН, поліциклічні ароматичні вуглеводні, важкі метали, бензол, чорний вуглець). Ці компоненти також мають значні канцерогенні й токсичні складові, котрі пов'язані із підвищеними ризиками захворювання на рак та значно впливають на репродуктивні й неврологічні функції [27].

Оцінки глобальних наслідків свідчать, що забруднення повітря (враховуючи забруднення від продуктів згоряння автомобільного пального (бензину та дизпалива) являється одна з провідних причин передчасної смертності у світі, що свідчить про мільйони випадків щорічно [28].

Розглянемо складову забруднення продуктами згоряння пального у м. Києві.

Внаслідок того, що м. Київ має незначну кількість промислових підприємств для такої території, то основне забруднення атмосфери викликано автомобільним транспортом [29].

Головний вектор забруднення міста є автотранспорт. Офіційні й місцеві джерела та наукові огляди часто вказують, що переважна частина антропогенних викидів у Києві припадає на автотранспорт. У різних матеріалах зустрічаються оцінки від ~70 % до ~90 % внеску транспорту у локальне забруднення, але показники коливаються внаслідок від методології [30].

Моніторинг концентрацій на сучасних онлайн-сервісах (IQAir, SaveEcoBot і інших) показують, що у Києві час від часу спостерігаються граничні надлишки PM<sub>2.5</sub> і NO<sub>2</sub>. В деякі періоди, тобто неблагополучна погода, пожежі, смог, якість повітря може ставати загрозовою для здоров'я людини і гіршою за допустимий поріг забруднення. Для прикладу - портали надають в динаміці (часовий відлік) поточні показники PM<sub>2.5</sub>/NO<sub>2</sub> по Києву. (IQAir / SaveEcoBot).

Наукова оцінка ризику для Києва полягає у тому, що оціночна робота з ризику для населення Києва (2024 рік) документує підвищений рівень ризику через забруднення повітря у місті і зв'язує його з підвищеною смертністю/захворюваністю [8-30]. За різними даними дослідних джерел є свідчення, що «розкладання» викидів по джерелах (в тоннах/рік для NO<sub>x</sub>, PM, CO<sub>2</sub>) на рівні міста коливається в межах 70–90 % автотранспортного вкладу [24, 27, 29, 30].

## 2.5. Пасажирський автобусний транспорт у Києві та обсяги його викидів забруднюючих речовин

Як звітує КП «Київпастрас» на 1 січня 2025 року загальна кількість автобусів, що перебувають на балансі становить 591 одиницю, з яких 485 є діючими, а 114 автобусів очікують на списання [31]. Пробіг автобусів у 2024 році 24 781,8 тис. км. Це означає, що пасажирський автобусний парк відпрацював близько 24,78 млн км у 2024 р. Кількість автобусів, котра працюють на лінії в робочі дні (зміна), близько 321–349 одиниць. У різні квартали наведено - 321 та 349 — залежно від різних факторів [31].

Для оцінки викидів основних шкідливих викидів для здоров'я людини, на вказаний пробіг автобусів, застосували середньостатистичні коефіцієнти для стандартних дизельних міських автобусів (для моделей 60 пасажиромісць з екологічним класом ЄВРО-4 - методологія ЕМЕР/ЕЕА та відповідні практики) [32]. Зробивши нескладний підрахунок, отримаємо результати за річним пробігом 24.8 млн [33]. Зведемо надані дані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Дані викидів відпрацьованих газів дизельних автобусів (ЄВРО-4) для річного пробігу 24 781 800 км пасажирського транспорту

Речовина (відпрацьовані гази)	Дизель ЄВРО-4
CO <sub>2</sub> / Вуглекислий газ, тонн	32186,65
PM <sub>2.5</sub> / Частинки, тонн	8,43
NO <sub>x</sub> / Оксиди азоту, тонн	236,13
HC / Вуглеводні, тонн	0,99
NO / Оксид азоту, тонн	292,1
CH <sub>4</sub> / Метан, тонн	0
SO <sub>2</sub> / Сірчистий газ, тонн	0,17

Також згідно методики ЕМЕР/ЕЕА проведемо аналіз і розрахунки викидів токсичних речовин для автобусів, що працюють на метані [32]. Результати розрахунків занесемо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

Дані викидів відпрацьованих газів автобусів на метані для річного пробігу 24 781 800 км пасажирського транспорту

Речовина (відпрацьовані гази)	Метан
CO <sub>2</sub> / Вуглекислий газ, тонн	26182
PM <sub>2.5</sub> / Частинки, тонн	0,84
NO <sub>x</sub> / Оксиди азоту, тонн	194,46
HC / Вуглеводні, тонн	0,4
NO / Оксид азоту, тонн	172,3
CH <sub>4</sub> / Метан, тонн	0,27
SO <sub>2</sub> / Сірчистий газ, тонн	0

Приведемо порівняльну характеристику викидів токсичних речовин для автобусів, які працюють на дизелі (з екостандартом ЄВРО-4) і на метані (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Порівняльна характеристика з даними викидів відпрацьованих газів для автобусів на дизелі (ЄВРО-4) і метані для річного пробігу 24,8 млн км

Речовина	Дизель	Метан	Зменшення (%)
CO <sub>2</sub> / Вуглекислий газ, тонн	32186,65	26182	- 18,7
<b>PM<sub>2.5</sub> / Частинки, тонн</b>	<b>8,43</b>	<b>0,84</b>	<b>90,0</b>
<b>NO<sub>x</sub> / Оксиди азоту, тонн</b>	<b>236,13</b>	<b>194,46</b>	<b>- 17,6</b>
HC / Вуглеводні, тонн	0,99	0,4	- 59,6
NO / Оксид азоту, тонн	292,1	172,3	- 41,0
CH <sub>4</sub> / Метан, тонн	0	0,27	-
<b>SO<sub>2</sub> / Сірчистий газ, тонн</b>	<b>0,17</b>	<b>0</b>	<b>- 100,0</b>



Дані таблиці показують, що автобуси з двигунами, що працюють на метані суттєво менше забруднюють довкілля. Такі шкідливі речовини для здоров'я людини, як частки PM<sub>2.5</sub>, окис азоту та сірчистий газ є дуже токсичними і шкідливими та майже не виводиться з організму. Ось тому у

великих містах значна частина людей мають хронічні важкі захворювання з дитинства. При використанні метану, як автомобільного пального, викиди цих речовин зменшуються в рази або взагалі відсутні як наприклад сірчистий газ.

Підсумкову оцінку небезпеки для здоров'я по приведеним небезпечним речовинам подаємо у вигляді таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Підсумкова оцінка щодо небезпеки для здоров'я продуктів згорання  
автомобільного пального

Речовина	Прямий токсичний вплив	Невиліковні/важкі наслідки	Основні ураження	Загальна небезпека*
Частинки PM <sub>2.5</sub>	Дуже високий	! Так (рак, ХОЗЛ, серце)	Легені, серце, мозок	 <b>Критично небезпечна</b>
Оксиди азоту NO <sub>x</sub> (NO, NO <sub>2</sub> )	Високий	Частково (хронічні хвороби)	Дихальна, серцево-судинна	 <b>Дуже небезпечна</b>
Вуглеводні HC	Середній	! (деякі канцерогенні)	Легені, печінка, ДНК	 <b>Небезпечна</b>
Сірчистий газ SO <sub>2</sub>	Високий	Частково (необоротні ураження)	Дихальні шляхи	 <b>Помірно небезпечна</b>
Вуглекислий газ CO <sub>2</sub>	Низький (не токсичний)	Ні	Глобальний вплив (клімат)	 <b>Опосередковано небезпечний</b>
Метан CH <sub>4</sub>	Низький	Ні	Глобальний вплив	 <b>Опосередковано небезпечний</b>

Отже підведемо підсумок. Найбільш шкідливими для здоров'я людини є тверді аерозолі (PM<sub>2.5</sub>) і азотні оксиди (NO<sub>x</sub>). Вони мають можливість проникати глибоко в легені та кровоносну систему, спричиняючи незворотні патологічні процеси - хронічні бронхолегеневі захворювання, онкологічні захворювання, а також дисфункції серцево-судинної системи та ослаблення імунітету. Тривале вдихання навіть низьких концентрацій цих речовин призводить до скорочення тривалості життя, особливо в великих міських агломераціях з високим рівнем транспортного навантаження.

Менш шкідливі сполуки, такі як вуглеводні (НС), сірчаний газ (SO<sub>2</sub>), вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>) і метан (CH<sub>4</sub>), також шкідливо впливають на організм і навколишнє середовище, проте їхня дія переважно опосередкована або кумулятивна. CO<sub>2</sub> і CH<sub>4</sub> не викликають безпосередніх отруєнь, однак сильно засмічують земельний покрив та сприяють глобальному потеплінню і зміні клімату, що опосередковано погіршує здоров'я населення.

Застосування екологічно чистіших видів палива, зокрема метану (CNG), дозволяє значно знизити рівень викидів PM<sub>2.5</sub> та NO<sub>x</sub>, зменшити ризики розвитку важких захворювань і підвищити якість життя мешканців міст. Це — один із ключових напрямків екологічної модернізації транспорту та підвищення стійкості міських перевезень.

## **Висновок до розділу 2**

Проведений аналіз у цьому розділі свідчить, що застосування альтернативних джерел енергії на громадському пасажирському транспорті є надважливим напрямом щодо підвищення енергоефективності й екологічності при перевезеннях у міських умовах. Проведені нами розрахунки підтверджують, що перехід з дизельних автобусів євростандарту - Євро-4 до автобусів, котрі працюють на метані (надалі CNG) дозволяє зменшити обсяги викидів вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) на 18,7 %, оксидів азота (NO<sub>x</sub>) - на 17,61%, твердих частинок PM<sub>2.5</sub> (найбільш шкідливих для людини) до 90 %, а сірчистий газ (SO<sub>2</sub>) відсутній. Останнє свідчить, що таке зменшення викидів шкідливих речовин значно зменшує ризик розвитку хронічних патологічних як респіраторних, так і серцево-судинних захворювань людей, тобто у значній кількості мешканців міст включно з дітьми. Використання електробусів, попри високі капіталовкладення, забезпечують повну відсутність шкідливих викидів. Отримані результати свідчать про те, що оптимальною стратегією в умовах України є поступовий перехід від транспорту з дизельними двигунами до електричних (в далекій перспективі) і CNG-автобусів як проміжного між цими дизельним і електричним транспортом. Це сприятиме формуванню

сталого більш екологічного міського середовища для громадян та зменшення енергозалежності й досягненню еко-стандартів ЄС.

## **РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ І ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ МІСЬКИХ НАЗЕМНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Метою цього дослідження є оцінка економічної і екологічної вигідності використання автобусів з різними типами двигунів для потреб міського громадського пасажирського транспорту із урахуванням умов експлуатації у Києві, для середнього річного пробігу, витрат на паливо, технічного сервісу та інших експлуатаційних показників, а також потреби у створенні належної інфраструктури для CNG-автобусів.

Автобуси, котрі працюють на стислому природному газі (CNG) є однією із найефективніших альтернатив стосовно дизельних транспортних засобів з точки зору екологічності [30]. Вони призводять до зменшення викидів шкідливих речовин відпрацьованого палива (оксидів азоту, вуглекислого газу, сажі та ін.) та деякого зниження витрат на експлуатацію. Але, разом із тим, останні вимагатимуть спеціальної інфраструктури, а саме компресорних заправок з високим коефіцієнтом стиснення, застосування особливих систем безпеки і охорони праці, газорозподільних мереж і навчання персоналу для обслуговування та ремонту газобалонного газорозподільного устаткування автобусів.

### **3.1. Вихідні параметри при дослідженні економічної ефективності роботи автобусів**

Вартість експлуатації автотранспортних засобів включає всі прямі та непрямі витрати протягом життєвого циклу останніх.

В дослідженнях виконаємо аналіз роботи автобусів довжиною 12 метрів на 80 - 110 пасажиромісць Otokar Kent C CNG (природній газ) і Otokar KENT C (дизель) за рівноцінними техніко-експлуатаційними характеристиками (рис. 3.1, 3.2) [34].



Рис. 3.1. Загальний вигляд CNG-автобуса Otokar Kent C CNG (Турція)



Рис. 3.1. Загальний вигляд дизельного автобуса Otokar KENT C (дизель)  
(Турція)

Розрахунки проведемо на доцільний термін експлуатації цих автобусів.

Відомо, що доцільний термін експлуатації пасажирських дизельних автобусів, що працюють на міських маршрутах обмежується їх мінімальною

рентабельністю, тобто коли витрати на технічне обслуговування і ремонт автобусів меншими за плановий прибуток при їх роботі автобусів. Також при цьому автобуси повинні відповідати нормам допустимого рівня викидів шкідливих речовин у відпрацьованому паливі згідно ДСТУ 4276:2004 «Норми і методи вимірювань димності у відпрацьованих газах автомобілів з дизелями або газодизелями» та Регламент (ЄС) № 595/2009 [59, 60].

Для міських дизельних автобусів як великого, так і середнього класу є економічні передумови - орієнтовні показники такі як: річний середній пробіг (60 тис. км); плановий строк амортизації (не більше 10 років); середньостатистична залишкова вартість на 9-10 році (10–15 % від первісної); затрати на ТО і ремонт стрімко зростають на 7–8 році роботи АТЗ (на 40–50 %) [61–65]. За численними дослідженнями на практиці, мінімальна економічна рентабельність  $\geq 10-15\%$  може зберігатись після 8–9 років у більшості автобусів, але цю межу втрачають через збільшення витрат на паливе, ПММ, складні ремонти двигунів, ходової, КПП та численні простої АТЗ на ТО ПР. *Отже, прийнято 10-річний термін експлуатації.*

Тепер перейдемо до екологічної складової автобусів. Як відомо, згідно ДСТУ 4276:2004 максимальна димність для дизельних автобусів при вільному прискоренні становить  $\leq 2.5 \text{ м}^{-1}$  (з турбонаддувом до  $\leq 3.0 \text{ м}^{-1}$ ), а стосовно Регламенту ЄС № 595/2009 (Euro VI-IV):  $\text{NO}_x \leq 0.4$ ,  $\text{PM} \leq 0.01$ ,  $\text{HC} \leq 0.13 \text{ г/кВт}\cdot\text{год}$  [59, 60].

Отже після експлуатації автобусів – 8...10 р. дизельні двигуни Euro V...VI не відповідають нормативним межам викидів, як правило, через невідповідність сажових фільтрів та систем EGR/SCR [61, 63, 64].

Тому для автобусів з дизельними двигунами приймаємо граничний термін експлуатації до моменту списання 10 років.

### **3.2. Основні витрати при експлуатації дизельних і CNG-автобусів**

В дослідженнях за ключові параметри розрахунку приймаємо такі:

- Початкова вартість CNG-автобуса – 18,6 млн грн (385 тис. євро), дизельного – 15,2 млн. грн (315 тис. євро) [34];
- Середній річний пробіг автобусів – 60 тис. км [63, 64];
- Витрати палива (при повному завантаженні) – 30-50 (середня 40) м<sup>3</sup> метану або 35 л дизеля на 100 км (при максимальному навантаженні з коефіцієнтом наповнення 1) [63 - 65];
- Вартість палива (гуртова): CNG – 32 грн/м<sup>3</sup>, дизель – 48 грн/л (вересень 2025 р.);
- Вартість ТО – 385 тис. грн/рік (CNG) і 482 тис. грн/рік (дизель) [39, 40].

Виконаємо розрахунки.

- *річна витрата пального (CNG - м<sup>3</sup>; дизель – літри):*

CNG паливо:  $24\ 000\ \text{м}^3 \times 32\ \text{грн/м}^3 = 768\ 000\ \text{грн/рік.}$

Дизель паливо:  $21\ 000\ \text{л} \times 48\ \text{грн/л} = 1\ 008\ 000\ \text{грн/рік.}$

Тобто, на 100 км для автобусів:

CNG:  $1\ 280\ \text{грн/100 км;}$

ДП:  $1\ 680\ \text{грн/100 км.}$

Різниця:  $1680-1280 = 400\ \text{грн/100 км}$

- *ТО (обслуговування) [27, 34].*

CNG:  $385\ 000\ \text{грн/рік}$

ДП:  $482\ 000\ \text{грн/рік}$

Різниця:  $482\ 000 - 385\ 000 = 97\ 000\ \text{грн/рік}$

*Річні операційні витрати (паливо + ТО), грн/рік*

CNG:  $768\ 000 + 385\ 000 = 1\ 153\ 000\ \text{грн/рік.}$

Дизель:  $1\ 008\ 000 + 482\ 000 = 1\ 490\ 000\ \text{грн/рік.}$

Різниця:  $1\ 490\ 000 - 1\ 153\ 000 = 337\ 000\ \text{грн/рік}$

*Перший рік: загальні витрати, грн (покупка та річні витрати в перший рік)*

CNG:  $18\,572\,400 + 1\,153\,000 = 19\,725\,400$  грн.

Дизель:  $15\,195\,600 + 1\,490\,000 = 16\,685\,600$  грн.

Різниця:  $1\,490\,000 - 1\,153\,000 = 337\,000$  грн/рік.

*Результативні показники витрати палива та ТО:*

CNG:  $1\,153\,000$  грн /  $60\,000$  км =  $19.22$  грн/км  $\approx 1\,922$  грн /100 км.

(Паливо на 100 км =  $1\,280$  грн, ТО долучає  $\approx 642$  грн/100 км.)

Дизель:  $1\,490\,000 / 60\,000 = 24.83$  грн/км  $\approx 2\,483$  грн /100 км.

(Паливо на 100 км =  $1\,680$  грн; ТО дає  $\approx 803$  грн/100 км.)

Таким чином підсумуємо. Дані для ТО дизеля необхідно 482 тис. грн/рік, тобто дизель має трохи менші загальні витрати першого року, ніж CNG (16.69 млн грн проти 19.73 млн грн). Проте операційні витрати у дизеля за цими даними (1.49 млн грн/рік) вищі за CNG (1.153 млн грн/рік) — тобто дизель зекономить на купівлі, але програє у загальних річних витратах. Якщо враховувати, що з кожним роком витрати на ТО для дизельних двигунів будуть зростати по експоненційно-сповільнюваній кривій більш інтенсивно, ніж для CNG-автобусів матимемо таку тенденцію більших витрат з кожним роком (рис. 3.1) [35-38].

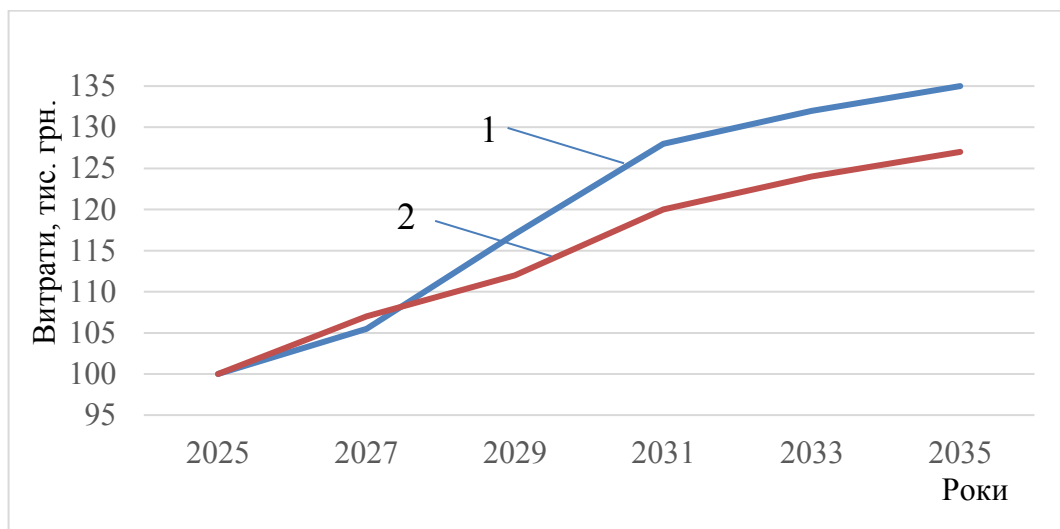


Рис. 3.1. Середньостатистичні витрати на обслуговування автобусів з дизельними та CNG-двигунами, які використовуються для міських пасажирських перевезень (1- дизельні автобуси; 2- CNG-автобуси)

Представлений графік із прогнозуванням до 2035 року (на основі практик використання автобусів) показує прогнозну динаміку витрат на технічне обслуговування автобусів до 2030 р [37, 42, 43]. Дизельні автобуси (верхня лінія) — помірне зростання витрат із поступовим уповільненням після 2032 року. Для CNG-автобуси (нижня лінія) — більш стабільна крива з нижчим темпом зростання, що відображає переваги нових технологій та ефективнішого сервісу, який з часом удосконалюється. Однак маємо зауважити, що CNG-автобуси мають більш тривалий ресурс до капітального ремонту двигунів за дизельні, як правило на 35-45%. Тому розглядати такі автобуси не можна рівноцінно. Якщо дизельні автобуси мають доцільний (ефективний) час експлуатації без заміни двигуна - в середньому до 8-10 років, то CNG-автобуси – 14-16 років, тобто за 4-6 роки після виведення з експлуатації дизельних автобусів, CNG-автобуси приносять суттєвий дохід без капітального ремонту (заміни двигуна) [41, 42]. Отже, таким чином, порівняння даних автобусів дещо сумнівно в перспективі терміну експлуатації, тобто доцільність використання CNG-автобусів в цьому сенсі є більш актуальною і перспективною і оновлення автобусів відбудеться значно пізніше.

#### Пріоритети CNG-автобусів.

CNG-автобуси демонструють нижчі викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах метану і дещо нижчі витрати на пальне і ТО, що робить їх суттєво вигідними у разі:

- субсидування вартості газу та CNG-інфраструктури, що для КП «Київпаstrанс» є реальною перспективою (можливість отримати, при сприянні КМДА, ) [44-47];
- пріоритету екологічної політики на те, що і направлено даний напрямок досліджень [44, 45, 48, 49];
- тривалих термінів експлуатації (12 - 16 років), коли економія палива накопичується.

Тепер зробимо висновок з наступним акцентом стосовно витрат на утримання CNG-автобусів.

Як показали попередні розрахунки, CNG-автобуси дешевші у володінні на (18,1 %) протягом 10 років. Основна економія формується за рахунок нижчої вартості палива (майже в 1,9 раза менше) та знижених витрат на техобслуговування. Відмітимо, що, навіть з урахуванням вартості будівництва газонаповнювальної інфраструктури, CNG-транспорт має нижчі капіталовкладення в часовому проміжку та безумовно екологічніший, що і передбачалось завданнями представленої роботи.

Таким чином, проведемо порівняльну оцінку цих автобусів та виділимо основні пріоритети їх доцільності і недоліки при використанні. Основні дані зведемо у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

Дані порівняльної оцінки дизельних і CNG автобусів щодо пріоритетності їх доцільності використання в міських умовах

Оціночні критерії	Дизель	CNG	Порівняльна оцінка
Початкові капіталовкладення (закупка нових автобусів)	16,7 млн грн	19,7 млн грн	Дизель має перевагу при покупці
Річні експлуатаційні витрати (пальне й ТО)	1,49 млн грн/рік	1,153 млн грн/рік	CNG є дешевший в утриманні
Динаміка росту витрат до 2035 р.	Інтенсивна, із поступовим сповільненням після 2035 р.	Помірна	Витрати ДП зростають швидше
Середній термін експлуатації АТЗ	8 – 10 років	14 – 16 років	Строк експлуатації CNG на 35–45 % довший
Необхідність капітальних ремонтів ДВС	Через 8 – 10 років	Після 14 – 16 років	Перевага CNG - довше без КР
Загальна витрати на утримання протягом 10 років	Вища вартість	Менше на 18,1 %	Перевага CNG - довгострокова перспектива
Витрати на пальне	Вищі вартість (ДП є дорожче)	Менша в 1,5-1,9 рази (коливання ціни)	CNG переважають на 45-70%

Продовження таблиці 3.1

Екологічна складова (рівень викидів)	Вищі CO <sub>2</sub> і NO <sub>x</sub>	Краще для міських умов	CNG – екологічніший
Інфраструктура	Розвинена	Потребує CNG-інфраструктури	CNG – високі витрати на етапі впровадження
Перспективність використання АТЗ	Обмежена (екологічні недоцільність)	Тенденція «чистого транспорту»	CNG є пріоритетним напрямом розвитку

### 3.3. Витрати на експлуатацію дизельних і CNG-автобусів приведених до граничного строку експлуатації

Виходячи з аналізу, що CNG-автобуси мають більший термін експлуатації в 1,3-1,5 рази більше, прийmemo, що CNG-автобуси працюють до списання 14 років, а дизельні автобуси 10 років. Тобто дизельні автобуси після утилізації після 10 років роботи мають оновлюватись, а потім необхідно проводити закупку нового дизельного автобуса, котрий буде працювати 4 роки, тобто до настання терміну утилізації CNG-автобусів. Зробимо перерахунок загальних витрат за цим алгоритмом.

Економічну оцінку в грошовому вимірі на основі наданих вхідних даних і умов приведемо нижче. Маємо: дизельний автобус до утилізації експлуатується 10 років. Після 10 років утилізується і на це місце купують новий автобус з дизельним двигуном, який працює ще 4 роки, тобто два автобуси сумарно працюють 14 років. Стосовно CNG-автобусу, він купується один раз і повноцінно працює 14 років.

#### Приведемо розрахунки за 14 років експлуатації обох автобусів, їх підсумкову оцінку і зробимо висновки.

*CNG-автобус:*

Вартість - 18,6 млн грн.

Операційні витрати ( $V_{\text{оп. CNG}}$ ):

$$V_{\text{оп. CNG}} = 14 \times 1,153 = 16,102 \text{ млн грн.}$$

Загальні сумарні витрати ( $V_{\text{заг. CNG}}$ )::

$$V_{\text{заг. CNG}} = 18,6 + 16,102 = 34,742 \text{ млн грн.}$$

Дизельний автобус:

Два автобуси (перший 10 років, другий 4 роки)

1) Купівля першого автобусу - 15,2 млн грн

Операційні витрати першого за 10 років ( $V_{\text{оп.диз.}}$ )::

$$V_{\text{оп.диз.}} = 10 \times 1,49 = 14,90 \text{ млн грн.}$$

Утилізація першого приймаємо без додаткової компенсації (всі цінні агрегати автобусі зношені на 95-99%).

2) Купівля другого дизельного автобуса - 15,2 млн грн. Але операційні витрати другого розраховуємо на 4 роки, тобто:

$$V_{\text{оп.диз.}} = 4 \times 1,49 = 5,96 \text{ млн грн}$$

Сумарні витрати за 14 років експлуатації

$$V_{\text{заг.диз.}} = (15,2 + 14,90) + (15,2 + 5,96) = 51,26 \text{ млн грн}$$

Отже маємо різницю. Абсолютна економія при використанні одного CNG за термін 14 років при порівнянні в експлуатації з дизельним автобусом через 10+4 років становить:

$$E_{\text{CNG}} = 51,26 - 34,742 = \underline{16,518 \text{ млн грн.}}$$

Отже маємо суттєву економію 32.2%, тобто CNG-автобус буде дешевший на 32.2% від витрат дизельного автобусу за 14 років.

Тепер виконаємо розрахунки собівартості (середньої) на пройдений один км пробігу автобусів. Умова – середні показники за 14 років експлуатації, при 60 000 км/рік або 840 000 км за 14 років:

Собівартість CNG-автобусів:

$$C_{\text{CNG}} = 34,742 \text{ млн} / 840 \text{ 000 км} = \underline{41,36 \text{ грн/км}}$$

Собівартість дизельних автобусів:

$$C_{\text{диз}} = 51,26 \text{ млн} / 840 \text{ 000 км} = 61,02 \text{ грн/км}$$

Таким чином, розрахунковий період окупності додаткових капіталовкладень у CNG-автобусів отримаємо за 14 років:

1) Премія за купівлю нового автобуса  $P_{\text{CNG}}$ :

$$P_{\text{CNG}} = 18,6 - 15,2 = 3,4 \text{ млн грн}$$

2) Річна економія операційних витрат  $E_{CNG}$ :

$$E_{CNG} = 1,49 - 1,153 = 0,337 \text{ млн грн/рік}$$

Різниця капіталовкладень за визначений строк становить  $K_{CNG}$ :

$$K_{CNG} = 3,4 / 0,337 = 10,1 \text{ років}$$

Тобто за операційною економією на перші 10 років наш проєкт повністю окупиться. Також додатковий «бонус» після 10 років від подовженого ресурсу роботи CNG-автобусу ще 4 роки й відсутність потреби купувати наступний робить цей автобус значно вигіднішим.

Тепер зробимо підсумок з деталізацією основних положень проведених розрахунків. За умов запропонованої моделі досліджень за 14-річний цикл експлуатації дизельних і CNG-автобусів до утилізації отримаємо наступний результат. CNG-автобуси матимуть значну перевагу, аніж два дизельні автобуси, тобто коли перший автобус працюватиме до утилізації 10 років, а на заміну йому закуплять на 4 роки інший. Економія при цьому становитиме 16,5 млн грн або майже 32%.

Підсумкові розрахункові дані свідчать, що CNG-автобуси матимуть значно менші річні операційні витрати, тобто пального і техобслуговування.

Стосовно технічного обслуговування і ремонту автобусів, як зазначало вище, для дизельних автобусів амортизаційні відрахування є більшими.

Зазвичай амортизація, як бухгалтерські розрахункові відрахування, загальноприйнято лінійну амортизацію АТЗ по «життєвому циклу» з ліквідаційною вартістю = 10% від вартості нового АТЗ. Таким чином, річна амортизація, як постійна величина (за бухгалтерськими обрахунками являється лінійна амортизаційна крива, що надає стабільну суму) [66 - 69]. Однак дійсні відрахування на амортизацію у вигляді резервів, фондів, витрат на ремонтування змінюються з віком по зростаючій кривій.

Витрати на ТО і ремонти, в рамках наших досліджень моделюватимемо емпірично, тобто ми спиратимемось як на українські, так і міжнародні дослідження [67, 69]. Отже, базова витрата техобслуговування прийнята як частка (%) від цін у перший рік експлуатації (середньостатистично: 2,0 % -

дизель; 1,8% - CNG) У подальшому витрати зростають щорічно в середньому на 1,5-1,6 %, тобто маємо, так званий, фоновий тренд - тенденція зміни обсягу фондів ТО і ПР як кошти, трудові або матеріальні ресурси за період експлуатації автопарку 10 + 4 роки для дизельних і 14 років для CNG-автобусів. Спостерігаються суттєве збільшення витрат на ТО і ПР період 6-7 і після 8-10 років експлуатації [70, 71].

Останнє базується на базі реальних даних з експлуатації дизельних автобусів, тобто спостерігається суттєве зростання вимушених незапланованих ремонтів чи капремонтів у кінцевій фазі життєвого циклу АТЗ [72, 73] (рис. 3.2).

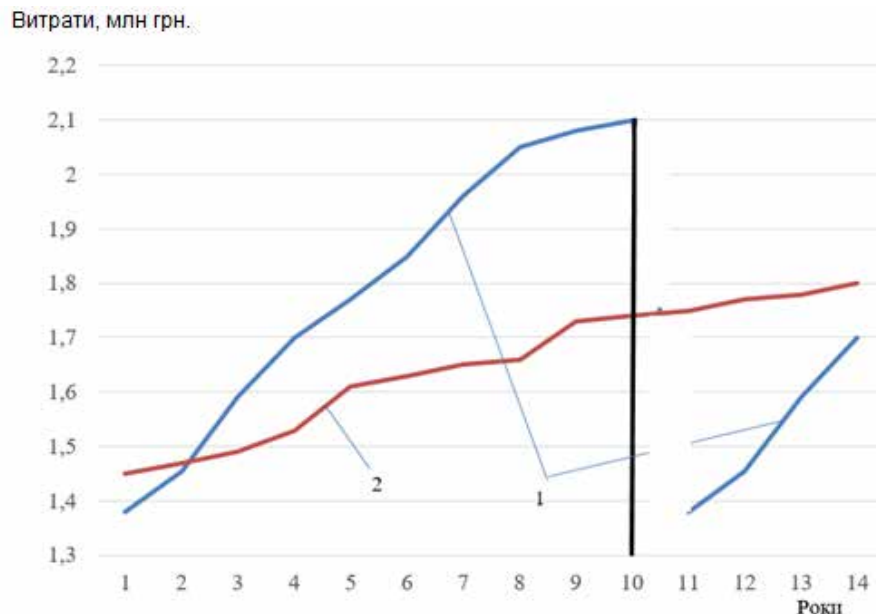


Рис. 3.2. Емпіричне моделювання витрат на ТО і ПР [67, 68, 70, 72, 73],  
де 1- дизельні автобуси; 2- CNG-автобуси

Виходячи з представлених даних (рис. 3.2) CNG-автобус працюють довше до 14 років, але у стратегії використання дизельних автобусів необхідно виконати додаткові капіталовкладення на закупівлю нового автобусу, котрий буде працювати 4 роки (у межах остаточного доутилізаційного терміну експлуатації CNG-автобусу, тобто до 14 років).

Таким чином, при 14-річному терміні експлуатації вказаних автобусів загальна економія для CNG-автобусів є більш значна. Також варто звернути особливу увагу, що вартість будівництва інфраструктури (у подальшому через 18-20 років модернізації) для CNG-автобусів, тобто заправки це звісно є довготривалі капіталовкладення. Якщо закласти у дослідний проєкт будівництво заправної станції з інфраструктурою, тоді сумарні номінальні витрати за 14 років експлуатації CNG-транспорту і її інфраструктури збільшаться в межах 1,2-1,3% (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Порівняння ефективності CNG-автобусів (14 років експлуатації) та дизельних (10 + 4 роки)

Показник	CNG-автобус	CNG-автобус + інфраструкт.	Дизельна стратегія (10 + 4 роки)	Підсумок
Вартість нового автобуса, млн грн	18,60	19,1 (+ 0,5 млн грн інфрастр.)	15,2 + 6,08 (на 10 + 4 роки)	CNG дорожчий на старті введення в експлуатацію
Операційні витрати, млн грн/рік	1,151	1,152	1,49	CNG має менші витрати на 337 тис. грн/рік
Сумарні номін. витрати за 14 р., млн грн	<b>34,73</b>	<b>35,238</b>	<b>51,26</b>	CNG дешевше на майже на 16 млн грн
Вартість на 1 км пробігу (середня), грн/км	41,35	41,959	61,02	Економія до 33% на 1 км пробігу
Ставка дисконту (8%), млн грн	-19,81	-20,157	-28,73	CNG вигідніше на майже 8,9 млн грн
Ставка дисконту (12%), млн грн	-17,64	-17,987	-24,57	Перевага CNG
Термін експлуатації АТЗ, роки	<b>14,0</b>	<b>14</b>	<b>10 + 4 (новий автобус)</b>	CNG служить у 1,4 рази довше
Загальна економія CNG/дизель автобусами	<b>16,0–16,5 млн грн</b>	<b>15,5–16,02 млн грн</b>	—	Значна перевага на довгостроковому тоні
<b>Висновок</b>	Економічно доцільно в міських умовах	Економічно доцільно разом із інфраструктурою для CNG-автобус	Значні витрати при коротшому строку використанні	Окупність CNG-автобусів є - більші інвестиції при менших експл. витратах і тривалого ресурсу

Також, якщо не враховувати дисконтування грошових коштів у наданих розрахунках, дослідженнями передбачено те, що ми не повноцінно застосовували часову вартість витрат. Однак, якщо застосувати ставку фінансування, звісно остаточні результати можуть дещо змінитися, але на такому проміжку часу не суттєво. І варто мати на увазі, що особлива перевага CNG-автобусів (при великій кумулятивно-операційній «економії») зникне не протягом кількох років.

Також звернемо вашу увагу і на те, що коливання ціни на пальне для дизельних й CNG-автобусів досить суттєво не вплине в найближчій перспективі. Окрім цього, останнє викликано іще тим, що дизельне пальне є імпортом і залежить від курсу євро-гривня, а природній газ (метан) є внутрішнім «продуктом» виробництва (це є забезпечення робочих місць і стабільна кон'юнктура українського ринку).

Отже, на основі проведених досліджень, CNG-автобуси мають стабільно вищі стартові загальні капіталовкладення, однак мають менші техніко-експлуатаційні витрати, а також строк служби більший в середньому на 40%, що робить їх більш економічно ефективними протягом 14 років експлуатації.

Щодо екологічних переваг CNG-автобусів з можливістю державного чи міжнародного субсидування, кредитування чи грантів матимемо перехід на CNG-транспорт більш ефективним і економічним проектом, але, крім цього, і перспективним напрямом для подальшої роботи в умовах пасажирських громадських міських перевезень в Україні.

### **Висновок до розділу 3**

Проведені нами дослідження щодо економічної й екологічної доцільності упровадження на міські маршрути CNG-автобусів показали певні переваги даного виду транспорту над дизельними. Встановлено, що при однорідних техніко-експлуатаційних характеристиках зазначених автобусів суттєво нижчі витрати як на пальне, так і ТО - загальні витрати що становлять

1,15 млн грн є менші від дизельних автобусів, які мають 1,49 млн грн витрат, тобто маємо економію майже 337 тис. грн/рік.

При 14-річному «життєвому» циклі (CNG) і 10+4 років для дизель-автобусів, загальні сумарні витрати CNG-автобусів дорівнюють 34,74 млн грн, тоді як два дизельні автобуси (перший – 10 років, 2-й – 4 роки експлуатації) за 51,26 млн грн, що забезпечує середньозважену економію близько 16,5 млн грн або 32,2% за розрахунковими даними.

Таким чином, середня собівартість перевезень пасажирів на 1 км для CNG-автобуса дорівнює 41,36 грн/км, тобто на 32% дешевше за дизель-автобус (61,02 грн/км). Тепер, враховуючи триваліший термін служби двигунів CNG-автобусів (мінімум 14 років), останні є більш ефективними.

Відносно екологічної складової – є однозначні переваги CNG-автобусів щодо суттєвого зменшення викидів CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> і твердих часточок (найбільш шкідливі для людини).

До основних недоліків з упровадження CNG-автобусів віднесемо значні початкові капіталовкладеннями на закупку автобусів (на 27-30% більше за дизельні) і створення заправних станцій і обладнання для обслуговування CNG-двигунів (інфраструктура). Проте дані витрати повністю компенсуються протягом 10–11 років цих автобусів.

## **РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ CNG-СИСТЕМ НА ПАСАЖИРСЬКОМУ АВТОТРАНСПОРТІ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ**

### **4.1. Загальна характеристика та ризики роботи автобусів з двигунами CNG**

Загальні характеристики CNG-автобусів та специфіка ризиків при їх використанні. CNG-автобуси це автобуси двигуни яких працюють на природньому паливі - метан ( $\text{CH}_4$ ). Це паливо зберігається у балонах під тиском в межах 200–250 бар. Якщо порівнювати з рідким паливом (ДП), метан має інші фізичні та хімічні властивості, а саме: низьку енергощільність на одиницю власного об'єму, відмінні межі при займанні, досить високий тиск для зберігання й інші аварій, що можуть статись в деяких випадках. До таких випадків відносяться - витік метану під тиском, утворення сумішей із повітрям або пробої балонів, при механічних навантаженнях тощо. Вказані властивості мають дещо специфічні вимоги до виконання даних конструкції, техобслуговуванні, її монтажу, організації необхідної техніки безпеки при експлуатації [47-51].

Загальна оцінка ризиків має проводитися на рівні самого підприємства й містити і кількісні, і якісні заходи такі як:

- Витоки газу внаслідок корозії чи пошкодження відповідних з'єднань, виникнення несправностей клапанів і регуляторів, що призводить до накопичення газів при відсутності чи недостатній вентиляції. Дані несправності викликають займання, детонації, але при наявності відкритого вогню чи іскри.
- Статичний чи динамічний розрив балонів. Такі наслідки виникають при потужному ударі з розривом, проколах, розрізах, що може відбутись імпульсивний зрив кріплень, викид чи уламкові ураження поблизу розташованих систем.

- Неправильні ремонт чи переобладнання паливної системи, використання компонентів несертифікованих згідно норм або ж неправильний.
- Помилки обслуговуючого персонал, відсутність або недостатня кількість інструктажів, несвоєчасні дії при виникненні запаху газу, порушення при заправці балонів).
- Непередбачувані події - ДТП, умови використання при високих температурах, несподівані пожежі.

Оцінка ризиків має бути зроблена відповідально і має враховувати ймовірність виникнення події і тяжкість наступних наслідків. Для CNG-систем важливо вести спеціальні журнали щодо інспекцій балонів та компонентів з аналізом тенденції можливих відмов [50-52].

#### **4.2. Технічні засоби з безпеки та вимоги при проектуванні і обладнанні техніки**

Розглянемо балони, цистерни і спеціальні матеріали. Використання балонів, котрі відповідають міжнародному стандарту ISO 11439 чи подібним вимогам R110 має пройти маркування, сертифікацію, таблички ідентифікацію, контроль дати виготовлення, тестування тощо [51, 52]. Також має бути передбачено захист експлуатаційних елементів від корозії, тобто мати антикорозійне покриття, контроль основних кріплень, антивібраційний захист.

Жорсткі вимоги стосуються запобіжних пристроїв, тобто перепускні клапани – PRV, пристрої для вирівнювання тиску – PRD (ISO 15500) [53].

Паливні системи (лінії) та важливі з'єднання під тиском мають бути виготовлені зі сталі з нержавіючих та гофро-композитних матеріалів. Важливі з'єднання, що під тиском мають бути з маркуванням й деталізованими інструкціями по експлуатації [53].

Вимоги до датчиків витоків та систем їх моніторингу стосуються наступних важливих питань. Особлива увага має бути прикута до:

- датчиків парів і газу в моторних, багажних відсіках, а також у місцях кріплення балонів;
- систем сигналізації на приладовій панелі у кабіні водіїв, автоматизованих запірних електроклапанів у разі витоку газів.

Вимоги до вентиляції та конструкцій передбачається забезпечення або природної, або примусової вентиляції, зон виведення газів назовні, а також кріплення балонів високого тиску поза салоном автомобіля чи у окремих відсіках з якісними дренажними каналами і клапанами.

Питання електричної безпеки стосується електрообладнання, розміщеного біля паливної системи повинно відповідати і контролюватись згідно підвищеним вимогам «EMC», тобто уникати можливих контактів (запобігання відкритого вогню чи іскри у зонах їх встановлення [52]).

*Управлінські і організаційні заходи з охорони праці.*

Особливості управлінських і організаційних заходів із охорони праці передбачають не лише інструкції з експлуатації, але й експлуатаційні журнали жорсткої звітності.

Особливу увагу у зазначеному аспекті є розробка детальної інструкції:

- щоденний огляд важливих систем паливного забезпечення перед виїздом на лінію із зазначенням у чек-листах водіїв;
- регулярні щотижневі (декадні) інспекції;
- періодичні випробування гідростатики балонів (інтервали визначаються відповідно інструкцій виробника або за стандартами ISO.
- Облік виконаних робіт у журналах по ТО і ПР [49, 52].

Проведення планової періодичні випробувань балонів високого тиску пов'язано з гідростатичними тестами, відповідний УЗ-контроль (неруйнівний контроль), регулярна перевірка запобіжних клапанів тиску або пристроїв для скидання тиску (згідно інструкцій ISO 11439 і 15500, а також регулярний моніторинг результатів випробування й маркування дати проведення на балонах високого тиску [48, 53].

Інфраструктурна складова, тобто відділ ТО, ремонту, гаражі для CNG-автобусів має обладнуватись не лише окремо, але й облаштуванням без будь-яких джерел займання чи виникнення іскор зі вентиляційним обладнанням. Ремонтні роботи або обслуговування паливної системи мають виконуватись тільки з відключеним живленням й зниженому тиску у балонах.

Контроль якості запчастин і сервісу відбувається лише з постачальниками, що працюють згідно сертифікатів UN, ISO і ECE на балони та їх компонентів з обов'язковою фіксацією партій, серій, номерів тощо [51, 52].

Аварійні ситуації, заходи та протоколи дій при виникненні аварій, витоків, пожеж вважаються при ситуації, коли відчувається запах газу. За таких ситуацій порядок дій має бути:

- зупинити автотранспортний засіб у безлюдному і безпечному місці;
- заглушити двигун автобуса;
- вимкнути електроприлади;
- не вмикати й не вимикати прилади, котрі можуть сприяти виникненню пожежі;
- обов'язкова евакуація пасажирів і сторонні людей поблизу з боку проти вітру;
- термінове повідомлення служб екстреної допомоги при необхідності.

У випадку виникнення пожежі необхідно оперативно і негайно:

- евакуювати пасажирів і людей поблизу;
- застосування засобів пожежогасіння у разі незначного вогнища (вогнегасники), але в разі коли це безпечно;
- утримуватись від гасіння великого полум'я, коли існує загроза розриву (вибуху) балонів, тобто сповістити цю інформацію пожежникам;

Отже, зазначені дії, чітко і вчасно мають бути регламентовані як загальними правилами пожежної безпеки, так і відповідними специфічними вимогами до CNG-систем [53].

Особливу увагу необхідно приділяти навчанню персоналу, інструктажу водії щодо перевірки щодо виявлення наявності запаху газу, працездатності датчиків, застосування алгоритмів щодо евакуації персоналу і пасажирів.

Також проведення заходів з підвищення кваліфікації механіків, персоналу з технічного обслуговування та діагностики, спеціалізованих курсів із ТО CNG-систем (наприклад, монтажних робіт для балонів, тестування запобіжних систем, правила заправки тощо), знання вимог стандартів ISO та UNECE [48-53].

Кваліфікований персонал АЗС мають отримати знання процедур спілкування із водіями й відповідних алгоритмів аварійного реагування на будь-які ситуації.

Особлива увага має бути приділена регулярності у первинному інструктажі, коли відбувається прийом на роботу. Повторні інструктажі чи підвищення кваліфікації проводяться мінімум один раз на рік, але позапланово обов'язково після нетипових інцидентів або кардинальних змін в роботі, обладнанні тощо [54].

### **4.3. Законодавство і правові норми щодо охорони праці і техніки безпеки при організації роботи з автомобільною технікою**

Приведемо основні правові та нормативні вимоги українського законодавства, тобто ключові документи для ефективної роботи автотранспортних засобів. Правила охорони праці регламентуються на автомобільному транспорті Наказом МНС України за №964 (2012 р.). Цей наказ є базовим документом із організації щодо охорони праці на автомобільному транспорті. Це переважно відповідні журнали, інструктажі, протипожежна експлуатація техніки і обладнання, порядок техогляду і обслуговування техніки та ін.) [56]. Закон України №329-VIII від 09.04.2015 «Про ринок природного газу» встановлює загальні правові засади щодо функціонування газового ринку на території України на основі конкурентоспроможності підприємств, прямого захисту прав усіх споживачів

й безпеки постачання останнім. Він закладає визначальні основи для інтеграції із європейським енергоринком та сприяє утворенню внутрішнього конкурентного середовища, де усі споживачі мають рівноцінну можливість обирати власного постачальника газу [55].

В Україні діють єдині положення щодо затвердження наступного:

- Спеціальні компоненти моторних транспортних засобів, котрі використовують стиснений (скраплений) природний газ у власній системі руху
- Транспортні засоби щодо яких встановлено спеціальні компоненти затвердженого типу щодо використання СПГ. Це є міжнародні технічні регламенти і стандарти, котрі застосовуються на території України при імпорті, сертифікації та у проектуванні на основі UN / ECE Regulation №. - 110, тобто це вимоги до окремих компонентів і встановлення СПГ за ISO 11439 та ISO 15500 (його частини). Останні класифікуються як технічна база до конструкцій й випробувань [56-58].

Зазначимо, що в якості пріоритетних вимог по безпеці паливної апаратури автомобільного транспорту як правило реалізуються через певну імплементацію зазначених міжнародних стандартів у документацію виробника і наступних вимог замовників при закупівлі. Для перевізників різних форм власності доцільно вимагати в тендерних процедурах дотримання відповідності - R110 та сертифікації за ISO [56, 57].

#### **4.4. Організація перевезень та порівняльна характеристика СПГ- і дизельного транспорту**

Головна відмінність між СПГ- і дизельним транспортом це є високий тиск при зберіганні газу та його фізичні властивості. Перерахуємо деякі з основних. Особливу увагу необхідно приділяти до:

- Витоків, котрі можуть бути майже не помітні (без візуального відтворення);
- Накопичення в закритих порожнинах;

- Дизельних двигунів, де витоки мають зазвичай явну рідинну фазу й створюють видимі випаровування чи «палаючу» поверхню.

Стосовно CNG-двигунів автобусів, пожежна небезпека має:

- вузький діапазон концентрацій щодо займання газу. Однак при витоках під тиском останній швидко диспергується у відкритому просторі;
- ризик набагато вищий за умови, коли відсіки для зберігання є закритими.

Техобслуговування: CNG-техніка вимагає додаткових кваліфікацій, випробувань балонів і обладнання для контролю тиску [57]. Також зазначимо, щодо екологічної складової CNG-систем. Переважно CNG-системи мають значно менше викидів PM, NO<sub>x</sub> та CO<sub>2</sub> у порівнянні із дизельним двигуном. Останнє є суттєвою конкурентною перевагою. Але ця перевага загалом не зменшує основних вимог до безпеки [56-58].

#### **4.5. Основні положення щодо охорони праці і безпеки водія CNG-автобуса**

Загальні положення (аналіз), які відповідають положенням українського законодавства і стандартів ISO викладемо коротко нижче [56-58].

Інструкція, котра стосується охорони праці і безпеки для водіяів автобусів, котрі працюють на CNG-автобусах встановлює вимоги безпеки в експлуатації, обслуговування й ТО, що працюють на CNG-автобусах з метою запобігання аваріям, травмам, вибухам тощо.

Основні вимоги цієї інструкції є обов'язковими для водіїв, техперсоналу й осіб, котрі працюють з такими автобусами. Водій CNG-автобуса зобов'язаний проходити попередній періодичний медогляд та відповідне навчання з пожежної безпеки, охорони праці, надання домедичної допомоги та іншої допомоги. Водій має отримати спеціальну підготовку із правил експлуатації CNG-транспорту. Експлуатація CNG-автобусів регламентується такими нормативними актами як:

- ЗУ “Про охорону праці”;
- ЗУ “Про дорожній рух”;
- Правилами охорони праці на автотранспорті («НПАОП 0.00-1.62-12»);

- Правилами техексплуатації РС автотранспорту;
- «Правилами безпеки систем газопостачання» («НПАОП 0.00-1.76-15»);
- ДСТУ ISO 15501-1:2017 і ДСТУ ISO 15501-2:2017, котрі мають вимоги саме до CNG-системи на автотранспортних засобах.

Загалом газобалонне обладнання (далі ГБО) проходити повинно технічне обстеження й перевірку щодо герметичності відповідно затверджених регламентів, як правило, не рідше одного разу на три роки чи за з інструкцією виробника ТЗ

До водіїв передбачено вимоги безпеки перед початком роботи такі як:

- Виконання передрейсового медичного огляду;
- Перевірка справності систем автобусів: газових балонів (відсутність корозії, пошкоджень, вм'ятин тощо), електрообладнання, герметичності з'єднань паливного забезпечення, акумуляторів, освітлення, мастильних матеріалів, рідини охолоджувальної та гальмівної системи.

Водію заборонено розпочинати за наступних умов:

- витоку газу чи будь-який запах метану;
- несправність систем запалювання (електрообладнання тощо);
- мінімальне пошкодження газових балонів, шлангів тощо;
- відсутності засобів пожежогасіння, медаптечки, знаку аварійної зупинки і т.і.

При виявленні будь-яких несправностей водіям треба повідомлювати відповідальну особу і заборонено виїжджати на маршрут.

При експлуатації автобуса водіям забороняється:

- палити чи користуватися відкритим вогнищем коло РС;
- залишати автобус з працюючим двигуном без власного нагляду;
- виконувати заправку, коли працює двигун чи;
- працювати електроінструментом, котрі можуть утворити іскру поблизу CNG-балонів.

За умови появи запаху газу, незвичних свистів або падіння тиску в CNG-системі негайно треба:

- зупинити автобус;
- вимкнути запалювання;
- закрити вентиль подачі газу;
- вивести усіх пасажирів від автобуса на відстань мінімум на 25 м;
- повідомити відповідальних працівників і пожежну службу.

Рух автобуса не допускається зі перекритим газовим вентиляем без завчасного провітрювання салону або ж відсіків із обладнанням.

При загорянні CNG-двигуна чи газової системи треба:

- негайно зупинити автобус;
- закрити вентиль подачі газу;
- зняти клему акумуляторної батареї, якщо є така можливість;
- використати вогнегасник, але не використовуючи воду.

*Основні вимоги техніки безпеки при заправці АТЗ.*

Заправку CNG-автобусів здійснюють виключно на сертифікованих компресорних чи газонаповнювальних станціях, котрі отримали дозволи й обладнані обладнанням пожежогашіння. Водій при заправці зобов'язаний:

- вимкнути запалення двигун;
- відкрити капот для вентиляції двигуна;
- запобігти перебуванню пасажирів у АТЗ;
- не користуватися будь-якими електроприладами.

Переконатися, що подача газу повністю припинена перед від'єднанням заправного шлангу. По завершенню заправки перевірити герметичність з'єднань за допомогою мильного розчину. Важливо - не використовувати вогонь для виявлення витоків газу.

Після завершення роботи водій має виконати такі вимоги з безпеки:

- при поверненні в АТП водій повинен поставити автобус на стоянку в спеціально відведене місце для таких автобусів;
- перекрити вентиль витоку газу із балонів;
- перевірити чи є запах газу;
- вимкнути живлення й інші системи АТЗ;

- здати АТЗ черговому відповідальному механіку.

За умови виявлення будь-яких несправностей водій має зробити запис у відповідному журналі технічного стану АТЗ. Водій, котрий порушив вимоги положень інструкції, несе повну адміністративну і дисциплінарну або, навіть, кримінальну відповідальність згідно із українським законодавством. При виникненні нещасного випадку водій АТЗ зобов'язаний терміново повідомити керівників чи відповідальних з охорони праці, надати будь-яку необхідну медичну допомогу потерпілому чи викликати швидку допомогу і забезпечити первинний стан обстановки до прибуття виконавчих органів з пожежної безпеки.

#### **Висновки до розділу 4**

Отже, приведемо практичні рекомендації виходячи з вищевикладеного матеріалу. Заздалегідь, перед закупівлею автотранспорту необхідно вимагати обов'язково сертифікати R110 й протоколи випробувань техніки за ISO на балони високого тиску, документи, що підтверджують про відповідність ISO 15500 для окремих компонентів CNG-систем [56-58].

Обов'язковою умовою є впровадження щоденних чек-листів водія, де зазначаються такі дані: наявність запаху газу, цілісність технічних кріплень, наявність корозії, показання індикаторів тиску та робочих датчиків.

Вихідним заходом має бути організація окремого сервісу у майстерні для CNG-систем з обов'язковим контролем вентиляції й засобами, котрі не є іскроутворюючими.

Забезпечити укладення договорів з сертифікованою сервісною профільною організацією для випробувань балонів високого тиску.

На основі стандартів обґрунтувати і розробити інструкції для аварійних ситуацій для персоналу із конкретним алгоритмом дій.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений аналіз роботи КП «Київпастрас», де становлено, що підприємство активно працює на ринку міських перевезень Києва. Автопарк підприємства налічує 531 автобус в експлуатації (що працюють щодня), та обслуговує 91 маршрут, проте майже 80 % техніки морально і фізично застаріли, що впливає на екологічну безпеку. Планується деяке оновлення - у 2026 році придбати до дизельних автобусів з екостандартом Євро 5/6 із загальною пасажиромісткістю 70 + загальної пасажиромісткості.

Проведені нами розрахунки у другому розділі підтверджують, що перехід з дизель-автобусів (Євро-4) до CNG-автобусів призводить до зменшення обсягів викидів CO<sub>2</sub> на 18,7 %, NO<sub>x</sub> - 17,61%, PM<sub>2.5</sub> до 90 % (найбільш шкідливих для людини), а SO<sub>2</sub> взагалі відсутній. Останнє свідчить про суттєве зменшення викидів шкідливих речовин, що призводять до хронічних і патологічних невиліковних хвороб людей.

Використання електробусів, попри високі капіталовкладення, забезпечують повну відсутність шкідливих викидів. З результатів досліджень маємо, що оптимальною стратегією в умовах України є поступовий перехід від транспорту з дизельними двигунами до електричних (в далекій перспективі) і CNG-автобусів як проміжного між цими дизельним і електричним транспортом. Це сприятиме формуванню сталого більш екологічного міського середовища для громадян та зменшення енергозалежності й досягненню еко-стандартів ЄС.

Проведений аналіз показав, що перехід із використання дизельних автобусів екостандартом - Євро-4 на метанові CNG-автобуси зменшує викиди CO<sub>2</sub> до 18,7 %, NO<sub>x</sub> до 17,61 %, твердих частинок (PM<sub>2.5</sub>) майже на 90 %, а SO<sub>2</sub> повністю відсутнє.

В третьому розділі висвітлені результати проведених досліджень, що підтвердили економічну та екологічну доцільність упровадження CNG-автобусів для роботи на міських маршрутах. При рівнозначних техніко-

експлуатаційних характеристиках річні витрати останніх становлять 1,15 млн грн напроти 1,49 млн грн (дизелі), що надає економію практично 337 тис. грн/рік. Таким чином, через 14-річний цикл експлуатації автотранспорту сумарні витрати на роботу CNG-автобусів можуть становити близько 34,74 млн грн, тоді як два дизельні (10 + 4 роки) 51,26 млн грн, тобто економія може скласти до 16,5 млн грн або понад 30 %. Собівартість перевезень пасажирів за розрахунками має становити 41,36 грн/км (CNG) проти 61,02 грн/км (дизель), що на 32 % менше. Попри цього, CNG-двигуни мають триваліший ресурс (більший на 35-45%) і суттєво мають шкідливих викидів CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> та PM2.5. Особливість CNG-автобусів є початкові вищі інвестиції - до 27–30% й необхідність у компресорних заправках, однак вони у повній мірі окупляться за 10–11 років.

Четвертир розділ присвячений аналізу, де пропонується низка практичних рекомендацій стосовно безпечної експлуатації й ТО для CNG-автобусів. Перед закупівлею такого транспорту необхідно вимагати обов'язкового сертифікату відповідності (R110), відповідні протоколи випробувань відповідно ISO, а також ряд документів щодо підтвердження відповідності систем CNG-автобусів вимогам ISO 15500. Обов'язковим елементом експлуатації є заповнення щоденне водіями чек-листів із перевірками запаху газу, цілісності усіх кріплень, відсутність корозії,. Контроль показників тиску й роботи датчиків – обов'язкове. Також важливим заходом є створення сервісних постів для ТО CNG-систем, оснащених вентиляцією й безіскровими технічними засобами. Також мають бути укладені договори із сертифікованими сервіс-фірмами для регулярного контролю балонів високого тиску. Мати детальні інструкції для обслуговуючого персоналу при аварійних ситуаціях з алгоритмами дій за стандартами безпеки і охорони праці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. YouControl. КП «Київпастрас». ЄДРПОУ 31725604 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://youcontrol.com.ua/catalog/company\\_details/31725604/](https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/31725604/) (дата звернення: 30.07.2025).
2. Опендатабот. КП «Київпастрас» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://opendatabot.ua/c/31725604> (дата звернення: 30.09.2025).
3. Київська міська державна адміністрація. Департамент транспортної інфраструктури [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dti.kyivcity.gov.ua/> (дата звернення: 30.07.2025).
4. Київська міська державна адміністрація. Звіт про діяльність КП «Київпастрас» за 2023 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kyivcity.gov.ua/> (дата звернення: 30.07.2025).
5. БізнесЦензор. Генеральний директор КП «Київпастрас» подав у відставку [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://biz.censor.net/> (дата звернення: 30.06.2025).
6. Хмарочос. Скільки транспорту є у Києві та у кого він на балансі [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://hmarochos.kiev.ua/> (дата звернення: 30.06.2025).
7. Prozorro. Договір фінансового лізингу автобусів МАЗ для КП «Київпастрас» [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://prozorro.gov.ua/> (дата звернення: 30.06.2025).
8. У Києві один з міських автобусів змінює маршрут (схема) / Центр транспортних стратегій. — 1 квітня 2025. — Режим доступу: [https://cfts.org.ua/news/2025/04/01/u\\_kievi\\_avtobus\\_\\_7\\_zminyue\\_marshrut\\_skhema\\_82439?utm\\_source=chatgpt.com](https://cfts.org.ua/news/2025/04/01/u_kievi_avtobus__7_zminyue_marshrut_skhema_82439?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення 06.05.2025).
9. Київська міська рада. Проект рішення Київської міської ради «Про затвердження Міської цільової програми розвитку транспортної інфраструктури міста Києва на 2024–2025 роки» : картка документу

- (реєстрація №1589) [Електрон. ресурс]. – Київ, 2023. – Режим доступу: <https://kmr.gov.ua/uk/content/proekt-rishennya-1589> (дата звернення: 06.04.2025).
10. Масенко, Вероніка. 80 % киян задоволені роботою громадського транспорту – опитування / The Village Україна. — 2 березня 2023. — Режим доступу: [https://www.village.com.ua/village/city/city-news/336621-80-kiyan-zadovoleni-robotoyu-gromadskogo-transportu-opituvannya?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.village.com.ua/village/city/city-news/336621-80-kiyan-zadovoleni-robotoyu-gromadskogo-transportu-opituvannya?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення 11.07.2025).
11. У Києві на півроку приберуть два маршрути — які саме та що пустять замість них : новина [Електрон. ресурс]. — 16 вересня 2024. — Режим доступу: [https://kiev.informator.ua/uk/u-kiyevi-na-pivroku-priberut-dva-trolleybusni-marshruti-yaki-same-ta-shcho-pustyat-zamist-nih-shemi-ruhu?utm\\_source=chatgpt.com](https://kiev.informator.ua/uk/u-kiyevi-na-pivroku-priberut-dva-trolleybusni-marshruti-yaki-same-ta-shcho-pustyat-zamist-nih-shemi-ruhu?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 06.06.2025).
12. Зміни в маршрутах автобусів Києва через ярмарки: що потрібно знати : новина [Електрон. ресурс]. — 25.02.2025. — Режим доступу: [https://life.kyiv.ua/amp/news/zmini-v-marshrutah-avtobusiv-kiva-cherez-yarmarki-scho-potribno-znati?utm\\_source=chatgpt.com](https://life.kyiv.ua/amp/news/zmini-v-marshrutah-avtobusiv-kiva-cherez-yarmarki-scho-potribno-znati?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 06.06.2025).
13. Міський транспорт Києва 2024: як це працює : новина [Електрон. ресурс]. — 25.02.2025. — Режим доступу: <https://traffic.od.ua/news/eltransua/1261503#:~:text=На%20маршрутах%2C%20що%20обслуговуються%20комунальним,380%20автобусів> (дата звернення: 07.06.2025).
14. Автобусний парк, який обслуговує чотири райони Києва, майже готовий до зими : новина [Електрон. ресурс]. — 12.11.2020. — Режим доступу: <https://kyiv24.news/news/avtobusnyj-park-yakuj-obslugovuyue-chotyry-rajonu-kyueva-majzhe-gotovyj-do-zymy#:~:text=Парк%20№%206%20розташований%20на,Дніпровському%2C%20Оболонському%20та%20Подільському%20районах> (дата звернення: 07.06.2025).

15. Майже 80% рухомого складу громадського транспорту потребує заміни – Микола Поворозник зими : новина [Електрон. ресурс]. — 30.02.2021. — Режим доступу: [https://kyivcity.gov.ua/news/mayzhe\\_80\\_rukhomogo\\_skladu\\_gromadskogo\\_transportu\\_potrebuye\\_zamini\\_mikola\\_povoroznik/#:~:text=«Окрім%20цього%20С%20необхідно%20провести%20капітальні,%20розповів%20Микола%20Поворозник](https://kyivcity.gov.ua/news/mayzhe_80_rukhomogo_skladu_gromadskogo_transportu_potrebuye_zamini_mikola_povoroznik/#:~:text=«Окрім%20цього%20С%20необхідно%20провести%20капітальні,%20розповів%20Микола%20Поворозник) (дата звернення: 07.06.2025).
16. Автомобілі відповідають за близько 80% забруднення повітря в Києві – КМДА : новина [Електрон. ресурс]. — 08.02.2022. — Режим доступу: <https://www.village.com.ua/village/city/city-news/325743-avtomobili-vidpovidayut-za-blizko-80-zabrudnennya-v-kievi-kmda> (дата звернення: 08.06.2025).
17. Over \$105 Million in Federal CNG Transit Investments Made. The Transport Project. [Електрон. ресурс]. — 18.07.2024. — Режим доступу: [https://transportproject.org/2024/07/18/over-105-million-in-federal-cng-transit-investments-made/?utm\\_source=chatgpt.com](https://transportproject.org/2024/07/18/over-105-million-in-federal-cng-transit-investments-made/?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 08.06.2025).
18. Costs and Benefits of Electrifying and Automating Bus Transit Fleets. Neil Quarles, Kara M. Kockelman, Moataz Mohamed. MDPI Journals. [Електрон. ресурс]. — 12.10.2020. — Режим доступу: [https://www.mdpi.com/2071-1050/12/10/3977?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mdpi.com/2071-1050/12/10/3977?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 08.06.2025).
19. A Case Study: How to Charge 100 Electric Buses. Ampcontrol : news. [Електрон. ресурс]. — 12.10.2020. — Режим доступу: [https://www.ampcontrol.io/post/a-case-study-how-to-charge-100-electric-buses?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.ampcontrol.io/post/a-case-study-how-to-charge-100-electric-buses?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 08.06.2025).
20. Total Cost of Ownership of Electric Buses in Europe. Rishabh Ghotge, Daan van Rooij, Sanne van Breukelen. MDPI Journals. [Електрон. ресурс]. — 16.08.2025. — Режим доступу: [https://www.mdpi.com/2032-6653/16/8/464?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mdpi.com/2032-6653/16/8/464?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 08.06.2025).

21. Total Cost of Ownership of Electric Buses in Europe. Rishabh Ghotge, Daan van Rooij, Sanne van Breukelen. MDPI Journals. [Електрон. ресурс]. — 13.08.2025. — Режим доступу: [https://www.mdpi.com/2032-6653/16/8/464?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mdpi.com/2032-6653/16/8/464?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 08.06.2025).
22. Наукова робота на тему: Аналіз забруднення атмосферного повітря від автомобільного транспорту (на прикладі Шевченківського району м. Полтава). [Електрон. ресурс]. — 2025. — Режим доступу: [https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_vcheniy\\_secretar/АВТОМ\\_ТРАНСП/ЕРТ3/2020/АТ\\_EtR\\_Transport\\_0.pdf](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar/АВТОМ_ТРАНСП/ЕРТ3/2020/АТ_EtR_Transport_0.pdf) (дата звернення: 08.07.2025).
23. Транспортування газів у тілесних рідинях людини. [Електрон. ресурс]. — 2025. — Режим доступу: [https://ukrayinska.libretexts.org/Біологія/Вступна\\_та\\_загальна\\_біологія/Книга%3А\\_Загальна\\_біологія\\_\(OpenStax\)/7%3А\\_Будова\\_та\\_функції\\_тварин/39%3А\\_Дихальна\\_система/39.4%3А\\_Транспортування\\_газів\\_у\\_тілесних\\_рідинях\\_людини.](https://ukrayinska.libretexts.org/Біологія/Вступна_та_загальна_біологія/Книга%3А_Загальна_біологія_(OpenStax)/7%3А_Будова_та_функції_тварин/39%3А_Дихальна_система/39.4%3А_Транспортування_газів_у_тілесних_рідинях_людини.) (дата звернення: 09.07.2025).
24. Книга про отрути та отруєння : Нариси токсикології / Ісаак Трахтенберг — 2-ге вид., доповн., зі змінами. — Тернопіль : ТНМУ, 2021. — 422 с.
25. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary. [Електрон. ресурс]. — 2021. — Режим доступу: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/b729bbc4-7032-4799-898e-d112faa16f22/content>. (дата звернення: 09.07.2025).
26. Traffic-Related Air Pollution. A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects. [Електрон. ресурс]. — 2021. — Режим доступу: [https://www.healtheffects.org/system/files/SR17TrafficReview.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.healtheffects.org/system/files/SR17TrafficReview.pdf?utm_source=chatgpt.com). (дата звернення: 09.07.2025).
27. Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants. World Health Organization 2021. Report of the Working Group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of the Joint Task Force on the Health

- Aspects of Air Pollution. [Електрон. ресурс]. — 13.08.2023. — Режим доступу: <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/3b3199ae-6d72-4551-bee0-0330a0ce5cd7/content> (дата звернення: 08.07.2025).
28. Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) is the pollutant that causes the largest health impacts globally, contributing to millions of deaths each year. [Електрон. ресурс]. — 13.08.2021. — Режим доступу: [https://www.stateofglobalair.org/pollution-sources/pm25?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.stateofglobalair.org/pollution-sources/pm25?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 08.10.2025).
29. Екологічний паспорт міста Києва за 2022 рік. Звіт КМДА. 2023. [Електрон. ресурс]. — 13.02.2023. — Режим доступу: <https://minio.kyivcity.gov.ua/kyivcity/sites/32/uploaded-files/ekopasport%2023.pdf>. (дата звернення: 08.07.2025).
30. Забруднення повітря. Офіційний портал Києва. – 2025. [Електрон. ресурс]. — 13.02.2023. — Режим доступу: (дата звернення: 08.08.2025).
31. Звіт з управління КП «Київпаstrанс». 2023. [Електрон. ресурс]. — 13.02.2023. — Режим доступу: <https://kyivaudit.gov.ua/vr/ka/company.nsf/0/65DC05326E57A41CC2258BB90049A523/%24file/ЗВІТ%20Київпаstrанс%20за%202023%20рік%20.pdf> (дата звернення: 08.08.2025).
32. Ntziachristos L., Samaras Z. Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motorcycles. – 2024. [Електрон. ресурс]. - 13.02.2024. — Режим доступу: [https://copert.emisia.com/wp-content/uploads/2024/07/1.A.3.b.i-iv-Road-transport-2024.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://copert.emisia.com/wp-content/uploads/2024/07/1.A.3.b.i-iv-Road-transport-2024.pdf?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 08.08.2025).
33. ЕМЕР/ЕЕА air pollutant emission inventory guidebook 2023. ЕЕА Report 06/2023. [Електрон. ресурс]. - 13.02.2024. — Режим доступу: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>. (дата звернення: 09.08.2025).

34. ТОВ «АВТЕК». Пасажирський транспорт. Міські. Otokar - KENT C /CNG/ ARTICULATED : [Електрон. ресурс]. - 13.08.2024. — Режим доступу: <https://avtek.ua/ua/p-kent-c-cng-articulated>. (дата звернення: 15.08.2025).
35. Estudio comparativo de los costes de mantenimiento y consumo energético de diferentes tipologías de propulsión de autobuses [Електронний ресурс] // Revista AEM. – 2023. – Режим доступу: <https://revista.aem.es/noticia/estudio-comparativo-de-los-costes-de-mantenimiento-y-consumo-energetico-de-diferentes-tipologias-de-propulsion-de-autobuses>. Дата звернення: 15.08.2025.
36. Transports Metropolitans de Barcelona. Análisis técnico y económico de los autobuses diésel y GNC [Електронний ресурс] : звіт / Universitat Politècnica de Catalunya. – Barcelona, 2022. – Режим доступу: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11079/PFC.pdf>. Дата звернення: 15.08.2025.
37. Sánchez, L., Martínez, R., & Gómez, P. Comparative Analysis of Sustainable Electrification in Mediterranean Public Transportation [Електронний ресурс] // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, No. 7. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/7/2645>. Дата звернення: 15.08.2025.
38. Interreg Europe. Total Bus Operation Costs: Case Studies from European Cities [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: [https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user\\_upload/tx\\_tevprojects/library/file\\_1520239628.pdf](https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1520239628.pdf). Дата звернення: 15.08.2025.
39. Total cost of ownership of urban buses in Europe [Електронний ресурс]. – The International Council on Clean Transportation, 2022. – Режим доступу: <https://theicct.org/publication/decarbonization-of-europes-corporate-fleet-oct25>. (Дата звернення: 16.08.2025).
40. Bus Committee Reports: Economic and operational aspects of bus fleets [Електронний ресурс]. – Brussels: UITP, 2021. <https://www.uitp.org/publications/strategies-for-deploying-zero-emission-bus->

- fleets-route-level-energy-consumption-and-driving-range-analysis. (Дата звернення: 16.09.2025).
41. Williams A., et al. End-of-Life Evaluation of Compressed Natural Gas Vehicle Fuel Tanks [Електронний ресурс] / A. Williams et al. – 2021. – Режим доступу: <https://docs.nrel.gov/docs/fy21osti/80446.pdf>. (Дата звернення: 16.09.2025).
42. Compressed Natural Gas (CNG) Transit Bus Experience Survey : [Електронний ресурс] – R. Adams et al. – 2021. – Режим доступу: <https://docs.nrel.gov/docs/fy10osti/48814.pdf>. (Дата звернення: 16.09.2025).
43. EIB provides €16.5 million for new public transport in war-torn cities of Ukraine. [Електронний ресурс] – 2024. – Режим доступу: [https://www.eib.org/en/press/all/2024-517-eib-provides-eur16-5-million-for-new-public-transport-in-war-torn-cities-of-ukraine?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.eib.org/en/press/all/2024-517-eib-provides-eur16-5-million-for-new-public-transport-in-war-torn-cities-of-ukraine?utm_source=chatgpt.com). (Дата звернення: 16.09.2025).
44. EBRD support for wartime Ukraine hits €7.6 billion as Bank commits new funding at Recovery Conference : [Електронний ресурс] – 2025. – Режим доступу: [https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2025/ebrd-support-for-wartime-ukraine-hits-7-6-billion-as-bank-commits-new-funding-at-recovery-conference.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2025/ebrd-support-for-wartime-ukraine-hits-7-6-billion-as-bank-commits-new-funding-at-recovery-conference.html?utm_source=chatgpt.com). (Дата звернення: 16.09.2025).
45. Recovery and reconstruction of Ukraine : [Електронний ресурс] – 2024. – Режим доступу: [https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/recovery-and-reconstruction-ukraine\\_en?utm\\_source=chatgpt.com](https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/recovery-and-reconstruction-ukraine_en?utm_source=chatgpt.com). (Дата звернення: 16.09.2025).
46. World bank group. Support to Ukraine : [Електронний ресурс] – 2022. – Режим доступу: [https://thedocs.worldbank.org/en/doc/dd7e53baf9ef2ecf5e5183beabe74a4c-0080012025/original/WBG-Support-Ukraine-March-2025.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://thedocs.worldbank.org/en/doc/dd7e53baf9ef2ecf5e5183beabe74a4c-0080012025/original/WBG-Support-Ukraine-March-2025.pdf?utm_source=chatgpt.com). (Дата звернення: 16.09.2025).

47. United Nations — Economic Commission for Europe. Regulation No.110 — Uniform provisions concerning the approval of specific components of motor vehicles using compressed natural gas (CNG) and/or liquefied natural gas (LNG). ECE/TRANS (Revision). URL: <https://unece.org>. (дата звернення: 20.09.2025).
48. ISO 11439:2013. Gas cylinders — High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles. International Organization for Standardization (ISO). URL: <https://www.iso.org/standard/44755.html>. (дата звернення: 16.09.2025).
49. SAP Technical Guidelines: Transport. Green climate fund : [Електронний ресурс] — 2022. — Режим доступу: <https://www.greenclimate.fund/results/transport>. (Дата звернення: 16.09.2025).
50. European Commission and EIB Group sign €2 billion guarantee under Ukraine Facility to support country's reconstruction and resilience. Delegation of the European Union to Ukraine : [Електронний ресурс] — 2025. — Режим доступу: [https://www.eeas.europa.eu/delegations/ukraine/european-commission-and-eib-group-sign-€2-billion-guarantee-under-ukraine-facility-support-country's\\_en?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.eeas.europa.eu/delegations/ukraine/european-commission-and-eib-group-sign-€2-billion-guarantee-under-ukraine-facility-support-country's_en?utm_source=chatgpt.com). (Дата звернення: 16.09.2025).
51. Ukraine: EIB provides €50 million to help Kyiv replace Russian-made metro coaches with a modern fleet : [Електронний ресурс] — 2025. — Режим доступу: [https://www.eib.org/en/press/all/2024-353-ukraine-eib-provides-eur50-million-to-help-kyiv-replace-russian-made-metro-coaches-with-a-modern-fleet?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.eib.org/en/press/all/2024-353-ukraine-eib-provides-eur50-million-to-help-kyiv-replace-russian-made-metro-coaches-with-a-modern-fleet?utm_source=chatgpt.com). (Дата звернення: 16.09.2025).
52. Про ринок природного газу : Закон України від 09.04.2015 № 329-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. : [Електронний ресурс] — 2025. — Режим доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/329-19>. (дата звернення: 17.09.2025).
53. ISO 15500 (серія). Road vehicles — Compressed natural gas (CNG) fuel system components (Parts 1,7–16). International Organization for

- Standardization (ISO). : [Електронний ресурс] – 2025. – Режим доступу: URL: <https://www.iso.org/standard/60255.html> та відповідні частини (дата звернення: 17.09.2025).
54. Про затвердження Правил охорони праці на автомобільному транспорті : Наказ МНС України від 09.07.2012 № 964 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1299-12>. (дата звернення: 06.09.2025).
55. Про ринок природного газу : Закон України від 09.04.2015 № 329-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/329-19>. (дата звернення: 06.09.2025).
56. United Nations — Economic Commission for Europe. Regulation No.110 — Uniform provisions concerning the approval of specific components of motor vehicles using compressed natural gas (CNG) and/or liquefied natural gas (LNG). ECE/TRANS (Revision). URL: <https://unece.org>. (дата звернення: 16.09.2025).
57. ISO 11439:2013. Gas cylinders — High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles. International Organization for Standardization (ISO). URL: <https://www.iso.org/standard/44755.html>. (дата звернення: 16.09.2025).
58. ISO 15500 (серія). Road vehicles — Compressed natural gas (CNG) fuel system components (Parts 1,7–16). International Organization for Standardization (ISO). URL: <https://www.iso.org/standard/60255.html>. та відповідні частини (дата звернення: 16.09.2025).
59. ДСТУ 4276:2004. Норми і методи вимірювань димності у відпрацьованих газах автомобілів з дизелями або газодизелями : стандарт України / затв. Держстандартом України. — К. : Держстандарт України, 2004. — 12 с. — [Електрон. ресурс]. — Режим доступу: (PDF). — Дата доступу: 22.09.2025.
60. Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2009 on type-approval of motor vehicles and engines with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and on access to vehicle repair

- and maintenance information : OJ L 188, 18.7.2009, p. 1–13. — [Електрон. ресурс] — Режим доступу: PDF. — Дата доступу: 22.09.2025.
61. Строков О. П., Макаренко М., Орлов В., Павленко В. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Частина 1 : підручник / О. П. Строков, М. Макаренко, В. Орлов, В. Павленко. — К. : Грамота, 2005. - 352 с. - (Навчальна літ.). - [Електрон. ресурс]. — Режим доступу: стор. опису книги. Дата доступу: 22.09.2025.
62. Ghotge R., et al. Total Cost of Ownership of Electric Buses in Europe // Energies (MDPI). — 2025. — Vol. 16, No. 8, 464. — [Електрон. ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mdpi.com>. Дата доступу: 22.09.2025.
63. Changing Transport (European Commission project). Comparative analysis of bus technologies for fleet renewal : final report / Changing Transport. — 2023. - 42 с. - [Електрон. ресурс]. - Режим доступу: <https://changing-transport.org>. Дата доступу: 22.09.2025.
64. DieselNet. Emission standards: Europe — Heavy-Duty Truck and Bus Engines [Електрон. ресурс] / DieselNet. — Режим доступу: <https://dieselnet.com/standards/eu/hd.php>. Дата доступу: 22.10.2025.
65. Di Pasquale M., et al. An implemented Operative-TCO analysis to assess the company cost of hydrogen compared to diesel and CNG-fueled buses // ScienceDirect (peer-review). — 2025. — [Електрон. ресурс]. — Режим доступу: ResearchGate / ScienceDirect. — Дата доступу: 22.10.2025.
66. IFRS Foundation. IAS 16 «Property, Plant and Equipment» : issued standard (English) / IFRS Foundation. — 2022. — PDF. — Режим доступу: <https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/publications/pdf-standards/english/2022/issued/part-a/ias-16-property-plant-and-equipment.pdf>. Дата доступу: 24.09.2025.
67. Thomson Reuters (Tax & Accounting). Amortization in accounting 101 / Thomson Reuters. — 05.10.2023. — Режим доступу: <https://tax.thomsonreuters.com/blog/amortization-in-accounting-101>. Дата доступу: 24.09.2025.

68. Investopedia. Residual Value Explained, With Calculation and Examples / Investopedia. — Режим доступу: <https://www.investopedia.com/terms/r/residual-value.asp>. Дата доступу: 24.09.2025.
69. Міністерство фінансів України. Наказ (Положення (стандарт) бухгалтерського обліку) «П(С)БО 7. Основні засоби» : наказ Міністерства фінансів України від 27.04.2000 № 92. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0288-00>. Дата доступу: 24.09.2025.
70. Амортизація основних засобів на підприємстві / Редакція порталу «Головбух» (Buhplatforma). — 21.01.2025. — Режим доступу: <https://buhplatforma.com.ua/article/7267-amortizatsya-osnovnih-zasobv-na-pdprimstv-u-2021-rots>. (дата звернення: 24.09.2025).
71. Про затвердження Національного положення (стандарту) бухгалтерського обліку 7 "Основні засоби" : Наказ; Міністерство фінансів України від 27.04.2000 № 92 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0288-00>. (дата звернення: 24.10.2025).
72. Матвеева В. «Амортизація-2023» / В. Матвеева. — Журнал «Бюджетна бухгалтерія», № 45, грудень 2023. — Режим доступу: <https://i.factor.ua/ukr/journals/bb/2023/december/issue-45/article-127220.html>. (дата звернення: 24.10.2025).
73. Державна податкова служба України у Львівській області. «Про деякі особливості нарахування амортизації» : новина від 15 лютого 2022. — Режим доступу: <https://lv.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/print-571193.html>. (дата звернення: 24.10.2025).