

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Аналіз безпеки транспортного процесу на міських маршрутах
громадського транспорту (на прикладі м. Тернопіль)

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МН-42

спеціальності 275.03 «Транспортні технології

(на автомобільному транспорті)

(шифр і назва спеціальності)

Нецяга В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Вовк Ю. Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Цьонь О. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Цьонь О. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Нетяга Вікторія Петрівна – Аналіз безпеки транспортного процесу на міських маршрутах громадського транспорту (на прикладі м. Тернопіль) – Рукопис.

Кваліфікаційні робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 2026.

У першому розділі наведено загальну характеристику діяльності КП «Тернопільелектротранс» та інших перевізників, виконано аналіз ефективності використання парку рухомого складу і сформульовано ключові проблеми організації пасажирських перевезень у місті.

У другому розділі розроблено та застосовано методику оцінювання рівня безпеки міських маршрутів на основі коефіцієнтів аварійності, тяжкості наслідків і інтегрального Індексу безпеки маршруту, обґрунтовано комплекс заходів із впровадження ADAS-систем, телематики GPS/AVL/GTFS-RT та інфраструктурних рішень, а також проведено розрахунок економічної ефективності цих заходів за допомогою показників BCR, NPV і терміну окупності.

У третьому розділі розглянуто правову базу охорони праці, умови праці водіїв міського транспорту, організацію охорони праці й пожежної безпеки на автотранспортному підприємстві.

**БЕЗПЕКА, ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ТРАНСПОРТ,
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.**

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Загальна характеристика КП «Тернопільелектротранс» як об'єкта дослідження	10
1.2 Аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи рухомого складу та маршрутної мережі	14
1.3 SWOT-аналіз системи безпеки міських пасажирських перевезень у Тернополі	20
Висновки до розділу 1	24
РОЗДІЛ 2. ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ З ПОЗИЦІЙ БЕЗПЕКИ	27
2.1 Визначення вимог до організації безпечного транспортного процесу	27
2.1.1 Стан аварійності на автомобільному транспорті України та м. Тернополя.....	27
2.1.2 Нормативно-правова база безпеки міських пасажирських перевезень	28
2.1.3 Системний підхід до безпеки: модель ВАДС і концепція Vision Zero	30
2.1.4 Методика кількісного оцінювання рівня безпеки на маршрутах МПТ	31
2.2 Моделювання та розрахунок безпеки транспортного процесу на аналізованих маршрутах.....	34
2.2.1 Характеристика аналізованих маршрутів.....	34
2.2.2 Ідентифікація небезпечних ділянок методом «чорних точок»	35
2.2.3 Розрахунок коефіцієнтів аварійності та тяжкості наслідків.....	37
2.2.4 Розрахунок Індексу безпеки маршруту (ІБМ)	38

2.3 Впровадження сучасних транспортних технологій для підвищення безпеки міських пасажирських перевезень	40
2.3.1 Впровадження ADAS-систем на маршрутах підвищеного ризику.	40
2.3.2 Впровадження систем диспетчеризації на основі GPS, AVL та GTFS-RT.....	42
2.3.3 Інфраструктурні заходи: безпечні зупинки, освітлення і пріоритет руху автобусів.....	44
2.3.4 Комплексна оцінка впливу запропонованих технологій на ІБМ ...	45
2.4 Економічна ефективність прийнятих рішень.....	46
2.4.1 Оцінка витрат на впровадження запропонованих заходів.....	47
2.4.2 Оцінка суспільних вигід від зниження аварійності.....	49
2.4.3 Розрахунок показників ефективності інвестицій.....	49
Висновки до розділу 2	51
РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	54
3.1 Правова база охорони праці та безпеки на автомобільному транспорті	54
3.2 Аналіз умов праці та шкідливих виробничих факторів для водія автобуса.....	55
3.3 Організація охорони праці водіїв на КП «Тернопільелектротранс» .	56
3.4 Ергономіка робочого місця водія та заходи зниження стомлюваності	58
3.5 Пожежна безпека на автотранспортному підприємстві.....	59
3.6 Безпека руху на маршрутах та заходи з охорони навколишнього середовища.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66

ВСТУП

Сталий розвиток міського пасажирського транспорту є одним із ключових чинників якості життя населення, конкурентоспроможності міста та його інтеграції в національний і європейський транспортний простір. Для українських міст, зокрема Тернополя, актуальними залишаються проблеми зношеного парку рухомого складу, нерівномірної якості перевезень, недостатньої безпеки руху та високого екологічного навантаження на міське середовище. Аналітичні дослідження стану міського транспорту в Україні показують, що для досягнення прийняттого рівня якості та безпеки перевезень необхідні комплексні інвестиції у модернізацію рухомого складу, розвиток інтелектуальних транспортних систем і вдосконалення управління пасажирськими перевезеннями.

Особливої уваги потребують питання безпеки транспортного процесу, оскільки ДТП за участю міського громадського транспорту мають високі соціальні наслідки. Сучасні наукові дослідження у сфері транспортних технологій акцентують на необхідності переходу від фрагментарних заходів до системного управління ризиками на основі телематики, активних систем безпеки та інтегрованих індикаторів безпеки маршрутів. Для міста Тернопіль, де паралельно функціонують комунальні та приватні перевізники, додатковим викликом є узгодження вимог до безпеки й цифровізації на всіх сегментах ринку пасажирських перевезень.

Актуальність теми роботи зумовлена потребою у науково обґрунтованому аналізі організації міських пасажирських перевезень, оцінюванні фактичного рівня безпеки на окремих маршрутах та розробці комплексу технічних, організаційних і інфраструктурних заходів, спрямованих на підвищення безпеки руху й ефективності використання рухомого складу. Додатковим мотивом є необхідність імплементації

європейських підходів до управління безпекою та охороною праці водіїв у контексті інтеграції України до транспортного простору ЄС.

Об'єктом дослідження у роботі є процес перевезення пасажирів міським громадським транспортом у м. Тернопіль на окремих автобусних маршрутах. Предметом дослідження є закономірності формування пасажиропотоків, техніко-експлуатаційні та безпекові показники роботи маршрутів, а також технології, методи й організаційні рішення з підвищення ефективності та безпеки міських пасажирських перевезень.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз організації міських пасажирських перевезень у м. Тернопіль та обґрунтування комплексу заходів із підвищення безпеки й ефективності транспортного процесу на прикладі вибраних маршрутів з використанням сучасних транспортних технологій.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі основні завдання:

- проаналізувати структуру, обсяги та результати діяльності підприємства-базиса дослідження і стан парку рухомого складу;
- дослідити пасажиропотоки та техніко-експлуатаційні показники основних міських маршрутів;
- провести оцінювання рівня безпеки транспортного процесу на вибраних маршрутах із використанням коефіцієнтів аварійності, тяжкості наслідків і інтегрального індексу безпеки маршруту;
- розробити та обґрунтувати комплекс заходів щодо впровадження сучасних транспортних технологій (ADAS, телематика, цифрова диспетчеризація, інфраструктурні рішення) для підвищення безпеки міських пасажирських перевезень;
- виконати розрахунок економічної ефективності запропонованих заходів за показниками «витрати–вигоди» (BCR, NPV, термін окупності);

- оцінити умови праці водіїв, рівень пожежної безпеки та екологічні аспекти функціонування міського пасажирського транспорту.

Структура роботи відповідає методичним вказівкам ТНТУ: вона складається зі вступу, трьох розділів (аналіз об'єкта дослідження; заходи з удосконалення транспортного процесу; безпека життєдіяльності та охорона праці), загальних висновків, переліку посилань.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальна характеристика КП «Тернопільелектротранс» як об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження цієї кваліфікаційної роботи є система міських пасажирських перевезень автомобільним транспортом у місті Тернополі, що функціонує на засадах поєднання комунального та приватного секторів. Підприємством, яке забезпечує муніципальну складову перевізного процесу, є Комунальне підприємство «Тернопільелектротранс» (далі – КП «Тернопільелектротранс»), засноване Тернопільською міською радою та розташоване за адресою: вул. Тролейбусна, 7, м. Тернопіль [1].

Підприємство веде свою діяльність із 1975 року, коли в Тернополі розпочав роботу перший тролейбусний маршрут. У 2025 році КП «Тернопільелектротранс» відзначило 50-річчя з дня запуску першого тролейбуса [2]. Протягом десятиліть підприємство поступово розширювало сферу діяльності: окрім електричного транспорту, воно обслуговує й автобусні маршрути загального користування у місті, виступаючи одним із двох комунальних перевізників Тернопільської міської територіальної громади.

Організаційно-правова форма КП «Тернопільелектротранс» – комунальне унітарне підприємство. Засновником і власником підприємства є Тернопільська міська рада (код ЄДРПОУ засновника: 34334305). Майно підприємства є комунальною власністю і закріплено за ним на праві повного господарського відання. Статутний капітал підприємства станом на 2025 рік становить 221 904 288 грн [3]. Підприємство підзвітне та підконтрольне Засновнику, фінансова звітність оприлюднюється у реєстрі Opendatabot та Порталі прозорості.

Основним завданням КП «Тернопільелектротранс» є організація регулярних перевезень пасажирів на маршрутах громадського транспорту загального користування в межах Тернопільської міської територіальної громади. Підприємство здійснює обслуговування тролейбусних та автобусних маршрутів, забезпечує технічне утримання рухомого складу, організовує роботу водійського та технічного персоналу, а також адмініструє систему безготівкової оплати проїзду (АСООП). Відповідно до Програми розвитку пасажирського транспорту Тернополя на 2024–2026 роки, серед основних завдань підприємства – розвиток мережі електричного та автомобільного транспорту, оновлення рухомого складу й підвищення якості транспортного обслуговування [4].

Організаційна структура КП «Тернопільелектротранс» включає адміністративний апарат (директор, заступники з технічних питань та з господарської діяльності), служби технічної експлуатації рухомого складу, диспетчерську службу, фінансово-економічний відділ та відділ кадрів. Поточне керівництво підприємством здійснює директор Андрій Мастюх. Служба з технічних питань відповідає за технічну готовність рухомого складу, служба диспетчеризації – за оперативне управління рухом на маршрутах та контроль дотримання розкладу [2].

Станом на 2025 рік транспортна система Тернополя включає 34 автобусних та 9 тролейбусних маршрутів загального користування. Загалом міські маршрути обслуговують два комунальних підприємства – КП «Тернопільелектротранс» та КП «Міськавтотранс» – і сім приватних перевізників. Сукупний автопарк перевізників налічує 221 автобус та 52 тролейбуси, з яких 95 автобусів та 52 тролейбуси – у комунальній власності [5]. У червні 2025 року маршрутну мережу розширено: запроваджено чотири нові маршрути – № 25, 39, 40 та 42, що покращили сполучення між мікрорайонами Сонячний, Північний, районом лікарні № 3 та центральною частиною міста [6].

Особливістю Тернопільської системи громадського транспорту є запровадження виключно електронної форми оплати проїзду. У 2025 році завершено оснащення всіх автобусів валідаторами АСООП. Пасажири мають змогу здійснювати оплату безконтактною банківською карткою, NFC-пристроєм, «Соціальною карткою тернополянина» або разовим електронним квитком. Додатково діє послуга «Єдиний квиток», що дозволяє протягом 30 хвилин безкоштовно пересісти в інший автобус або тролейбус [7]. Уніфіковане брендowane оформлення рухомого складу та встановлення камер відеоспостереження і тривожних кнопок у транспортних засобах є невід'ємними вимогами до перевізників в оновленій маршрутній мережі, що безпосередньо пов'язано з підвищенням рівня безпеки транспортного процесу – ключовим предметом цього дослідження [7].

Протягом 2022–2024 років у рамках Програми розвитку МПТ у Тернополі оновлено 69 одиниць рухомого складу. У 2022 році КП «Міськавтотранс» закупило нові автобуси; у подальшому закупівлі здійснювалися також за рахунок міського бюджету та кредитних програм. Незважаючи на оновлення, значна частина рухомого складу – зокрема маршрутні таксі «Богдан», БАЗ та ЗАЗ приватних перевізників (123 одиниці) – не пристосована для комфортного і безпечного перевезення маломобільних груп населення та пасажирів з дітьми [5]. Цей факт є одним із вихідних чинників для подальшого аналізу безпеки транспортного процесу.

Структуру ринку пасажирських перевезень у Тернополі формують два сегменти: комунальний та приватний. Комунальний сегмент представлений КП «Тернопільелектротранс» та КП «Міськавтотранс», які функціонують відповідно до рішень Тернопільської міської ради та в межах затвердженого переліку маршрутів (Рішення виконкому від 05.03.2025 р. № 283) [8]. Приватний сегмент – сім перевізників, що здійснюють перевезення на засадах договорів із Тернопільською міською радою. Ключовим замовником послуг обох секторів є Тернопільська міська рада, яка фінансує пільговий

проїзд і субсидії для окремих соціальних груп населення. Основою конкуренції між перевізниками є своєчасність рейсів, технічний стан транспортних засобів та рівень безпеки – показники, безпосередньо пов'язані з темою даного дослідження [4].

Таким чином, КП «Тернопільелектротранс» у контексті цієї кваліфікаційної роботи розглядається як базовий суб'єкт муніципального транспортного обслуговування, в межах маршрутної мережі якого досліджуються питання безпеки транспортного процесу. Характерними рисами підприємства, що зумовлюють актуальність обраної теми, є: змішаний (комунальний і приватний) характер перевезень, значна частка морально застарілого рухомого складу приватних перевізників, активне впровадження АСООП та реформування маршрутної мережі у 2025 році. Саме ці особливості створюють передумови для комплексного аналізу безпеки транспортного процесу на конкретних маршрутах мережі.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики КП «Тернопільелектротранс»

Характеристика	Значення / опис
Повна назва	Комунальне підприємство «Тернопільелектротранс»
Скорочена назва	КП «Тернопільелектротранс»
ЄДРПОУ	05447987
Організаційно-правова форма	Комунальне унітарне підприємство
Засновник (власник)	Тернопільська міська рада (ЄДРПОУ 34334305)
Юридична адреса	вул. Тролейбусна, 7, м. Тернопіль, 46027
Статутний капітал (2025 р.)	221 904 288 грн
Рік заснування	1975
Основний вид діяльності	Міські пасажирські перевезення (автобуси, тролейбуси)

Примітка. Джерела: [1] Статут КП «Тернопільелектротранс», 2020; [2] Офіційний сайт КП «Тернопільелектротранс» (elektrotrans.te.ua), 2025; [3] Opendatabot (opendatabot.ua), 2025; [4] Програма розвитку МПТ Тернополя на 2024–2026 рр. (ternopilcity.gov.ua), 2023; [5] «20 Хвилин»: аналіз транспорту Тернополя (te.20minut.ua), 2024; [6] ТБ-4: Зміни в системі громадських перевезень (tv4.te.ua), 2025; [7] Facebook Тернопільської міської ради: оновлення мережі, 2025; [8] Рішення виконавчого комітету ТМР № 283 від 05.03.2025.

1.2 Аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи рухомого складу та маршрутної мережі

Оцінювання ефективності та безпеки функціонування системи міських пасажирських перевезень неможливе без систематичного аналізу техніко-експлуатаційних показників (далі – ТЕП), які відображають реальний стан використання рухомого складу, якість виконання розкладу та ступінь відповідності між транспортною пропозицією і фактичним попитом. Методичну основу аналізу сформовано на базі підходів, викладених у роботах Вовка Ю.Я. та Вовк І.П. [9], а також досліджень Zhuk et al. [10] щодо оцінювання якості функціонування міського пасажирського транспорту в умовах реформування мереж.

До основних ТЕП міського автобусного парку, що є предметом аналізу в цьому підрозділі, відносяться: обліковий парк транспортних засобів ($A_{\text{обл}}$, од.), коефіцієнт технічної готовності ($\alpha_{\text{т}}$), коефіцієнт випуску рухомого складу ($\alpha_{\text{в}}$), середньодобовий пробіг ($L_{\text{д}}$, км/авт.), час у наряді ($T_{\text{н}}$, год.), комерційна швидкість ($V_{\text{к}}$, км/год.) та коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку ($K_{\text{нер}}$). Комплексне оцінювання цих показників у динаміці дозволяє виявити системні проблеми організації

перевезень, які безпосередньо впливають на рівень безпеки транспортного процесу [9].

Таблиця 1.2 – Структура рухомого складу міського пасажирського транспорту м. Тернополя (2024 р.)

Категорія перевізника	Тип ТЗ	Обліковий парк, од.	На лінії, од.	Частка від заг., %
КП «Тернопільелектротранс»	Тролейбус	52	42	17,8
КП «Тернопільелектротранс» / КП «Міськавтотранс»	Автобус (комунальний)	104	95	35,8
Приватні перевізники (7 суб'єктів)	Автобус / маршрутне таксі	117	84	31,7
Усього автобусний сегмент	–	221	179	67,5
Усього по мережі	Авт. + тролей.	273	221	100,0

Наведені у таблиці 1.2 дані сформовано на основі офіційної інформації Тернопільської міської ради та аналітичного огляду «20 Хвилин» (2024) [5; 7]. Станом на 25 червня 2025 року в місті діють 35 автобусних маршрутів, на яких сумарно працюють близько 140 автобусів [11]. Відношення фактично виведених на лінію ТЗ до облікового парку становить по автобусному сегменту $\alpha_b = 179 / 221 = 0,81$. Цей показник є нижчим за оптимальне значення 0,85–0,90, характерне для міст з розвинутою транспортною інфраструктурою (Piouroulou & Keraptsoglou, 2019 [12]), що свідчить про

наявність резервів підвищення ефективності та наявність технічних несправностей у частині парку.

Коефіцієнт технічної готовності парку (α_T) розраховується за формулою:

$$\alpha_T = A_T / A_{\text{обл}}, \quad (1.1)$$

де A_T – кількість технічно справних транспортних засобів; $A_{\text{обл}}$ – обліковий парк. Для автобусного сегменту за умов Тернополя: $\alpha_T = 200 / 221 = 0,91$. Порівняно з нормативним значенням $\alpha_T \geq 0,90$ (Вовк & Вовк, 2021 [9]) показник перебуває на задовільному рівні, проте наближається до мінімально допустимої межі.

Коефіцієнт випуску рухомого складу на лінію:

$$\alpha_B = A_L / A_{\text{обл}}, \quad (1.2)$$

де A_L – фактична середня кількість автобусів, що виходять на лінію щодня. Для Тернополя: $\alpha_B = 179 / 221 = 0,81$.

Таблиця 1.3 – Динаміка основних ТЕР міського автобусного транспорту м. Тернополя (2022–2024 рр.)

Показник	2022 р.	2023 р.	2024 р.
Обліковий парк автобусів ($A_{\text{обл}}$), од.	196	210	221
На лінії в середньому (A_L), од.	158	168	179
Коефіцієнт випуску (α_B)	0,81	0,80	0,81
Коефіцієнт тех. готовності (α_T)	0,88	0,90	0,91
Середньодобовий	178	183	187

пробіг (L_d), км/авт.			
Середня комерційна швидкість (V_k), км/год.	17,8	18,2	18,5
Середня дальність поїздки ($l_{сер}$), км	4,1	4,3	4,4
Кількість автобусних маршрутів, од.	30	32	34 (+35 у 2025)

Аналіз даних таблиці 1.3 свідчить про загальну позитивну тенденцію у роботі автобусного транспорту Тернополя: обліковий парк зріс на 12,8 % (з 196 до 221 одиниці), кількість маршрутів збільшилась із 30 до 34 (а у 2025 р. – до 35 після запровадження нових №25, 39, 40, 42 [6]). Середньодобовий пробіг зріс на 5,1 % – з 178 до 187 км/авт., а середня комерційна швидкість – з 17,8 до 18,5 км/год. Водночас коефіцієнт випуску залишається відносно стабільним на рівні 0,80–0,81, що вказує на системну проблему: приріст облікового парку не супроводжується пропорційним збільшенням фактичного виходу на лінію.

Важливим показником з точки зору безпеки транспортного процесу є вік рухомого складу. Згідно з даними Програми розвитку МПТ Тернополя на 2024–2026 роки [4], значна частина автобусів приватних перевізників (понад 60 одиниць із 117) має термін служби, що перевищує нормативний. Автобуси типу «Богдан», БАЗ та ЗАЗ не відповідають сучасним вимогам пасивної безпеки і не обладнані ADAS-системами. Середній вік транспортних засобів приватного сегменту становить орієнтовно 12–14 років, тоді як для

комунального парку завдяки оновленню 2022–2024 рр. – близько 5–7 років [4; 5].

Таблиця 1.4 – Розподіл автобусного парку м. Тернополя за терміном служби (2024 р.)

Термін служби	Комунальний парк, од.	Приватний парк, од.	Разом, од.
До 5 років	69	12	81
5–10 років	26	45	71
Понад 10 років	9	60	69
Усього	104	117	221

Наведений у таблиці 1.4 розподіл наочно ілюструє структурну проблему: 69 автобусів (31,2 % від загального парку) мають термін служби понад 10 років, переважно у приватному сегменті. Це безпосередньо корелює з підвищеним ризиком технічних відмов і пов'язаних з ними аварійних ситуацій [10; 12].

Одним із ключових показників з позицій організації безпечного транспортного процесу є коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку $K_{\text{нер}}$, який характеризує ступінь відхилення попиту від середнього значення за годинами доби:

$$K_{\text{нер}} = Q_{\text{max}} / Q_{\text{сер}}, \quad (1.3)$$

де Q_{max} – максимальне значення пасажиропотоку за годину (пік); $Q_{\text{сер}}$ – середньогодинне значення за добу. Для маршрутної мережі Тернополя $K_{\text{нер}}$ у ранковий пік (07:00–09:00) досягає 1,75–1,87, а у вечірній (17:00–19:00) – 1,82–1,93 [9; 13]. Такий рівень нерівномірності означає, що в пікові години навантаження перевищує середньодобове майже вдвічі, що змушує водіїв здійснювати прискорені маневри для дотримання розкладу і є одним із чинників підвищеного ризику ДТП.

Таблиця 1.5 – Типова часова структура пасажиропотоку на маршрутах МПТ м. Тернополя (робочий день)

Часовий інтервал	Частка від добового обсягу, %	$K_{\text{нер}}$ (відн. до середнього)
06:00–07:00	4,2	0,73
07:00–09:00 (ранковий пік)	19,4	1,68
09:00–12:00	11,4	0,66
12:00–14:00	10,8	0,94
14:00–17:00	13,7	0,79
17:00–19:00 (вечірній пік)	20,4	1,77
19:00–23:00	20,1	0,87

Дані таблиці 1.5 показують два чітко виражені піки пасажиропотоку: ранковий (07:00–09:00) та вечірній (17:00–19:00), причому вечірній пік є більш інтенсивним ($K_{\text{нер}} = 1,77$ проти 1,68). Саме в ці проміжки спостерігається найбільша кількість ДТП за участю автобусів, що підтверджується статистичними даними Патрульної поліції [14] і відповідає загальноєвропейській тенденції: підвищене навантаження на водія в умовах пікового попиту збільшує ризик помилкових дій [15].

Таким чином, аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи рухомого складу та маршрутної мережі м. Тернополя виявив такі ключові проблеми, що безпосередньо впливають на безпеку транспортного процесу: (1) коефіцієнт випуску $\alpha_{\text{в}} = 0,81$ нижче оптимального рівня, що свідчить про дефіцит ефективно функціонуючого парку; (2) значна частка (31,2 %) рухомого складу з терміном служби понад 10 років, особливо у приватному

сегменті; (3) висока нерівномірність пасажиропотоку ($K_{\text{нер}}$ до 1,77–1,87 у пікові години), що підвищує психофізіологічне навантаження на водія.

1.3 SWOT-аналіз системи безпеки міських пасажирських перевезень у Тернополі

Для узагальнення результатів аналізу стану безпеки транспортного процесу та формування стратегічного підґрунтя для розробки заходів удосконалення (розділ 2) у цьому підрозділі застосовано метод SWOT-аналізу. Цей інструмент стратегічного планування широко використовується у транспортних дослідженнях для систематизованого оцінювання внутрішніх сильних (Strengths) і слабких (Weaknesses) сторін об'єкта дослідження, а також зовнішніх можливостей (Opportunities) і загроз (Threats) [16; 17]. У контексті транспортної безпеки SWOT-аналіз дозволяє ідентифікувати вразливості системи МПТ та зовнішні ризики, які в комплексі визначають рівень безпеки транспортного процесу [18].

Методику кількісного зважування факторів SWOT-матриці взято з досліджень Vovk та Vovk (2021) [9] із адаптацією до специфіки безпеки міських пасажирських перевезень. Кожному фактору присвоюється вага (w) у межах 0–1 в рамках своєї групи (сума ваг у групі = 1,00) та бальна оцінка (b) за шкалою 1–5, де 5 – максимальний прояв фактора. Зважений бал: $Z = w \cdot b$. Підсумкові значення слугують основою для матриці стратегічних альтернатив TOWS [18].

Таблиця 1.6 – Сильні сторони (S) системи безпеки МПТ м. Тернополя

№	Фактор	Вага (w)	Бал (b)	Z = w·b
S1	Впровадження АСООП та GPS-моніторингу у 100 % комунального парку	0,20	5	1,00
S2	Оновлення 69 одиниць комунального парку у 2022–2024 рр. (середній вік < 7 р.)	0,20	4	0,80
S3	Нова маршрутна мережа 2025 р. з обов'язковими вимогами безпеки для перевізників	0,15	4	0,60
S4	Наявність Програми розвитку МПТ Тернополя на 2024–2026 рр. із заходами безпеки	0,20	4	0,80
S5	Відеоспостереження і тривожні кнопки як обов'язкова умова договору перевізника	0,25	5	1,25
	Σ	1,00	–	4,45

Таблиця 1.7 – Слабкі сторони (W) системи безпеки МПТ м. Тернополя

№	Фактор	Вага (w)	Бал (b)	Z = w·b
W1	31,2 % парку (переважно приватний сегмент) має вік понад 10 років	0,25	5	1,25
W2	Коефіцієнт випуску $\alpha_{\text{в}} = 0,81$ – нижче оптимального рівня 0,85–0,90	0,15	3	0,45
W3	Відсутність ADAS-систем і відеофіксації у приватних перевізників	0,25	5	1,25
W4	Висока нерівномірність пасажиропотоку $K_{\text{нер}}$ до 1,87 – надмірне навантаження на водія	0,20	4	0,80
W5	Недостатня освітленість і зношена розмітка на ряді зупинок і перехресть	0,15	4	0,60
	Σ	1,00	–	4,35

Таблиця 1.8 – Можливості (О) для підвищення безпеки МПТ м.

Тернополя

№	Фактор	Вага (w)	Бал (b)	Z = w·b
O1	Проект EIB «Ukraine Urban Road Safety» – €78 млн для 5 міст, зокрема Тернополя	0,25	5	1,25
O2	Концепція Vision Zero та Safe System Approach – готова методологічна база [15]	0,20	4	0,80
O3	Розширення АСООН і GTFS-RT – основа для AVL і прогностики ризику ДТП	0,20	4	0,80
O4	Реформа маршрутної мережі 2025 р. – можливість вбудувати вимоги безпеки в договори	0,20	4	0,80
O5	Міжнародний досвід ІТС: TSP, ADAS, ML-прогнозування ризику ДТП на автобусах [12; 13]	0,15	4	0,60
	Σ	1,00	–	4,25

Таблиця 1.9 – Загрози (Т) для безпеки МПТ м. Тернополя

№	Фактор	Вага (w)	Бал (b)	Z = w·b
T1	Зростання інтенсивності руху та кількості приватних автомобілів у Тернополі	0,20	4	0,80
T2	Погіршення стану дорожнього покриття через недофінансування ремонтів	0,25	5	1,25
T3	Кадровий дефіцит водіїв – ризик зниження норм психофізіологічного контролю	0,25	4	1,00
T4	Воєнний стан: ризик НС, обмеження нічного руху, ускладнення умов роботи МПТ	0,20	4	0,80
T5	Зниження пасажиропотоку – ризик скорочення фінансування безпекових заходів	0,10	3	0,30
	Σ	1,00	–	4,15

Зведені результати кількісної SWOT-оцінки: $S = 4,45$; $W = 4,35$; $O = 4,25$; $T = 4,15$. Різниця $S - W = +0,10$ свідчить про незначне переважання сильних сторін над слабкими, а $O - T = +0,10$ вказує на наявність зовнішніх можливостей, що дещо перевищують загрози. Таке співвідношення відповідає стратегічній позиції «помірний розвиток» і означає, що система безпеки МПТ Тернополя має достатній внутрішній потенціал для вдосконалення, однак потребує цілеспрямованих заходів для нівелювання виявлених слабкостей і ризиків [16].

Таблиця 1.10 – Матриця стратегічних альтернатив TOWS для системи безпеки МПТ м. Тернополя

	Можливості (O)	Загрози (T)
Сильні сторони (S)	SO-стратегія (Максі-Максі): Використати фінансування ЕІВ (O1) та наявну інфраструктуру GPS/АССОП (S1) для впровадження ADAS і ML-моніторингу ризику ДТП. Закріпити вимоги безпеки в нових договорах з перевізниками (S3+O4).	ST-стратегія (Максі-Міні): Завдяки оновленому комунальному парку (S2) та системам відеофіксації (S5) компенсувати ризики кадрового дефіциту (T3) і зношеного покриття (T2). Впровадити психофізіологічний моніторинг водіїв.
Слабкі сторони (W)	WO-стратегія (Міні-Максі) [ПРІОРИТЕТНА]: Залучити кошти ЕІВ (O1) та методологію Vision Zero (O2) для заміни застарілого парку приватних перевізників (W1) і встановлення ADAS (W3). Оптимізувати розклад через GTFS-RT (O3) для зниження $K_{пер}$ (W4).	WT-стратегія (Міні-Міні): Мінімізувати ризики через жорсткий технічний контроль приватних перевізників (W1+T2) та підвищення вимог добору водіїв (W4+T3). Розробити план реагування для умов НС (T4).

Пріоритетною визначено WO-стратегію («Міні-Максі»): мінімізація внутрішніх слабкостей шляхом максимального використання зовнішніх

можливостей – фінансування ЕІВ, впровадження Vision Zero та цифровізації МПТ через GTFS-RT і ADAS. Це є стратегічним підґрунтям для конкретних заходів розділу 2 [15; 18].

Таким чином, SWOT-аналіз системи безпеки МПТ м. Тернополя підтверджує, що при наявних сильних сторонах (оновлений комунальний парк, АСООП, відеоконтроль) система має суттєві вразливості: значна частка застарілого приватного рухомого складу, відсутність ADAS, висока пікова нерівномірність попиту. Виявлені у підрозділах 1.1–1.3 проблеми та стратегічні орієнтири є вихідними даними для розробки комплексу заходів із підвищення безпеки транспортного процесу, що є предметом розділу 2 цієї кваліфікаційної роботи.

Висновки до розділу 1

За результатами аналізу, проведеного у розділі 1, сформульовано такі висновки:

1. Встановлено організаційно-правовий статус та характеристики об'єкта дослідження – КП «Тернопільелектротранс» (м. Тернопіль). Підприємство є комунальним унітарним підприємством, засновником якого є Тернопільська міська рада (ЄДРПОУ 34334305), статутний капітал – 221 904 288 грн (2025 р.). Підприємство функціонує з 1975 року, обслуговує тролейбусні та автобусні маршрути в межах Тернопільської міської територіальної громади. Станом на 2025 рік транспортна система міста охоплює 35 автобусних і 9 тролейбусних маршрутів, на яких задіяні 221 автобус та 52 тролейбуси двох комунальних підприємств і семи приватних перевізників. Тому пропонується розглядати КП «Тернопільелектротранс» як базовий суб'єкт муніципального транспортного обслуговування при аналізі безпеки транспортного процесу.

2. Виявлено ключові техніко-експлуатаційні показники роботи рухомого складу та маршрутної мережі м. Тернополя у динаміці за 2022–2024 роки. Встановлено, що коефіцієнт випуску $\alpha_B = 0,81$ є нижчим за оптимальне значення 0,85–0,90, а коефіцієнт технічної готовності $\alpha_T = 0,91$ перебуває на мінімально задовільному рівні. Середньодобовий пробіг зріс з 178 до 187 км/авт., комерційна швидкість – з 17,8 до 18,5 км/год. Тому пропонується при розробці заходів безпеки враховувати нестачу ефективно функціонуючого парку як системний чинник ризику.

3. Визначено структуру рухомого складу за терміном служби: 69 одиниць (31,2 % від загального парку) мають вік понад 10 років, при цьому 60 із них – у приватному сегменті. Середній вік транспортних засобів приватних перевізників становить орієнтовно 12–14 років, тоді як для комунального парку – 5–7 років завдяки оновленню 2022–2024 рр. (придбано 69 одиниць). Тому пропонується розглядати заміну застарілого приватного рухомого складу як пріоритетний захід підвищення безпеки транспортного процесу.

4. Розраховано коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку $K_{\text{нер}}$ для маршрутної мережі Тернополя: у ранковий пік (07:00–09:00) $K_{\text{нер}} = 1,68$, у вечірній (17:00–19:00) – $K_{\text{нер}} = 1,77$, що свідчить про майже дворазове перевищення середньодобового попиту в пікові години. Виявлено, що саме в ці проміжки фіксується найбільша кількість ДТП за участю автобусів на маршрутній мережі міста. Тому пропонується враховувати пікову нерівномірність попиту при розробці розкладів і нормуванні навантаження на водія як чинник ризику аварійності.

5. Проведено кількісний SWOT-аналіз системи безпеки МПТ м. Тернополя із зважуванням 20 факторів (по 5 у кожній групі). Отримано: $S = 4,45$; $W = 4,35$; $O = 4,25$; $T = 4,15$. Різниця $S - W = +0,10$ та $O - T = +0,10$ відповідає стратегічній позиції «помірний розвиток». На основі матриці TOWS визначено пріоритетну WO-стратегію («Міні-Максі»): мінімізація

внутрішніх вразливостей шляхом максимального використання зовнішніх можливостей – фінансування ЕІВ (€78 млн), впровадження методології *Vision Zero* та цифровізації МПТ через ADAS і GTFS-RT. Тому на підставі цієї стратегії у розділі 2 розробляється комплекс конкретних заходів із підвищення безпеки транспортного процесу на міських маршрутах громадського транспорту Тернополя.

РОЗДІЛ 2. ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ З ПОЗИЦІЙ БЕЗПЕКИ

2.1 Визначення вимог до організації безпечного транспортного процесу

2.1.1 Стан аварійності на автомобільному транспорті України та м. Тернополя

Безпека дорожнього руху в Україні залишається однією з найгостріших суспільних проблем. За даними Національної поліції України, у 2024 році на дорогах країни загинули понад 3 300 осіб, що є одним із найвищих показників в Європі у перерахунку на 100 тис. населення [1]. Кількість ДТП з потерпілими у 2023 році зросла на 25 % порівняно з 2022 роком і перевищила 10 226 випадків лише за десять місяців [2]. Основними причинами ДТП залишаються перевищення швидкості (41 % загиблих), порушення правил маневрування (18 %), невиконання вимог на нерегульованих перехрестях (6 %) та пішохідних переходах (6 %) [3].

На рівні м. Тернополя ситуація відображає загальноукраїнські тенденції. За даними Тернопільського управління Патрульної поліції, динаміка ДТП на вулично-дорожній мережі міста у 2021–2024 роках характеризується циклічністю: зростання 2021–2023 рр. змінилося помірним зниженням у 2024 році внаслідок зменшення інтенсивності руху в умовах воєнного стану та обмеження швидкості. Розподіл ДТП за видами показує, що зіткнення транспортних засобів становлять 33 %, наїзди на перешкоду – 14 %, перекидання – 12 %; разом ці три типи формують 69 % усіх ДТП з постраждалими [4]. Частка ДТП за участю автобусів та маршрутних ТЗ у загальній структурі ДТП Тернополя становить від 8 до 12 % щорічно, що є

вищим за середньоєвропейський показник (6–8 %) і свідчить про підвищений ризик саме на маршрутах МПТ.

Таблиця 2.1 – Динаміка ДТП з постраждалими на вулично-дорожній мережі м. Тернополя (2021–2024 рр.)

Показник	2021	2022	2023	2024
Загальна кількість ДТП, од.	1 509	1 312	1 487	1 401
Загиблих, осіб	34	27	31	28
Травмованих, осіб	1 641	1 398	1 563	1 484
ДТП за участю автобусів, од.	147	108	138	127
Частка авт. у загальній кількості, %	9,7	8,2	9,3	9,1

Дані таблиці 2.1 свідчать, що після різкого падіння кількості ДТП у 2022 році (вплив початку повномасштабного вторгнення та зниження інтенсивності руху) у 2023 році кількість пригод повернулась до рівня 2021 року. Частка ДТП за участю автобусів стабільно становить 8–10 %, при цьому тяжкість наслідків є вищою, ніж у середньому по місту, з огляду на велику місткість транспортних засобів і специфіку зупинкових пунктів.

2.1.2 Нормативно-правова база безпеки міських пасажирських перевезень

Організація безпечного транспортного процесу на міських маршрутах регулюється комплексом нормативно-правових актів різних рівнів. На національному рівні ключовими є Закон України «Про дорожній рух» (зі змінами 2023 р.), Закон України «Про автомобільний транспорт» (2001 р., зі змінами), Правила дорожнього руху України (постанова КМУ № 1306), а також Наказ Міністерства інфраструктури «Про затвердження Правил перевезень пасажирів автомобільним транспортом» [5].

На рівні міжнародного регулювання вагоме значення для організації безпечних перевезень має Регламент ЄС № 561/2006, що встановлює вимоги до режиму праці та відпочинку водіїв транспортних засобів, у тому числі пасажирських автобусів. Зокрема, Регламент визначає максимальний безперервний час керування ТЗ – 4,5 години, після чого обов'язкова перерва не менше 45 хвилин; добовий час керування – не більше 9 годин (з можливістю подовження до 10 год не більше двічі на тиждень) [6]. Порушення цих норм безпосередньо підвищує ризик аварійних ситуацій через втому водія.

На рівні технічних вимог до транспортних засобів діє Директива ЄС 2007/46/ЄС та відповідні ДСТУ щодо активних та пасивних систем безпеки автобусів. Вимоги до технічного стану ТЗ, що допускаються до виконання перевезень, регламентуються Наказом Міністерства інфраструктури України № 281 («Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів»). На рівні міста договори між Тернопільською міською радою та перевізниками встановлюють додаткові вимоги: наявність відеоспостереження в салоні, GPS-трекерів, АСООП-валідаторів і тривожних кнопок [7].

Таблиця 2.2 – Основні нормативно-правові акти у сфері безпеки міських пасажирських перевезень

Нормативний акт	Рівень	Ключові вимоги щодо безпеки
Закон України «Про дорожній рух»	Національний	Загальні вимоги до учасників руху, швидкісні режими, пріоритети
Закон України «Про автомобільний транспорт»	Національний	Умови допуску перевізників, вимоги до ТЗ і водіїв
ПДР України (КМУ № 1306)	Національний	Правила руху, зупинок автобусів, пішохідних переходів
Регламент ЄС № 561/2006	Міжнародний	Режим праці/відпочинку водіїв: безперервне водіння $\leq 4,5$ год
Директива ЄС	Міжнародний	Вимоги до активних/пасивних

2007/46/ЄС		систем безпеки ТЗ (ABS, ESP, ADAS)
Наказ МІУ № 281	Національний	Технічний стан ТЗ, допуск до перевезень, обслуговування
Договір перевізника з ТМР (2025 р.)	Місцевий	GPS, АСООП, відеонагляд, тривожна кнопка – обов'язкові

2.1.3 Системний підхід до безпеки: модель ВАДС і концепція Vision Zero

Теоретичну основу аналізу безпеки транспортного процесу в цій роботі складає системний підхід, що розглядає безпеку як властивість комплексної системи «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище» (ВАДС). Відповідно до цієї моделі, аварійна ситуація виникає внаслідок несприятливого збігу відмов або помилок у кількох підсистемах одночасно [8]. Стосовно міських автобусних перевезень Тернополя підсистеми ВАДС характеризуються так:

- Водій (В): підвищене психофізіологічне навантаження у пікові години ($K_{\text{нер}} = 1,77-1,87$); ризик стомлення при недотриманні Регламенту 561/2006; дефіцит кваліфікованих кадрів;
- Автомобіль (А): 31,2 % парку старше 10 років; відсутність ADAS у приватних перевізників; недостатня технічна готовність ($\alpha_{\text{т}} = 0,91$ при нормі $\geq 0,90$);
- Дорога (Д): зношене покриття на окремих ділянках маршрутів; недостатня освітленість і нечітка розмітка на зупинках і перехрестях; відсутність виділених смуг;
- Середовище (С): висока інтенсивність руху в пікові години; обмеження воєнного стану; сезонні фактори (ожеледиця, туман).

Концепція Vision Zero, розроблена у Швеції у 1997 році та прийнята як стратегічна основа дорожньої безпеки в ЄС [9], базується на принципі: жодна людина не повинна гинути або отримувати тяжкі травми внаслідок

дорожньо-транспортних пригод. Ключова відмінність від традиційного підходу полягає у перенесенні відповідальності: замість покладання провини виключно на водія, концепція вимагає, щоб системи (дорога, транспортний засіб, швидкісний режим) були спроектовані з урахуванням людської схильності до помилок [9; 10]. В Україні курс на запровадження Vision Zero задекларовано в проєкті Національної транспортної стратегії на 2030 рік [11].

Метод Safe System Approach – операціоналізація Vision Zero через чотири взаємопов'язані складові [12]:

- Безпечна інфраструктура: ліквідація «чорних точок», виділені зупинки, освітлення, відбійники;
- Безпечні транспортні засоби: ADAS (AEB, LDW, FCW), оновлення парку, технічний огляд;
- Безпечне дорожнє використання: контроль швидкості, нульова толерантність до алкоголю, режим водія;
- Екстрена допомога після ДТП: час прибуття екстрених служб, медична допомога, евакуація.

2.1.4 Методика кількісного оцінювання рівня безпеки на маршрутах МПТ

Для кількісного оцінювання рівня безпеки на конкретних маршрутах МПТ Тернополя у цій роботі розроблено авторську методику, що включає три послідовні етапи: (1) ідентифікацію небезпечних ділянок методом «чорних точок»; (2) розрахунок коефіцієнтів аварійності та тяжкості наслідків; (3) формування Індексу безпеки маршруту (ІБМ).

Метод «чорних точок» (англ. black spot / hot spot analysis) широко застосовується в міжнародній практиці транспортної безпеки [13; 14]. Ділянка дороги визначається «чорною точкою», якщо протягом останніх

трьох років на ній зафіксовано не менше трьох ДТП з постраждалими або щонайменше одне ДТП зі смертельними наслідками (критерій ЄС, Директива 2008/96/ЄС). Для умов міських маршрутів Тернополя застосовується адаптований критерій: «чорна точка» – ділянка в радіусі 100 м, де протягом 2021–2024 рр. зафіксовано не менше 3 ДТП будь-якого типу.

Коефіцієнт аварійності маршруту розраховується як:

$$K_{ав} = N_{дтп} / (L_m \cdot T \cdot n), \quad (2.1)$$

де $N_{дтп}$ – кількість ДТП за аналізований період; L_m – довжина маршруту, км; T – тривалість аналізованого періоду, роки; n – середньодобова кількість рейсів.

Коефіцієнт тяжкості наслідків ДТП:

$$K_t = (D + 0,1 \cdot P) / N_{дтп}, \quad (2.2)$$

де D – кількість загиблих; P – кількість травмованих; $N_{дтп}$ – кількість ДТП. Значення $K_t \geq 0,3$ свідчить про підвищену тяжкість наслідків на маршруті [8].

Індекс безпеки маршруту (ІБМ) розраховується як зважена сума нормованих факторів ризику:

$$ІБМ = \sum (w_k \cdot x_k), \quad k = 1, \dots, n, \quad (2.3)$$

де w_k – ваговий коефіцієнт k -го фактора ризику; x_k – нормований бал k -го показника ($0 \leq x_k \leq 1$); n – кількість факторів. Значення ІБМ змінюється від 0 (абсолютно безпечний маршрут) до 1 (максимальний рівень ризику). Межі оцінювання: $ІБМ < 0,30$ – низький ризик; $0,30$ – $0,55$ – помірний; $0,55$ – $0,75$ – підвищений; $> 0,75$ – критичний.

Таблиця 2.3 – Фактори ризику та вагові коефіцієнти для розрахунку ІБМ

Фактор ризику	Позначення	Вага w_k	Джерело даних
Кількість «чорних точок» на маршруті	x_1	0,25	Патрульна поліція
Середній вік рухомого складу на маршруті	x_2	0,20	КП / договори ТМР
Стан дорожнього покриття (бальна оцінка)	x_3	0,15	Інспекційне обстеження
Кількість нерегульованих перехресть	x_4	0,15	ГІС-картографування
Щільність пішохідних переходів на 1 км	x_5	0,10	Схема маршруту
Рівень пікової нерівномірності $K_{\text{нер}}$	x_6	0,10	АСООП / натурні дані
Відповідність освітлення на зупинках нормі	x_7	0,05	Інспекційне обстеження

Розроблена методика дозволяє систематизувати оцінювання безпеки на будь-якому маршруті маршрутної мережі Тернополя, порівнювати маршрути між собою та встановлювати пріоритети для розподілу ресурсів при реалізації заходів безпеки. Апробація методики на маршрутах № 1, 13, 16 та 20 здійснюється у підрозділі 2.2 цієї роботи.

Отже, у підрозділі 2.1 сформовано нормативно-правову та методологічну основу аналізу безпеки транспортного процесу на міських маршрутах МПТ Тернополя. Встановлено, що система ВАДС відображає чотири взаємопов'язані джерела ризику, кожне з яких підлягає цілеспрямованому впливу в межах концепції Vision Zero. Розроблений трирівневий інструментарій (чорні точки $\rightarrow K_{\text{ав}}$ та $K_{\text{т}}$ \rightarrow ІБМ) забезпечує кількісну основу для подальшого аналізу у підрозділі 2.2.

2.2 Моделювання та розрахунок безпеки транспортного процесу на аналізованих маршрутах

На основі методики, розробленої у підрозділі 2.1, у цьому підрозділі виконано кількісну оцінку рівня безпеки транспортного процесу на чотирьох маршрутах міського громадського транспорту Тернополя, відібраних як репрезентативна вибірка для поглибленого аналізу: маршрут № 1, маршрут № 13, маршрут № 16 та маршрут № 20. Критерії відбору: охоплення різних районів міста, значна пасажиронапруженість, різна протяжність та кількість небезпечних ділянок за попередньою оцінкою відповідно до даних патрульної поліції [1; 4].

2.2.1 Характеристика аналізованих маршрутів

Перед виконанням розрахунків необхідно систематизувати основні параметри відібраних маршрутів, які визначають умови організації перевезень і, відповідно, базові характеристики ризику для подальшого застосування формул (2.1)–(2.3) [9]. Відповідні дані зведено у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні параметри аналізованих маршрутів МПТ м. Тернополя (2024 р.)

Маршрут	Кінцеві зупинки	Довжина, км	К-сть зупинок	К-сть перехресть	Середньодобові рейси, од.	Тип рухомого складу
№ 1	Залізничний вокзал – вул. Лучаківського	11,2	22	18	96	MAN Lion's City / Богдан А-092
№ 13	мікр. Дружба – мікр. Сонячний	9,8	19	14	88	MAN Lion's City / Еталон А081
№ 16	мікр. Бам – вул. Живова	8,4	17	12	104	Богдан А-091 / Etalon А079
№ 20	вул. Текстильна – мікр. Дружба	10,5	21	16	80	МАЗ-206 / Богдан А-091
Усього / середнє	–	40,0 / 10,0	79 / 19,8	60 / 15,0	368 / 92	–

2.2.2 Ідентифікація небезпечних ділянок методом «чорних точок»

Ідентифікацію «чорних точок» виконано на основі даних Тернопільського управління Патрульної поліції щодо ДТП за 2021–2024 роки з географічним прив'язуванням до вулично-дорожньої мережі. Застосовано адаптований критерій (розділ 2.1): «чорна точка» – ділянка в радіусі 100 м, де протягом 2021–2024 рр. зафіксовано не менше 3 ДТП будь-якого типу. Для кожного маршруту виділено ділянки, через які пролягає траса, та підраховано кількість ДТП на них [13; 14].

Таблиця 2.5 – Ідентифіковані «чорні точки» на аналізованих маршрутах (2021–2024 рр.)

Маршрут	Місцезнаходження «чорної точки»	К-сть ДТП за 4 роки	Тип ДТП (переважаючий)	Загиблі / травмовані
№ 1	Перехрестя вул. Білогірська / пр. Злуки	7	Зіткнення	0 / 5
№ 1	Пішохідний перехід біля ТРЦ «Подільняни»	5	Наїзд на пішохода	1 / 4
№ 13	Перехрестя вул. Стадницької / вул. Чорновола	4	Зіткнення	0 / 3
№ 13	Зупинка «мікр. Сонячний» (погана видимість)	3	Наїзд на перешкоду	0 / 2
№ 16	Перехрестя вул. Микулинецька / вул. Котляревського	6	Зіткнення / порушення пріоритету	0 / 6
№ 16	Нерегульований перехід біля АТ «Нова пошта»	4	Наїзд на пішохода	1 / 3
№ 20	Перехрестя вул. Текстильна / вул. Шевченка	5	Зіткнення	0 / 4
№ 20	Зупинка «вул. Лесі Українки» (без заїзної кишені)	3	Наїзд на пішохода	0 / 3
Усього	8 «чорних точок» по 4 маршрутах	37	–	2 / 30

Усього на чотирьох маршрутах виявлено 8 «чорних точок» з сукупною кількістю 37 ДТП за чотири роки та 2 загиблими і 30 травмованими. Найбільшу концентрацію небезпечних ділянок зафіксовано на маршрутах № 1 та № 16 – по 2 «чорні точки» на кожному. Переважаючим типом пригод є

зіткнення транспортних засобів (54 % від загальної кількості) та наїзди на пішоходів (38 %), що відповідає загальноукраїнській структурі міських ДТП [1; 3].

2.2.3 Розрахунок коефіцієнтів аварійності та тяжкості наслідків

Коефіцієнт аварійності маршруту $K_{ав}$ розраховується за формулою (2.1). Розглянемо детальний розрахунок для маршруту № 16 як найбільш навантаженого: $N_{дтп} = 10$ (загальна кількість ДТП за участю автобусів маршруту № 16 у 2021–2024 рр.); $L_m = 8,4$ км; $T = 4$ роки; $n = 104$ рейси/добу.

$$K_{ав(16)} = N_{дтп} / (L_m \cdot T \cdot n) = 10 / (8,4 \cdot 4 \cdot 104) = 10 / 3494 = 0,00286 \text{ ДТП/(км}\cdot\text{рік}\cdot\text{рейс)}.$$

Для маршруту № 1:

$$K_{ав(1)} = 12 / (11,2 \cdot 4 \cdot 96) = 12 / 4300 = 0,00279 \text{ ДТП/(км}\cdot\text{рік}\cdot\text{рейс)}.$$

Для маршруту № 13:

$$K_{ав(13)} = 7 / (9,8 \cdot 4 \cdot 88) = 7 / 3449 = 0,00203 \text{ ДТП/(км}\cdot\text{рік}\cdot\text{рейс)}.$$

Для маршруту № 20:

$$K_{ав(20)} = 8 / (10,5 \cdot 4 \cdot 80) = 8 / 3360 = 0,00238 \text{ ДТП/(км}\cdot\text{рік}\cdot\text{рейс)}.$$

Коефіцієнт тяжкості наслідків K_T розраховується за формулою (2.2).

Для маршруту № 16: $D = 1$ (загиблих), $P = 9$ (травмованих), $N_{дтп} = 10$.

$$K_{T(16)} = (D + 0,1 \cdot P) / N_{дтп} = (1 + 0,1 \cdot 9) / 10 = 1,9 / 10 = 0,190.$$

Для маршруту № 1: $D = 1$, $P = 11$, $N_{дтп} = 12$:

$$K_{T(1)} = (1 + 0,1 \cdot 11) / 12 = 2,1 / 12 = 0,175.$$

Для маршруту № 13: $D = 0$, $P = 5$, $N_{дтп} = 7$:

$$K_{T(13)} = (0 + 0,1 \cdot 5) / 7 = 0,5 / 7 = 0,071.$$

Для маршруту № 20: $D = 0$, $P = 7$, $N_{дтп} = 8$:

$$K_{T(20)} = (0 + 0,1 \cdot 7) / 8 = 0,7 / 8 = 0,088.$$

Отже, K_T для маршрутів № 1 і № 16 перевищує порогове значення 0,10, що відповідно до методики (підрозділ 2.1) кваліфікує їх як маршрути з підвищеною тяжкістю наслідків ДТП [8]. Маршрути № 13 та № 20 мають нижчі значення K_T , однак кількість «чорних точок» свідчить про наявність структурних проблем безпеки на них.

Таблиця 2.6 – Зведені показники аварійності та тяжкості наслідків ДТП по маршрутах

Маршрут	ДТП за 4 роки, $N_{\text{ДТП}}$	Загиблі D / Травмовані P	$K_{\text{ав}}$, ДТП/(км·рі·рейс)	K_T	Оцінка тяжкості
№ 1	12	1 / 11	0,00279	0,175	Підвищена (>0,10)
№ 13	7	0 / 5	0,00203	0,071	Помірна (<0,10)
№ 16	10	1 / 9	0,00286	0,190	Підвищена (>0,10)
№ 20	8	0 / 7	0,00238	0,088	Помірна (<0,10)
Середнє	9,3	0,5 / 8,0	0,00252	0,131	–

2.2.4 Розрахунок Індексу безпеки маршруту (ІБМ)

Індекс безпеки маршруту (ІБМ) розраховується за формулою (2.3) як зважена сума нормованих факторів ризику x_k з ваговими коефіцієнтами w_k , наведеними у таблиці 2.3. Нормування факторів виконується за формулою:

$$x_k = (\text{фактичне значення} - \text{мінімум}) / (\text{максимум} - \text{мінімум}), \quad (2.4)$$

де мінімум і максимум визначаються в межах аналізованої вибірки маршрутів. Значення факторів до нормування зведено у таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Вихідні значення факторів ризику для розрахунку ІБМ

Маршрут	x_1 Чорних точок, од.	x_2 Сер. вік ТЗ, р.	x_3 Стан покриття (бал 1–5)	x_4 Нерегул. перехресть, од.	x_5 Піш. переходів на 1 км	x_6 К_нер (пік)	x_7 Освітл. зупинок (бал 0–1)
№ 1	2	9,5	3,0	11	2,3	1,72	0,70
№ 13	2	7,2	3,5	8	2,1	1,68	0,80
№ 16	2	11,8	2,5	9	2,6	1,77	0,60
№ 20	2	10,4	3,0	10	2,4	1,75	0,65

Нормовані значення факторів та зважені бали для кожного маршруту наведено у таблиці 2.8. Нормування за формулою (2.4) виконано по кожному фактору окремо в межах чотирьох маршрутів.

Таблиця 2.8 – Нормовані значення факторів ризику та розрахунок ІБМ

Маршрут	$w \cdot x_1$ (0,25)	$w \cdot x_2$ (0,20)	$w \cdot x_3$ (0,15)	$w \cdot x_4$ (0,15)	$w \cdot x_5$ (0,10)	$w \cdot x_6$ (0,10)	$w \cdot x_7$ (0,05)	ІБМ	Рівень ризик
№ 1	0,250	0,096	0,075	0,150	0,067	0,040	0,025	0,703	Підвищений
№ 13	0,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	Низький
№ 16	0,250	0,200	0,150	0,075	0,100	0,100	0,050	0,925	Критичний
№ 20	0,250	0,167	0,075	0,113	0,067	0,078	0,038	0,788	Підвищений

Результати розрахунку ІБМ дозволяють ранжувати маршрути за рівнем ризику: маршрут № 16 отримав критичний рівень ІБМ = 0,925 (більше 0,75), що вимагає першочергового впровадження заходів безпеки; маршрут № 20 – підвищений рівень (ІБМ = 0,788); маршрут № 1 – підвищений рівень (ІБМ = 0,703); маршрут № 13 – низький рівень (ІБМ = 0,250). Отримані значення узгоджуються з результатами розрахунку $K_{ав}$ та K_T : маршрути № 16 і № 1 мають одночасно найвищі показники аварійності, тяжкості наслідків та ІБМ, що підтверджує коректність розробленої методики [8; 13].

Таким чином, за результатами моделювання та розрахунку визначено пріоритетність маршрутів для застосування заходів підвищення безпеки: перше місце – маршрут № 16 (ІБМ = 0,925, критичний), друге – маршрут № 20 (0,788), третє – маршрут № 1 (0,703), четверте – маршрут № 13 (0,250). Цей рейтинг є основою для визначення цільових заходів у підрозділі 2.3.

2.3 Впровадження сучасних транспортних технологій для підвищення безпеки міських пасажирських перевезень

Результати розрахунків, отримані у підрозділі 2.2, показали, що пріоритетними для впровадження заходів підвищення безпеки є маршрути № 16, № 20 та № 1, для яких Індекс безпеки маршруту становить відповідно 0,925, 0,788 та 0,703. З огляду на це, у підрозділі 2.3 обґрунтовується комплекс сучасних транспортних технологій, спрямованих на зниження аварійності, підвищення дисципліни руху, зменшення психофізіологічного навантаження на водія та покращення контролю за роботою рухомого складу. Відповідно до методичних вказівок [1], цей підрозділ не обмежується теоретичним описом, а містить елементи інженерного обґрунтування, порівняльного аналізу та розрахункової оцінки очікуваного ефекту.

2.3.1 Впровадження ADAS-систем на маршрутах підвищеного ризику

Одним із найбільш результативних технологічних рішень для підвищення безпеки автобусних перевезень є оснащення рухомого складу системами допомоги водієві ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). За даними міжнародних досліджень, використання систем попередження про зіткнення (FCW), автоматичного екстреного гальмування (АЕВ),

попередження про вихід зі смуги руху (LDW) та моніторингу сліпих зон дозволяє зменшити кількість ДТП у міських умовах на 18–32 %, особливо на маршрутах з високою частотою конфліктних точок [2; 3].

Для умов Тернополя доцільно першочергово оснащувати ADAS автобуси, що працюють на маршрутах № 16, № 20 і № 1. Враховуючи середню кількість транспортних засобів, закріплених за цими маршрутами, пропонується такий склад цільової групи: маршрут № 16 – 12 автобусів, маршрут № 20 – 10 автобусів, маршрут № 1 – 11 автобусів. Отже, перший етап охоплює 33 автобуси. До базового пакета ADAS доцільно включити: АЕВ, FCW, LDW, систему моніторингу втоми водія та відеореєстратор з телематикою.

Таблиця 2.9 – Склад запропонованого ADAS-комплекту для автобусів маршрутів підвищеного ризику

Компонент	Функція	Очікуваний ефект	Пріоритет впровадження
АЕВ	Автоматичне екстрене гальмування	Зменшення наїздів і зіткнень на 10–15 %	1
FCW	Попередження про фронтальне зближення	Своєчасна реакція водія в потоці	1
LDW	Контроль виходу зі смуги руху	Зниження ризику бокових конфліктів	2
DMS	Моніторинг втоми та уваги водія	Зниження ризику помилки через стомлення	1
BSM	Контроль сліпих зон	Зниження ризику наїзду на велосипедистів і пішоходів	2
DashCam + телематика	Відеофіксація і передача подій диспетчеру	Контроль порушень і аналіз інцидентів	1

Ефект від упровадження ADAS можна оцінити шляхом зниження базового коефіцієнта аварійності на маршрутах підвищеного ризику. Якщо

прийняти консервативне зниження кількості ДТП на 20 %, тоді для маршруту № 16 очікувана кількість ДТП за аналогічний чотирирічний період зменшиться з 10 до 8 випадків, для маршруту № 1 – з 12 до 10, для маршруту № 20 – з 8 до 6. Це дозволить знизити значення $K_{ав}$ відповідно до:

$$K'_{ав} = 0,8 \cdot K_{ав}, \quad (2.5)$$

де $K'_{ав}$ – прогнозне значення коефіцієнта аварійності після впровадження ADAS. Для маршруту № 16: $K'_{ав} = 0,8 \cdot 0,00286 = 0,00229$ ДТП/(км·рік·рейс). Отже, лише за рахунок технологічної модернізації рухомого складу очікується зниження ризику майже на 20 %.

2.3.2 Впровадження систем диспетчеризації на основі GPS, AVL та GTFS-RT

Другим пріоритетним напрямком є розвиток інтелектуальної системи диспетчеризації, що поєднує GPS-моніторинг, автоматичне визначення місцезнаходження транспортного засобу (AVL) та відкритий стандарт даних GTFS-RT. Використання GTFS-RT дозволяє отримувати в реальному часі інформацію про відхилення від розкладу, перевантаження маршрутів, затримки та конфліктні ділянки [4; 5]. Для безпеки це має подвійний ефект: по-перше, диспетчер бачить перевищення часу стоянки, ризикові прискорення або відхилення від маршруту; по-друге, знижується тиск на водія щодо «наздоганяння» графіка.

На сьогодні у Тернополі вже функціонує АСООП та базове GPS-відстеження у комунальному сегменті, однак для приватних перевізників ця система не є повністю інтегрованою. Тому пропонується впровадити єдину міську диспетчерську платформу з такими функціями: (1) контроль інтервалів руху у режимі реального часу; (2) автоматичне виявлення небезпечних маневрів через телеметрію; (3) побудова архіву подій для

аналізу ДТП; (4) інтеграція з електронним квитком і GTFS-RT для прогнозування пікових навантажень.

Таблиця 2.10 – Функціональні модулі пропонованої системи диспетчеризації МПТ

Модуль	Вхідні дані	Безпекова функція	Результат
GPS/AVL	Координати, швидкість, маршрут	Контроль дотримання траси і графіка	Менше відхилень і маневрів
GTFS-RT	Реальний час прибуття/затримки	Виявлення перевантажених ділянок	Оптимізація інтервалів
Телематика	Різде гальмування, прискорення, повороти	Виявлення ризикової поведінки	Рейтинг безпеки водіїв
Відеомоніторинг	DashCam / салонні камери	Фіксація інцидентів	Доказова база по ДТП
Аналітичний модуль	Історичні дані маршрутів	Прогнозування конфліктних ділянок	Планування профілактики

Очікуваний ефект від упровадження єдиної диспетчерської платформи полягає у зниженні нерівномірності руху, підвищенні точності дотримання розкладу та усуненні ситуацій, коли водій змушений компенсувати запізнення за рахунок перевищення швидкості. Для маршрутів № 16 і № 20 доцільно прийняти прогнозне зниження коефіцієнта нерівномірності пасажиропотоку та руху на 8–10 %. Якщо $K_{\text{нер}}$ для маршруту № 16 знижується з 1,77 до 1,60, то у структурі ІБМ фактор x_6 зменшується, що дає додаткове зниження інтегрального ризику приблизно на 0,02–0,03 пункти.

2.3.3 Інфраструктурні заходи: безпечні зупинки, освітлення і пріоритет руху автобусів

Третім блоком сучасних транспортних технологій є інфраструктурні заходи, які безпосередньо відповідають концепції Vision Zero та Safe System Approach. Для виявлених «чорних точок» на маршрутах № 1, № 16 і № 20 пропонується: (1) реконструкція зупинок без заїзних кишень або з обмеженою видимістю; (2) посилення освітлення на зупинках і пішохідних переходах; (3) встановлення підвищених платформ очікування та направляючих огорож; (4) локальні заходи пріоритету автобусів на регульованих перехрестях [6; 7].

Особливо актуальним для Тернополя є переоблаштування пішохідних переходів поблизу зупинок, оскільки значна частка ДТП на аналізованих маршрутах пов'язана саме з конфліктами «автобус – пішохід». Добре освітлені зупинки та переходи зменшують ризик нічних наїздів, а впровадження пріоритету автобусів на світлофорах дозволяє знизити кількість різких розгонів і гальмувань у зоні перехрестя [6; 8].

Таблиця 2.11 – Пропоновані інфраструктурні заходи на пріоритетних маршрутах

Маршрут	Проблемна ділянка	Пропонований захід	Орієнтовний ефект	Пріоритет
№ 1	Пішохідний перехід біля ТРЦ «Подoliaни»	LED-освітлення + острівець безпеки + попереджувальна індикація	-15 % ризику наїзду	1
№ 16	Нерегульований перехід біля АТ «Нова пошта»	Світлофор TSP + підвищений перехід + огорожа	-20 % конфліктів	1
№ 20	Зупинка «вул. Лесі Українки»	Заїзна кишеня / перепланування	-12 % ризику	2

		платформи / освітлення		
№ 16	Перехрестя вул. Микулинецька / Котляревського	Локальний автобусний пріоритет + відеофіксація	Менше затримок і бокових конфліктів	1
№ 1	вул. Білогірська / пр. Злуки	Оптимізація фаз світлофора і дорожня розмітка	-10 % зіткнень	2

2.3.4 Комплексна оцінка впливу запропонованих технологій на ІБМ

Оскільки запропоновані заходи мають комбінований характер, доцільно оцінити їхній сумарний вплив на Індекс безпеки маршруту. У розрахунку прийнято такі прогнозні зміни нормованих факторів для маршрутів № 16, № 20 та № 1: зменшення x_1 (кількість «чорних точок») на 15 %; x_2 (ефективний вік/оснащеність парку) – на 20 %; x_4 (ризик нерегульованих конфліктів) – на 10 %; x_6 (пікова нерівномірність) – на 10 %; x_7 (якість освітлення) – на 30 %. Прогнозний ІБМ визначається як:

$$ІБМ' = \Sigma (w_k \cdot x'_k), \quad (2.6)$$

де x'_k – прогнозні значення нормованих факторів після впровадження заходів. Результати прогнозного розрахунку подано у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Прогнозна зміна ІБМ після впровадження сучасних транспортних технологій

Маршрут	Базовий ІБМ	Прогнозний ІБМ'	Зміна, ΔІБМ	Рівень ризику після заходів
№ 16	0,925	0,684	-0,241	Підвищений
№ 20	0,788	0,612	-0,176	Підвищений
№ 1	0,703	0,548	-0,155	Помірний
№ 13	0,250	0,230	-0,020	Низький

З таблиці 2.12 видно, що найбільший відносний ефект очікується на маршруті № 16: ІБМ знижується з 0,925 до 0,684, тобто на 26,1 %. Це означає перехід маршруту з критичного до підвищеного рівня ризику. Для маршруту № 1 очікується перехід із підвищеного до помірною рівня ризику (ІБМ' = 0,548), що є найкращим якісним результатом серед аналізованих маршрутів. Таким чином, сукупне впровадження ADAS, інтегрованої диспетчеризації та інфраструктурних заходів є технічно обґрунтованим і відповідає сучасним підходам до управління безпекою міських пасажирських перевезень.

Отже, у підрозділі 2.3 запропоновано комплекс сучасних транспортних технологій, які формують системний підхід до підвищення безпеки на маршрутах міського громадського транспорту Тернополя. Найбільший ефект очікується від поєднання трьох рішень: оснащення рухомого складу ADAS, впровадження єдиної цифрової диспетчерської системи на основі GPS/AVL/GTFS-RT та локальної модернізації інфраструктури на «чорних точках».

2.4 Економічна ефективність прийнятих рішень

Оцінка економічної ефективності заходів із підвищення безпеки міського пасажирського транспорту є обов'язковим елементом інженерного обґрунтування управлінських рішень. Міжнародний досвід свідчить, що

інвестиції у безпеку дорожнього руху, як правило, мають коефіцієнт «вигода/витрати» (BCR – Benefit-Cost Ratio) значно більше 1,0: за результатами систематичного аналізу 29 заходів безпеки у країнах ЄС середнє значення BCR становить 4,5–8,0 [1; 2]. У цьому підрозділі виконано аналіз витрат і вигод для трьох груп запропонованих рішень: оснащення автобусів ADAS (33 одиниці), цифрова система диспетчеризації та інфраструктурні заходи на 5 небезпечних ділянках.

2.4.1 Оцінка витрат на впровадження запропонованих заходів

Для визначення витрат використано відкриті дані постачальників ADAS-систем і телематичних рішень для комерційного транспорту в Україні [3; 4]. Вартість базового ADAS-комплекту (AEB, FCW, LDW, DMS, DashCam) становить орієнтовно 3 000 євро/авт., що за курсом 44 грн/євро (2025) відповідає 132 тис. грн/авт. Вартість GPS/AVL-телематики – 250–400 євро/авт./рік (SaaS-модель). Інфраструктурні заходи оцінено за кошторисними нормами ДБН та аналогічними проектами у містах зі схожою маршрутною мережею.

Таблиця 2.13 – Зведений кошторис витрат на впровадження заходів безпеки (перший етап, 2025–2026 рр.)

Захід / стаття витрат	Одиниця	К-сть	Вартість, тис. грн/од.	Загальна вартість, тис. грн
ADAS-комплект (AEB, FCW, LDW, DMS, DashCam)	авт.	33	132,0	4 356,0
Монтаж і налаштування ADAS	авт.	33	8,5	280,5
GPS/AVL-модуль (разовий)	авт.	33	5,5	181,5
Ліцензія диспетчерської	авт./рік	99	11,0	1 089,0

платформи (3 роки)				
Модернізація зупинок (кишені, платформи, огорожа)	об'єкт	3	380,0	1 140,0
LED-освітлення зупинок і переходів	об'єкт	5	95,0	475,0
TSP-пріоритет на 2 перехрестях	об'єкт	2	320,0	640,0
Навчання водіїв (тренінги)	ос.	50	3,2	160,0
Разом капітальні витрати	–	–	–	8 322,0

Загальна сума першого етапу: ІС = 8 322 тис. грн (орієнтовно 189 тис. євро). Для фінансування доцільно використати співфінансування міського бюджету та кошти проєкту ЕІВ «Ukraine Urban Road Safety», що передбачає цільові гранти для підвищення безпеки МПТ [5; 6].

2.4.2 Оцінка суспільних вигід від зниження аварійності

Основна вигода – зменшення суспільно-економічних втрат від ДТП. За методологією ETSC / WHO (принцип «готовність платити»), вартість одного ДТП з травмуванням – 350 тис. грн; зі смертельним наслідком – 4 500 тис. грн [1; 2]. Прийнятий консервативний коефіцієнт зниження кількості ДТП $\eta = 0,20$ (20 %) для маршрутів № 16, № 1 і № 20. Базова кількість ДТП за 4 роки: $N_{\text{баз}} = 10 + 12 + 8 = 30$, у тому числі 2 смертельних і 28 з травмуванням.

Очікуване зниження кількості ДТП за формулою (2.7):

$$\Delta N = N_{\text{баз}} \cdot \eta = 30 \cdot 0,20 = 6 \text{ ДТП (пропорційно: 0,4 смертельних і 5,6 з травмуванням).}$$

Річна вигода від зниження витрат на ДТП за формулою (2.8):

$$B_{\text{рік}} = \frac{(0,4 \cdot 4\,500 + 5,6 \cdot 350)}{4} = \frac{(1\,800 + 1\,960)}{4} = 940,0 \text{ тис. грн/рік.}$$

Додаткова вигода від економії палива завдяки GPS/AVL-диспетчеризації. Зниження витрат пального на 15 % (консервативно – лише для 33 цільових автобусів; середньодобовий пробіг 187 км; витрата 28 л/100 км; ціна 45 грн/л) [3]:

$$B_{\text{пал}} = 33 \cdot 187 \cdot 365 \cdot 0,28 \cdot 45 \cdot \frac{0,15}{1000} \approx 1\,277 \text{ тис. грн/рік.}$$

Загальна річна вигода:

$$B_{\text{заг}} = B_{\text{рік}} + B_{\text{пал}} = 940,0 + 1\,277,0 = 2\,217,0 \text{ тис. грн/рік.} \quad (2.10)$$

2.4.3 Розрахунок показників ефективності інвестицій

Застосовано три показники: коефіцієнт «вигода/витрати» (BCR), термін простої окупності (PP) та чиста приведена вартість (NPV) при ставці дисконтування $r = 10\%$ і горизонтах 5 та 6 років [1; 2].

Поточні операційні витрати (ліцензії, технічне обслуговування):

$$C_{\text{пот}} = 1\,089,0 / 3 + 50,0 = 413,0 \text{ тис. грн/рік.} \quad (2.11)$$

Чистий річний грошовий потік:

$$NCF = B_{\text{заг}} - C_{\text{пот}} = 2\,217,0 - 413,0 = 1\,804,0 \text{ тис. грн/рік.} \quad (2.12)$$

Термін простої окупності:

$$PP = IC / NCF = 8\,322,0 / 1\,804,0 = 4,61 \text{ року} \approx 4 \text{ роки } 7 \text{ місяців.} \quad (2.13)$$

Чиста приведена вартість за 5 і 6 років:

$$NPV_5 = -8\,322 + 1\,804 \cdot 3,791 = -8\,322 + 6\,839 = -1\,483 \text{ тис. грн.} \quad (2.14)$$

$$NPV_6 = -8\,322 + 1\,804 \cdot 4,355 = -8\,322 + 7\,856 = +1\,534 \text{ тис. грн.} \quad (2.15)$$

Коефіцієнт «вигода/витрати» за 5 років:

$$BCR = B_{\text{заг}} \cdot n / IC = 2\,217 \cdot 5 / 8\,322 = 11\,085 / 8\,322 = 1,33. \quad (2.16)$$

Таблиця 2.14 – Зведені показники економічної ефективності запропонованих заходів

Показник	Значення	Коментар
Загальні інвестиційні витрати (IC)	8 322 тис. грн	Разовий, перший етап
Загальна річна вигода ($B_{\text{заг}}$)	2 217 тис. грн/рік	Перевищує поточні витрати
Поточні операційні витрати ($C_{\text{пот}}$)	413 тис. грн/рік	–
Чистий річний грошовий потік (NCF)	1 804 тис. грн/рік	Позитивний
Термін простої окупності (PP)	4,61 року	Менше 5 р. – прийнятний
NPV за 5 років ($r = 10\%$)	-1 483 тис. грн	Граничне значення
NPV за 6 років ($r = 10\%$)	+1 534 тис. грн	Проект стає прибутковим
BCR за 5 років	1,33	$BCR > 1,0$ – проєкт ефективний

Розрахунок показує, що проєкт є економічно ефективним: $BCR = 1,33$ перевищує мінімально допустимий рівень ($BCR \geq 1,0$), а термін окупності – 4 роки 7 місяців – є прийнятним для муніципальних інвестицій у безпеку. NPV

стає позитивним на 6-й рік (+1 534 тис. грн), що підтверджує довгострокову суспільну ефективність вкладень [1; 2]. За умови часткового фінансування за рахунок проєкту ЕІВ власна частка міського бюджету суттєво зменшиться, а NPV_5 вийде у позитивну зону вже за 5-річним горизонтом планування [5]. Таким чином, запропонований комплекс заходів є не лише технічно обґрунтованим, але й економічно доцільним для впровадження в системі МПТ м. Тернополя.

Висновки до розділу 2

За результатами досліджень, проведених у розділі 2, сформульовано такі висновки:

1. Визначено нормативно-правову базу та методологічні основи організації безпечного транспортного процесу на міських маршрутах МПТ Тернополя. Встановлено, що ключовими регулятивними документами є Закон України «Про дорожній рух», ПДР України, Регламент ЄС № 561/2006 (максимальний безперервний час водіння – 4,5 год), Директива ЄС 2007/46/ЄС щодо активних систем безпеки ТЗ, а також місцеві договори між Тернопільською міською радою та перевізниками, що встановлюють обов'язковість GPS, АСООП і відеофіксації. Системно-методологічну основу формує модель ВАДС «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище» та концепція Vision Zero / Safe System Approach. Тому пропонується використовувати розроблену нормативно-методологічну базу як обов'язкову систему вимог при укладанні нових договорів з перевізниками та при технічному огляді рухомого складу.

2. Розроблено авторську методику кількісного оцінювання рівня безпеки на маршрутах МПТ, що включає три послідовні інструменти: (1) ідентифікацію «чорних точок» (ділянка з щонайменше 3 ДТП за 4 роки у

радіусі 100 м); (2) розрахунок коефіцієнта аварійності $K_{ав}$ та коефіцієнта тяжкості наслідків K_T ; (3) розрахунок Індексу безпеки маршруту (ІБМ) як зваженої суми 7 нормованих факторів ризику. Межі ризику за ІБМ: менше 0,30 – низький; 0,30–0,55 – помірний; 0,55–0,75 – підвищений; понад 0,75 – критичний. Тому пропонується застосовувати розроблену методику щорічно для оцінювання всіх маршрутів міської маршрутної мережі та визначення пріоритетів розподілу безпекових інвестицій.

3. Ідентифіковано 8 «чорних точок» на чотирьох аналізованих маршрутах МПТ Тернополя (№ 1, 13, 16, 20), де за 2021–2024 роки зафіксовано 37 ДТП, у тому числі 2 зі смертельними наслідками і 30 з травмуванням. Розраховано коефіцієнти аварійності: $K_{ав} = 0,00286$ (маршрут № 16), 0,00279 (№ 1), 0,00238 (№ 20), 0,00203 (№ 13). Коефіцієнт тяжкості K_T перевищив порогове значення 0,10 на маршрутах № 16 ($K_T = 0,190$) та № 1 ($K_T = 0,175$), що кваліфікує їх як маршрути з підвищеною тяжкістю наслідків. Тому пропонується зосередити першочергові заходи безпеки саме на маршрутах № 16 і № 1, де концентрація ризику є найвищою.

4. Визначено рейтинг маршрутів за Індексом безпеки маршруту: маршрут № 16 отримав критичний рівень (ІБМ = 0,925), маршрут № 20 – підвищений (ІБМ = 0,788), маршрут № 1 – підвищений (ІБМ = 0,703), маршрут № 13 – низький (ІБМ = 0,250). Основними факторами критичного рівня маршруту № 16 є найстарший середній вік рухомого складу (11,8 років), найбільша кількість нерегульованих перехресть (9 од.), найнижча якість освітлення зупинок (бал 0,60) та пікова нерівномірність $K_{нер} = 1,77$. Тому пропонується розглядати маршрут № 16 як об'єкт пілотного впровадження комплексу заходів безпеки з подальшим масштабуванням на маршрути № 20 і № 1.

5. Обґрунтовано комплекс сучасних транспортних технологій для підвищення безпеки на пріоритетних маршрутах, що охоплює три взаємопов'язані напрями: (1) оснащення 33 автобусів систем ADAS (AEB,

FCW, LDW, DMS, DashCam) – прогнозне зниження ДТП на 20 %; (2) впровадження єдиної диспетчерської платформи на базі GPS/AVL/GTFS-RT для усіх перевізників; (3) локальна модернізація 5 інфраструктурних об'єктів (LED-освітлення, TSP-пріоритет, заїзні кишені). Прогнозне зниження ІБМ: для маршруту № 16 – з 0,925 до 0,684 (-26,1 %), для № 20 – з 0,788 до 0,612, для № 1 – з 0,703 до 0,548 (перехід із підвищеного до помірного рівня ризику). Тому пропонується реалізувати комплекс у два етапи: перший (2025–2026 рр.) – ADAS і диспетчеризація для маршруту № 16; другий (2026–2027 рр.) – розширення на маршрути № 20 і № 1.

6. Виконано аналіз економічної ефективності запропонованих заходів за методологією «витрати – вигоди» (CBA). Встановлено, що загальні інвестиційні витрати першого етапу становлять 8 322 тис. грн (орієнтовно 189 тис. євро), загальна річна вигода – 2 217 тис. грн (від зниження ДТП – 940 тис. грн/рік і економії пального – 1 277 тис. грн/рік), чистий річний грошовий потік – 1 804 тис. грн. Розраховані показники ефективності: термін простої окупності $PP = 4,61$ року; коефіцієнт $BCR = 1,33$ (перевищує мінімально допустимий рівень $BCR \geq 1,0$); чиста приведена вартість NPV за 6 років становить +1 534 тис. грн. Тому пропонується для зменшення терміну окупності залучити фінансування проекту ЕІВ «Ukraine Urban Road Safety», що забезпечить позитивне значення NPV вже у межах 5-річного горизонту планування та підвищить привабливість проекту для міського бюджету.

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Правова база охорони праці та безпеки на автомобільному транспорті

Охорона праці на підприємствах міського пасажирського транспорту регулюється комплексом нормативно-правових актів, що формують систему гарантій безпеки для водіїв та інших працівників галузі. Ключовим базовим актом є Закон України «Про охорону праці» (зі змінами 2024–2025 рр.), який встановлює принцип пріоритету збереження здоров'я і життя працівника над будь-якими виробничими інтересами [1]. Згідно зі статтею 14 оновленого Закону, роботодавець зобов'язаний формувати систему управління охороною праці (СУОП) на основі виявлення, оцінювання та усунення небезпечних і шкідливих виробничих факторів [2].

Для підприємств автомобільного транспорту основоположним галузевим документом є Правила охорони праці на автомобільному транспорті, затверджені наказом Міністерства соціальної політики України № 964 від 05.11.2018 р. (далі – Правила № 964) [3]. Ці Правила визначають вимоги до організації робочого місця водія, технічного стану транспортних засобів, режиму праці та відпочинку, проведення медичних оглядів і порядку розслідування нещасних випадків. Додатково діють Державні санітарні правила і норми при організації робочих місць водіїв автомобільного транспорту (наказ МОЗ України № 65 від 31.03.1994 р.) [4].

На рівні міжнародного регулювання праці водіїв ключову роль відіграє Регламент ЄС № 561/2006, норми якого Україна взяла на себе зобов'язання імплементувати в рамках Угоди про асоціацію з ЄС. Регламент встановлює: максимальний щоденний час керування – 9 год (до двох разів на тиждень – 10 год); безперервний час керування не може перевищувати 4,5 год, після

чого обов'язкова перерва не менше 45 хв; щотижневий час керування – не більше 56 год; скорочений щоденний відпочинок – не менше 9 год [5].

3.2 Аналіз умов праці та шкідливих виробничих факторів для водія автобуса

Праця водія міського автобуса відноситься до категорії важких і шкідливих за комплексом виробничих факторів, що впливають на стан здоров'я та рівень безпеки виконання роботи. Відповідно до ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Загальні положення» та Гігієнічної класифікації праці (наказ МОЗ України № 248 від 08.04.2014 р.), основними шкідливими та небезпечними виробничими факторами (ШНВФ) у роботі водія міського автобуса є такі [3; 4]:

Таблиця 3.1 – Шкідливі та небезпечні виробничі фактори у роботі водія міського автобуса

Група факторів	Конкретний фактор	Нормативне значення	Фактичний вплив
Фізичні	Вібрація загальна (кабіна автобуса)	≤ 92 дБ (ДСТУ ISO 2631)	95–102 дБ при зношеному амортизаторі
Фізичні	Шум в кабіні водія	≤ 80 дБА	82–88 дБА (старі ТЗ)
Фізичні	Несприятливий мікроклімат (влітку/взимку)	18–24 °С, W = 40–60 %	Відхилення при відсутності клімат-контролю
Хімічні	Вихлопні гази (СО, NO ₂ , сажа)	ГДК СО = 20 мг/м ³	Підвищений вміст у пробках
Психофізіологічні	Нервово-емоційне навантаження (трафік,	–	Пік у ранковий/вечірній годині

	пасажири)		
Психофізіологічні	Тривале статичне навантаження (сидяча поза)	Перерва кожні 2 год	Часто ігнорується
Ергономічні	Незручне робоче місце (сидіння, кермо)	Відповідність ДСТУ 7388:2013	Невідповідність у старих ТЗ

Особливу увагу слід приділити психофізіологічним факторам, оскільки саме вони є основною причиною помилок водіїв, що призводять до ДТП. Дослідження Vovk та Vovk (2021) [6] показують, що у пікові години (07:00–09:00 та 17:00–19:00) психофізіологічне навантаження на водія міського автобуса підвищується на 40–60 % порівняно з міжпіковим значенням. Це пов'язано з підвищеною щільністю трафіку, необхідністю дотримання розкладу та комунікацією з пасажирами одночасно. Стомлення водія є одним із провідних чинників ризику ДТП, що підтверджується статистикою аварійності, наведеною у підрозділі 2.1 [5].

Вібраційне навантаження на водіїв автобусів з терміном служби понад 10 років є особливо критичним: рівні загальної вібрації в кабіні перевищують допустимі значення на 3–10 дБ, що при тривалому впливі призводить до вібраційної хвороби та захворювань хребта. У структурі захворюваності водіїв МПТ на першому місці знаходяться захворювання опорно-рухового апарату (31 %), на другому – серцево-судинні захворювання (26 %), на третьому – захворювання нервової системи (18 %) [3; 4].

3.3 Організація охорони праці водіїв на КП «Тернопільелектротранс»

Відповідно до Правил № 964 та вимог Закону «Про охорону праці», на КП «Тернопільелектротранс» функціонує служба охорони праці, яка виконує такі обов'язкові функції: (1) проведення вступного, первинного, повторного

та позапланового інструктажів з охорони праці для водіїв; (2) організацію обов'язкових попереднього і щорічних медичних оглядів; (3) передрейсовий медичний огляд водіїв – перевірку артеріального тиску, частоти пульсу, стану зіниць та відсутності алкоголю у видихуваному повітрі; (4) контроль режиму праці та відпочинку [1; 3].

Передрейсовий огляд є обов'язковим відповідно до пункту 3.2 Правил № 964 і виконується медичним персоналом підприємства. Водій допускається до рейсу лише за умови: артеріальний тиск у межах 100–140/60–90 мм рт. ст.; пульс 60–90 уд/хв; відсутність алкоголю (проба алкотестером нульова); відсутність видимих ознак хворобливого стану. У разі виявлення порушень водій відсторонюється від рейсу з направленням до медичного закладу [3; 7].

Таблиця 3.2 – Система інструктажів з охорони праці для водіїв МПТ

Вид інструктажу	Хто проводить	Коли проводиться	Тривалість, год
Вступний	Фахівець з ОП	При прийомі на роботу	2–4
Первинний на робочому місці	Керівник підрозділу (диспетчер)	Перед початком самостійної роботи	4–8
Повторний	Керівник підрозділу	Не рідше 1 разу на 6 місяців	2–4
Позаплановий	Керівник підрозділу / фахівець ОП	При зміні умов праці, після ДТП, НС	За ситуацією
Цільовий	Фахівець з ОП	Перед виконанням разової роботи	1–2

Важливим елементом системи охорони праці є забезпечення водіїв засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). Відповідно до нормативних вимог, водії автобусів забезпечуються: спецодягом (комбінезон або костюм); взуттям зі захисними властивостями; захисними рукавицями (для технічного

обслуговування ТЗ); сигнальним жилетом (при роботі поза кабіною на проїжджій частині); аптечкою першої допомоги в кабіні автобуса [3].

3.4 Ергономіка робочого місця водія та заходи зниження стомлюваності

Ергономічна організація робочого місця водія автобуса є одним із ключових факторів профілактики виробничого травматизму та підвищення безпеки перевезень. Відповідно до ДСТУ 7388:2013 «Ергономіка. Антропометричні вимоги до проектування робочих місць водіїв транспортних засобів» та вимог Правил № 964, робоче місце водія автобуса має відповідати таким параметрам [3; 4]:

- сидіння повинно мати плавне регулювання по горизонталі (± 150 мм), висоті (100–200 мм) та куту нахилу спинки (95–115°);
- кермо повинно регулюватися по нахилу та вильоту; зусилля на кермі – не більше 120 Н при наявності підсилювача;
- органи управління (педалі, важелі) розташовуються у зоні досяжності без значного нахилу корпусу;
- пряма видимість без мертвих зон – забезпечується зовнішніми та внутрішнім дзеркалами;
- рівень освітленості приладового щитка – 15–75 люкс;
- температура повітря в кабіні – 18–24 °С; вентиляція – не менше 30 м³/год на особу.

Практичним інструментом зниження стомлюваності водіїв є система DMS (Driver Monitoring System), що входить до складу пропонованого ADAS-комплекту (підрозділ 2.3). DMS реєструє частоту кліпань повік, положення голови та кут погляду водія у режимі реального часу; при виявленні ознак мікросну (тривалість кліпання понад 0,5 с) або відволікання уваги система подає звуковий та тактильний сигнал, а дані фіксуються у

бортовій телематиці для аналізу диспетчером [8]. Упровадження DMS разом із суворим дотриманням режиму праці та відпочинку відповідно до Регламенту ЄС № 561/2006 є комплексною відповіддю на проблему стомлення водія.

3.5 Пожежна безпека на автотранспортному підприємстві

Пожежна безпека на КП «Тернопільелектротранс» регулюється Законом України «Про пожежну безпеку», НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» та ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [9; 10]. За класифікацією вибухопожежної і пожежної небезпеки гаражно-паркувальні та ремонтні приміщення автотранспортних підприємств відносяться до категорії В (пожежонебезпечні), оскільки в них зберігаються та використовуються горючі рідини (дизельне пальне, мастильні матеріали) з температурою спалаху понад 61 °С [9].

Відповідно до вимог пожежної безпеки на підприємстві обов'язковими є: (1) наявність автоматичної пожежної сигналізації (АПС) у всіх приміщеннях; (2) системи димовидалення зі штучним спонуканням тяги у гаражних приміщеннях; (3) первинні засоби пожежогасіння з розрахунку один вуглекислотний вогнегасник ВВК-5 на кожні 50 м² площі та один порошковий ВП-6 на кожні два ТЗ; (4) евакуаційні виходи шириною не менше 1,0 м, позначені фотолюмінесцентними знаками; (5) заземлення паливно-мастильного обладнання; (6) щорічний інструктаж усіх працівників з пожежної безпеки [9; 10].

Таблиця 3.3 – Первинні засоби пожежогасіння для автобусного депо КП «Тернопільелектротранс»

Місце розташування	Тип вогнегасника	Кількість, шт.	Клас пожежі
Кабіна кожного автобуса	ВП-2 (порошковий)	1	А, В, С
Гаражна зона (на 50 м ²)	ВВК-5 (вуглекислотний)	1	В, С
Ремонтна зона (на 2 підйомники)	ВП-6 (порошковий)	1	А, В, С
Мийна зона	ВВК-5	2	В, С
Адміністративний корпус	ВВК-2	1 на 50 м ²	А, С
Паливозаправна станція	ВП-10 + пісок (ящик 0,5 м ³)	2 + 2	В

Кожен автобус в обов'язковому порядку обладнується вогнегасником та аптечкою першої медичної допомоги згідно з вимогами ПДР України та Правил № 964. Водії щорічно проходять протипожежний інструктаж та практичне навчання застосуванню первинних засобів пожежогасіння. На підприємстві розроблено і затверджено план евакуації транспортних засобів і персоналу у разі виникнення пожежі, який актуалізується не рідше одного разу на рік [9].

3.6 Безпека руху на маршрутах та заходи з охорони навколишнього середовища

Безпека дорожнього руху на маршрутах МПТ Тернополя забезпечується комплексом організаційних і технічних заходів. З організаційного боку це включає: щозмінний технічний огляд ТЗ перед виїздом (перевірка гальм, рульового управління, ходових вогнів, тиску в

шинах); ведення маршрутного листа з фіксацією часу виходу на лінію і повернення; дотримання нормованих швидкостей руху (в місті – 50 км/год, поблизу зупинок – 20 км/год); заборону використання мобільного телефону водієм під час руху [1; 3].

З точки зору охорони навколишнього середовища, міський автобусний транспорт є одним із основних джерел викидів забруднювальних речовин у міське повітряне середовище. Відповідно до вимог Закону України «Про охорону атмосферного повітря» та нормативів екологічних класів Євро-5 / Євро-6, транспортні засоби, що допускаються на міські маршрути, повинні відповідати мінімальному стандарту Євро-3 (для існуючого парку) та Євро-5 для нових закупівель [11]. 69 автобусів, придбаних у 2022–2024 рр., відповідають стандарту Євро-5–6, що суттєво знижує питомі викиди CO, NO_x та твердих часток порівняно з застарілим парком.

Очікуваний екологічний ефект від оновлення 69 одиниць парку та впровадження GPS-моніторингу (зниження холостого ходу та перевитрати пального на 15 %) оцінюється як зменшення питомих викидів CO₂ приблизно на 12–15 % в розрахунку на 1 пасажиро-кілометр. У перспективі до 2030 року Програма розвитку МПТ Тернополя на 2024–2026 рр. передбачає поступовий перехід до електробусів, що повністю усуне прямі викиди забруднювачів від відповідних маршрутів і позитивно позначиться на якості повітря у місті [11; 12].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що система міських пасажирських перевезень м. Тернополя функціонує в умовах високої інтенсивності руху, змішаної форми власності перевізників і часткового оновлення рухомого складу, що зумовлює нерівномірність якості транспортного обслуговування та неоднорідний рівень безпеки на різних маршрутах. Тому пропонується надалі розглядати міський громадський транспорт як єдину систему, де вимоги до безпеки, якості й цифровізації є однаковими для комунальних і приватних перевізників.
2. Виявлено, що КП «Тернопільелектротранс» має сформовану організаційну структуру управління, стабільний обсяг пасажирських перевезень та веде активну політику оновлення парку за рахунок закупівлі автобусів екологічних класів Євро-5/Євро-6. Тому пропонується використати це підприємство як базову платформу для впровадження інтелектуальних транспортних систем (телематика, GTFS-RT, електронний квиток) і подальшого поширення набутого досвіду на інших перевізників міста.
3. Розраховано техніко-експлуатаційні показники роботи основних маршрутів, що дало змогу встановити наявність істотної нерівномірності пасажиропотоку та навантаження рухомого складу за годинами доби, а також перевантаженість окремих ділянок вулично-дорожньої мережі. Тому пропонується здійснювати регулярний моніторинг пасажиропотоків і періодичне коригування схем маршрутів та інтервалів руху з урахуванням фактичного попиту.
4. Виявлено, що саме маршрути № 16, № 20 та № 1 є пріоритетними з точки зору аналізу безпеки, оскільки на них зафіксовано найбільшу кількість ДТП, «чорних точок» та підвищені значення коефіцієнтів аварійності й тяжкості наслідків. Тому пропонується розглядати ці

- маршрути як пілотні при впровадженні комплексних заходів підвищення безпеки руху.
5. Обґрунтовано й розраховано Індекс безпеки маршруту (ІБМ) як інтегральний показник, що враховує сім нормованих факторів ризику (стан інфраструктури, вік і технічний стан рухомого складу, організацію руху, інтенсивність пасажиропотоку тощо). Тому пропонується використовувати ІБМ для порівняння рівня безпеки маршрутів, формування рейтингу ризику та пріоритизації бюджетних і інвестиційних рішень у сфері безпеки міських перевезень.
 6. Розроблено комплекс заходів із впровадження сучасних транспортних технологій, що включає ADAS-системи на автобусах, єдину диспетчерську платформу на основі GPS/AVL/GTFS-RT та локальну модернізацію інфраструктури на небезпечних ділянках, що в сукупності забезпечує зниження ІБМ на 15–26% залежно від маршруту. Тому пропонується впроваджувати заходи не фрагментарно, а як взаємопов'язаний пакет технологічних і інфраструктурних рішень.
 7. Встановлено, що вартість першого етапу реалізації комплексу заходів (оснащення 33 автобусів ADAS, впровадження диспетчерської платформи та модернізація п'яти інфраструктурних об'єктів) становить орієнтовно 8,3 млн грн, тоді як сумарна річна вигода від зменшення ДТП та економії пального досягає близько 2,2 млн грн. Тому пропонується реалізовувати проект у форматі поетапного впровадження з залученням коштів міського бюджету, міжнародних фінансових організацій (зокрема ЕІВ) та приватних інвесторів.
 8. Визначено, що за 5-річним горизонтом оцінки коефіцієнт «вигода/витрати» (BCR) для запропонованого комплексу дорівнює приблизно 1,33, термін простої окупності становить 4,6 року, а чиста приведена вартість стає позитивною вже на 6-му році експлуатації. Тому пропонується віднести комплекс заходів до економічно

- доцільних інвестицій у безпеку міського пасажирського транспорту з пріоритетом реалізації у середньостроковій перспективі.
9. Проаналізовано умови праці водіїв міських автобусів і встановлено, що головними шкідливими виробничими факторами є підвищений рівень шуму та вібрації, несприятливий мікроклімат, високий рівень нервово-емоційного напруження та статичні навантаження, що сприяють розвитку професійних захворювань. Тому пропонується посилити заходи з охорони праці та ергономічної оптимізації робочих місць водіїв, включаючи модернізацію сидінь, систем опалення та вентиляції, а також впровадження систем моніторингу стану водія.
 10. Встановлено, що належна організація пожежної безпеки (оснащення приміщень АПС, системами димовидалення, вогнегасниками, розробка планів евакуації) та підготовка персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях є необхідною умовою безпечного функціонування автотранспортного підприємства. Тому пропонується підтримувати системи пожежного захисту у працездатному стані, проводити регулярні навчання та тренування персоналу, а також інтегрувати вимоги пожежної безпеки у стандарти експлуатації рухомого складу.
 11. Оцінено екологічні аспекти роботи міського автобусного транспорту й показано, що оновлення частини парку до екологічних стандартів Євро-5/Євро-6 та використання телематики дають змогу знизити питомі викиди шкідливих речовин і CO₂ приблизно на 12–15% у розрахунку на 1 пасажиро-кілометр. Тому пропонується продовжити політику оновлення парку з орієнтацією на низько- та беземісійний транспорт (електробуси, тролейбуси), поєднуючи це з заходами з пріоритезації громадського транспорту вулично-дорожньою мережею.
 12. Узагальнюючи результати дослідження, встановлено, що запропонований комплекс організаційних, технічних, інфраструктурних та ергономічних рішень дозволяє одночасно

підвищити рівень безпеки пасажирських перевезень, зменшити негативний вплив транспорту на довкілля та забезпечити прийнятну економічну ефективність проєкту. Тому пропонується розглядати розроблені у роботі підходи як методичну основу для планування розвитку системи міського громадського транспорту Тернополя і можливу базу для подальших наукових досліджень у сфері транспортних технологій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Drożdż, W., Vovk, Y., Widera, K., Łopatka, A., & Gawlik, A. (2023). Sustainability assessment of the energy generation systems. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 8(2), 249-258.
2. Elvik, R., Høyе, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (2020). Economic efficiency evaluation (E³) of road safety measures. *European Transport Safety Council*.
3. European Commission. (2010). *Regulation (EC) No 561/2006 on the harmonisation of certain social legislation relating to road transport*.
4. European Commission. (2021). *Cost–benefit analysis in the field of road safety*. Directorate-General for Mobility and Transport.
5. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*. (n.d.). Aims and scope. <https://www.csr-pub.eu>
6. Khomenko, L., & co-authors. (2025). Environmental aspect of urban transport system efficiency. *Municipal Economy of Cities*, 1(189), 482–491. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-482-491>
7. Krivolapova, O. (2018). A review of methods for assessing the potential risks in public transport. In *Proceedings of the International Conference on Information Technology and Management* (pp. 660–667). <https://doi.org/10.31410/itema.2018.660>
8. Lyashuk, O. L., Vovk, Y. Y., Dzyura, V. O., Tson, O. P., Babii, M. V., Matviishyn, A. Y., & Havron, N. B. (2024). *Методичні вказівки для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра (ТНТУ)*.
9. Ohoronapraci.com.ua. (2021). Пожежна безпека під час улаштування гаражів (паркінгів). *Охорона праці*.
10. Ohoronapraci.com.ua. (2024). Робоче місце водія: вимоги з охорони праці. *Охорона праці*.
11. Racio. (2025). New Ukrainian OHS law: Key changes for employers. *Racio Legal*.

12. Salayev, E. (2025). Public transport risk assessment through fault tree analysis (Baku city example). *Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 11(1).
13. Vovk, I., Tson, O., Vovk, Y., Vovk, Y., & Rozhko, N. (2024). Mobility as a Service for tourism: Challenges and opportunities for meeting the needs of tourists in urban environments. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 9(2), 137-149.
14. Vovk, Y. Y., Vovk, I. P., Dzyvak, T. R., Korol, O. O., & Khmil, P. D. (2023). Socio-ecological demands in freight forwarding: sustainability and responsibility. *Збірник матеріалів*, 65.
15. Vovk, Y., Tson, O., Kicinski, M., Vovk, I., Dzyura, V., & Vovk, Y. (2025). Microtransportation: A sustainable solution for urban mobility challenges. *Journal of Chinese Architecture and Urbanism*, 6561.
16. Vovk, Y., Vovk, I., Plekan, U., Tson, O., & Oleksyuk, V. (2025). Sustainable and smart logistics centers: Challenges and opportunities for Ukraine's transport system. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 10(1), 116–124. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2025.10-1.8>
17. Вовк, Ю. Я., Вовк, І. П., & Дзюбановська, Л. В. (2024). Інтеграція цифрових карт в інтелектуальні системи контролю швидкості: проблеми та можливості для автомобільної безпеки. Розвиток сталої мобільності: глобальні та локальні рішення: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кропивницький, 15 листопада 2024 року). Кропивницький, 2024. 223 с., 40.
18. ДБН В.1.1-7:2016. (2016). *Пожезна безпека об'єктів будівництва*. Мінрегіонбуд України.