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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності організації вулично-дорожньої мережі міста Вінниці при використанні засобів індивідуальної мобільності»

Виконав: здобувач 2-го курсу,
групи 1ТТ-24м спеціальності
275 – Транспортні технології (за видами),
спеціалізація 275.03 – Транспортні
технології (на автомобільному транспорті)
Освітньо-професійна програма –
Транспортні технології на автомобільному
транспорті
Кулик О. М.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ
Галущак О.О.
«04» грудня 2025 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. АТМ
Сухоруков С.І.
«08» 12 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доц. Цимбал С.В.
«18» 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

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

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 27 – Транспорт
Спеціальність 275 – Транспортні технології (за видами)
Спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
Освітньо-професійна програма – Транспортні технології на автомобільному транспорті

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.
_____
«25» 09 **2025 року**

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Кулику Олександру Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Підвищення ефективності організації вулично-дорожньої мережі міста Вінниці при використанні засобів індивідуальної мобільності
Керівник роботи Галущак Олександр Олександрович, к.т.н., доцент,
затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.

Строк подання здобувачем роботи: 30.11.2025 р.

Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; район експлуатації транспортних засобів – Україна; досліджувані транспортні засоби – засобів індивідуальної мобільності; статистика аварійності засобів індивідуальної мобільності; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

Зміст текстової частини:
1 Тенденцій застосування засобів індивідуальної мобільності у місті Вінниця.
2 Використання засобів індивідуальної мобільності у міських транспортних системах.
3 Математична модель оцінки аварійності об'єктів на міській вулично-дорожній мережі.
4 Система підвищення ефективності організації дорожнього руху для засобів індивідуальної мобільності і економічна ефективність.

Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1-3 Тема, мета та завдання дослідження.
4 Тенденції застосування засобів індивідуальної мобільності у світі та місті Вінниця.
5 Переваги та недоліки використання засобів індивідуальної мобільності.
6 Використання засобів індивідуальної мобільності у міських транспортних системах

7 Загальна характеристика міської інфраструктури для руху засобів індивідуальної мобільності.

8 Оцінка використання засобів індивідуальної мобільності на міській вулично-дорожній мережі як транспорту останнього кілометра.

9 Оцінка використання засобів індивідуальної мобільності на міській вулично-дорожній мережі як транспорту останнього кілометра.

10 Оцінка використання засобів індивідуальної мобільності на міській вулично-дорожній мережі як транспорту останнього кілометра.

11 Дослідження аварійності за участю засобів індивідуальної мобільності на об'єктах міської вулично-дорожньої мережі.

12 Статистична ймовірність ДТП залежно від об'єкта вулично-дорожньої мережі за 2021–2024 роки.

13 Статистична ймовірність виникнення дорожньо-транспортних подій на об'єктах міської вулично-дорожньої мережі.

14 Елементи математичного моделювання.

15 Інтегральний економічний ефект від використання засобів індивідуальної мобільності в межах міста Вінниця.

16 Основні наукові і практичні результати, викладені в роботі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Галущак О.О., доцент кафедри АТМ	25.09.25	1.12.2025
Визначення ефективності запропонованих рішень	Макарова Т.В., доцент кафедри АТМ	17.11.25	24.11.25

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	25.09-29.09.2025	викон
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	30.09-20.10.2025	викон
3	Обґрунтування методів досліджень	30.09-20.10.2025	викон
4	Розв'язання поставлених задач	21.10-10.11.2025	викон
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	11.11-16.11.2025	викон
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	17.11-24.11.2025	викон
7	Нормоконтроль МКР	25.11-30.11.2025	викон
8	Попередній захист МКР	01.12-04.12.2025	викон
9	Рецензування МКР	05.12-09.12.2025	викон
10	Захист МКР	15.12.2025-17.12.2025	викон

Здобувач (підпис) Кулик О. М.

Керівник роботи (підпис) Галущак О.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 656.1.5

Кулик О. М. Підвищення ефективності організації вулично дорожньої мережі міста Вінниці при використанні засобів індивідуальної мобільності Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності – Транспортні технології (за видами), спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті), Освітньо професійна програма – Транспортні технології на автомобільному транспорті. Вінниця: ВНТУ, 202 с.

На укр. мові. Бібліогр.: назв; рис.: ; табл.

У магістерській кваліфікаційній роботі вирішується науково практична задача, яка полягає в підвищенні безпеки учасників дорожнього руху з урахуванням використання засобів індивідуальної мобільності на міській вулично дорожній мережі.

Графічна частина складається з 1 плакатів

Ключові слова: електросамокат, легкий електричний транспорт, дорожній рух, засоби індивідуальної мобільності, транспортні системи

КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ ТА
Н Т У
ТРАНСПОРТНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1 ТЕНДЕНЦІЙ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ У МІСТІ ВІННИЦЯ

Використання засобів індивідуальної мобільності у світі

Використання засобів індивідуальної мобільності в Україні

Основні проблеми використання засобів індивідуальної мобільності в міських транспортних системах та шляхи їх рішення

Прогнозування кількості дорожньо транспортних пригод з участю засобів індивідуальної мобільності

Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2 ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ У МІСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Аналіз ринку продажів засобів індивідуальної мобільності

Загальна характеристика міської інфраструктури для руху засобів індивідуальної мобільності

Оцінка використання засобів індивідуальної мобільності на міський вулично дорожній мережі як транспорту останнього кілометра

Висновки до розділу 2

РОЗДІЛ 3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ АВАРІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ НА МІСЬКІЙ ВУЛИЧНО ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ

Дослідження аварійності за участю засобів індивідуальної мобільності на об'єктах міський вулично дорожньої мережі

Статистична ймовірність виникнення дорожньо транспортних подій на об'єктах міський вулично дорожньої мережі

Висновки до розділу 3

РОЗДІЛ СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ДЛЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Принципи стійкої міської транспортної системи

Інтелектуальна система підвищення ефективності організації дорожнього руху для ЗІМ в міських транспортних системах

.3 Інтегральний економічний ефект від впровадження інформаційно цифровий (інтелектуальної) системи

Висновки до розділу

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А (ОБОВ'ЯЗКОВИЙ) ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ДОДАТОК Б. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

ВСТУП

Актуальність теми. Починаючи з 2017 року у транспортні процеси активно впроваджуються засоби індивідуальної мобільності (ЗІМ). У великих містах України – Києві, Львові, Одесі, Дніпрі – частка користувачів ЗІМ щороку стрімко зростає. Обласні центри також не залишаються осторонь: завдяки численним перевагам цих засобів (економія часу, зменшення витрат на поїздки, можливість уникати зайвих контактів у громадському транспорті тощо) дедалі більше громадян обирають саме ЗІМ для щоденних переміщень.

Поява ЗІМ у міських транспортних системах зумовлена низкою переваг: високою маневровістю, зручністю у використанні та паркуванні, можливістю швидкого пересування на короткі дистанції (до 5 км), а також можливістю дотримання соціальної дистанції, що стало особливо актуальним у період пандемії COVID

Стрімке зростання популярності ЗІМ пов'язане з активним залученням ЗІМ у ключові сегменти попиту: доставку їжі, продуктів, товарів електронної торгівлі, посилок і документів, а також для виконання іншої транспортної роботи. У сукупності з недостатньою адаптацією міської інфраструктури до нового виду транспорту це спричиняє збільшення кількості дорожньо транспортних пригод (ДТП) за участю користувачів ЗІМ

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

Мета і завдання роботи Підвищення безпеки учасників дорожнього руху з урахуванням використання засобів індивідуальної мобільності на міській вулично дорожній мережі

Для досягнення цієї мети визначені наступні завдання:

проведення досліджень, спрямованих на оцінку показників аварійності з участю засобів індивідуальної мобільності

аналіз міський вулично дорожній мережі для визначення можливостей рухи засобів індивідуальної мобільності

математичне моделювання оцінки аварійності об'єктів дорожньої інфраструктури у міській транспортній системі

визначення інтегрального економічного ефекту від застосування результатів дослідження в міській транспортній системі

Об'єкт дослідження – міська вулично дорожня мережа

Предмет дослідження – рух засобів індивідуальної мобільності по міській вулично дорожній мережі

Новизна одержаних результатів

залежність між часовим періодом та кількістю дорожньо транспортних подій з участю засобів індивідуальної мобільності, яка дозволила вдосконалити мультиплікативну модель для виконання прогнозу дорожніх аварій;

математична модель прогнозування кількості ДТП з участю засобів індивідуальної мобільності на об'єктах дорожній інфраструктури в міський транспортної системі

Апробація результатів роботи. Частина результатів роботи доповідались та обговорювались на Всеукраїнській науково практичній Інтернет конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (Вінниця: ВНТУ, 202

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

РОЗДІЛ 1
ТЕНДЕНЦІЙ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ У МІСТІ ВІННИЦЯ

Використання засобів індивідуальної мобільності у світі

Масове поширення засобів індивідуальної мобільності (ЗІМ) на вулично дорожній мережі (ВДМ) є загальної проблемою для більшості держав і вимагає якнайшвидшого її рішення. Головним питанням є підвищення захищеності всіх учасників дорожнього руху при стрімкому наростаючий попит на дані засоби і, відповідно, збільшення їх частки в транспортному потоці

Органи дорожнього управління ряду країн активно реалізують заходи, спрямовані на зниження кількості ДТП за участю ЗІМ. У країнах Європи такі засоби все частіше сприймаються як елемент транспортної системи транспорт «останньої милі» вони використовуються для короткострокових поїздок від місця проживання до робочого місця, найближчої зупинки громадського транспорту або станції метро.

Прагнення держав ЄС скоротити частку транспортних засобів із двигунами внутрішнього згоряння та перейти до екологічно чистих альтернатив – електромобілів, електробусів та інших видів електричного транспорту – загалом сприяє активному зростанню популярності ЗІМ серед міського населення. Це призводить до збільшення кількості користувачів електросамокатів, гіроскутерів та аналогічних пристроїв на європейському континенті.

Досвід регулювання та інтеграції ЗІМ у міську інфраструктуру, накопичений за кордоном, становить значний інтерес для застосування у вітчизняних умовах. Слід зазначити, що тенденція масового використання ЗІМ сформувалася не лише в країнах ЄС, а й у державах із розвиненою транспортною інфраструктурою, де вже виникли серйозні виклики, пов'язані з безпекою пішоходів та організацією руху в умовах змішаного транспортного потоку.

Вивчення та адаптація передових практик зарубіжних держав, а також

пошук оптимальних рішень з урахуванням національних особливостей можуть стати ключовим кроком у формуванні безпечного й ефективного міського транспортного середовища. У рамках цього дослідження були розглянуті підходи до оцінювання ефективності використання ЗІМ у різних країнах світу.

Дослідження, проведене авторським колективом з Університету Південного Меріленду в Далласі (штат Техас, США) [3], подає статистичні дані за двома основними показниками: час, витрачений на подолання маршруту, та пройдена відстань для засобів індивідуальної мобільності й велосипедів.

Наприклад, середня тривалість поїздок на велосипеді становила хвилини, тоді як середня тривалість поїздок на ЗІМ – 10,02 хвилини. Середня дистанція для поїздок на велосипеді становила 2,34 км, тоді як для ЗІМ – 1,48 км.

Таблиця Статистичні дані тривалості поїздки і пройденого відстані н велосипедах і ЗІМ

Модальність	Мінімум	Середнє значення	Максимум
Тривалість (велосипед)	2,00 хв	14,46 хв	90,00 хв
Тривалість (ЗІМ	2,00 хв	11,02 хв	90,00 хв
Відстань (велосипед)	0,03 км	2,57 км	16 км
Відстань (ЗІМ	0,03 км	1,64 км	16 км

Дослідження, пов'язані з аналізом пройденої відстані та тривалості поїздок, також проводили вчені Ор Каспі, Майкл Дж. Смарт та Роберт Б. Ноланд [4]. У період із 16 серпня 2018 року до 28 лютого 2019 року автори здійснювали збір статистичних даних, спрямованих на дослідження кількості поїздок на ЗІМ.

У вихідні та святкові дні середня кількість поїздок становила 12 277 на добу, тоді як у будні цей показник був нижчим – у середньому 10 895 поїздок на

день. Як показано в табл 2, середня тривалість однієї поїздки становила 6,6 хвилини, середня пройдена відстань – 971 м, а середня швидкість – 8,4 км/год.

Таблиця Статистика поїздок за період 16.08.2018

	Будні	Вихідні та свята	Ранок –	Вечір (–
Поїздки, прим.				
Відсоток поїздок, %				
Середня кількість поїздок на день, шт.				
Медіана (відстань поїздки), м.				

Погодинна активність поїздок у будні дні характеризується ранковим піком близько 9:00, невеликим спадом о 10:00, після чого спостерігається підвищене використання ЗІМ у проміжку між 12:00 та 18:00. У вихідні та святкові дні часовий розподіл поїздок має один виражений пік – близько 15:00. Такі дані свідчать, що засоби індивідуальної мобільності переважно застосовуються для поїздок на роботу в будні, але також активно використовуються й для інших потреб протягом дня.

Автор [5] провів дослідження з метою визначення основних цілей пересування користувачів ЗІМ. Для аналізу було використано п'ятирічне загальнонаціональне репрезентативне опитування щодо переміщень на дорогах Німеччини, доповнене даними кількох регіональних досліджень, зокрема для міста Мюнхен. Згідно з результатами, структура цілей поїздок виглядає так: 33% припадає на поїздки у вільний час, 24% – на поїздки, пов'язані з покупками, 19% – на поїздки на роботу, 12% – на виконання доручень. Ділові поїздки становлять лише 5% від загальної кількості, тоді як короткострокові поїздки –

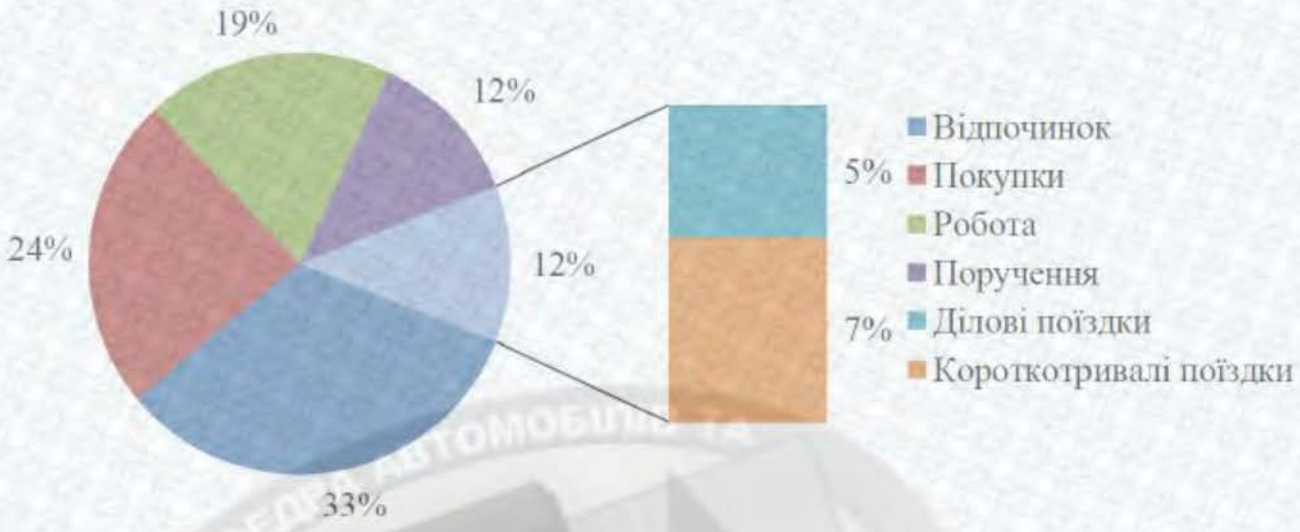


Рисунок – Цілі поїздок на засобах індивідуальної мобільності серед населення м. Мюнхен

У табл. 3 наведено основні статистичні дані щодо поїздок на електросамокатах у різних містах США та Канади, включаючи мінімальну й максимальну кількість поїздок, середню тривалість, швидкість і відстань.

Таблиця Зведена статистика по поїздкам з використанням електросамокатів

Місто	Число поїздок, шт.		Середнє час поїздки, хв.	Макс. швидкість, км/год	Середня швидкість, км/год	Макс. дистанція, км.	Середня дистанція, км
	хв.	хв.					
Остін							
Калгарі							
Чикаго							
Індіанаполіс							
Луїсвілль							
Міннеаполіс							

Загалом середні відстані поїздок коливаються від 8,8 км (Індіанаполіс) до 10,2 км (Міннеаполіс), тоді як максимальні значення досягають 24–40 км.

Подані дані демонструють важливість аналізу просторових і часових характеристик для глибшого розуміння моделей використання електросамокатів у різних міських умовах.

У період з 1.10.2018 р. до 1.10.2019 р. було проаналізовано інциденти з травмами, пов'язаними з використанням стоячих моторизованих самокатів. Робота виконана на базі відділення невідкладної допомоги міста Скоттсдейл, штат Арізона (США) [8]. Основною метою було вивчення характеру травм, пов'язаних із використанням ЗІМ. Результати дослідження наведено в табл. 4.

Таблиця – Травми, пов'язані з використанням електросамокатів, їх тяжкість і результати звернення в відділення невідкладної допомоги [7]

Тип травми і місце поразки	Кількість, %
переломи, з них:	
голова, шия	
рука	
нога	
рана, з них:	
голова, особа, шия	
рука	
торс	
нога	
черепно мозкові травми	
удар головою	
крововилив у речовину головного мозку	

Продовження таблиці 1.4

тяжкість травми по шкалою тяжкості ушкоджень	
торс	
легка (1–	
середня (9–	
важка (16–	
критична (25–	
Рівень пріорітизації травми	
зелений (низький або без пріоритету)	
жовтий (помірний пріоритет)	
червоний (високий пріоритет)	
Результат звернення у відділення невідкладної допомоги	
доставлений в звичайне відділення	
відправлений додому	
операційна	
відділення інтенсивної терапії	
покинув лікарню всупереч порадам лікарів	

На підставі досліджень, була отримана таблиця розподілу місць подій з участю ЗІМ, а також виконаний аналіз травм, пов'язаних з використанням електросамокатів в Сінгапурі.

Згідно з табл. 1.5, майже половина всіх травм (47%) сталася у центральній частині міста та на території кампусу Техаського університету. Більшість інцидентів (55%) відбулася на проїзній частині, а значна частка (33%) – на тротуарі. У 16% випадків травми були пов’язані з участю моторизованих транспортних засобів, у тому числі зіткненнями з автомобілями (10%). Додаткові чинники, такі як рельєф місцевості, свідчать, що переважна частина постраждалих рухалася по рівній поверхні (65%), рідше – спускалася під ухил (24%) або піднімалася вгору (6%). Дані табл. 5 наочно демонструють розподіл

місць пригод, типи дорожнього покриття та інші характеристики, що можуть бути корисними під час аналізу факторів ризику при користуванні електросамокатами.

Таблиця Розподіл параметрів ДТП з участю ЗІМ

місце розташування	*%, кількість постраждалих*
центральна частина міста	
кампус університету	
місце події	
проїжджа частина	
тротуар	
велосипедна доріжка/пішохідна доріжка	8 людина
паркування	4 людини
гараж	1 людина
невідомо	2 людини
залучення інших учасників руху	
участь моторизованого ТС	
зіткнення з автомобілем	
наїзд на бордюр	
стаціонарні (Стовпи, люки)	
додаткові характеристики	
рівна поверхня	
спуск під ухил	
підйом у гору	

У дослідженнях [10–12] ключовим підходом до оцінки змін у кількості поїздок на ЗІМ є використання географічно зваженої регресії, яка дає змогу враховувати вплив локальних, а не глобальних незалежних змінних, що забезпечує більш повне уявлення про реальні моделі використання ЗІМ.

Автори [11] подають результати оцінювання змін кількості поїздок на ЗІМ з урахуванням таких факторів:

– частки землекористування;

– середньорічного доходу населення;

– чисельності студентів, які проживають у досліджуваному районі.

Зеленим кольором у табл. 6 позначено позитивні значення коефіцієнтів, а червоним – негативні.

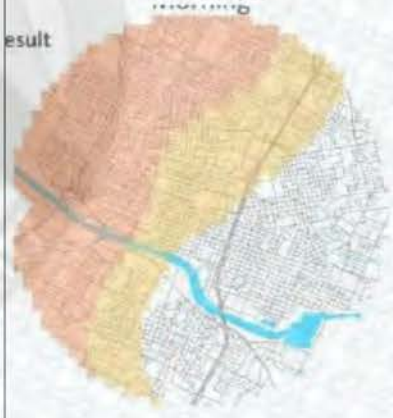
Дослідження проведено на прикладі міста Остін, штат Техас. Використання земельних ділянок під житлову забудову позитивно впливає на кількість користувачів сервісу на південь і захід від центру міста. Це може свідчити, що користувачі ЗІМ у цих районах рідше застосовують їх для повернення додому або проживання в зонах зі змішаним типом землекористування.

Показники коефіцієнтів доходу в обох моделях загалом подібні: більш заможні райони (центральний, північний та західний) мають нижчий рівень використання ЗІМ, тоді як райони з нижчими доходами демонструють вищу частку поїздок. У районі Техаського університету середній дохід низький, зате частка студентів – одна з найвищих.

В обох моделях використання ЗІМ у північній та західній частинах центру прямо корелює з доходом: із підвищенням доходу активність користувачів ЗІМ зменшується. Натомість у районах з великою часткою студентів, особливо у північно східній частині міста, кількість поїздок істотно вища. Там же, де частка студентів нижча, як у західній частині міста, поїздок менше.

Порівняння моделей дозволяє припустити, що саме студенти є основною групою користувачів ЗІМ, а значна частина ранкових поїздок здійснюється саме ними.

Таблиця Коефіцієнти моделі географічно зваженої регресії для зв'язки між поїздками на ЗІМ та соціодемографічними характеристиками

Весь день	**Частка землекористування** Зміна кількості поїздок в результаті збільшення частки землекористування під житлову забудову на 0,1 -10% – -3% -3% – 4% 4% – 11% 11% – 18% 18% – 25%	Ранок
Весь день	**Середньорічний дохід** Зміна кількості поїздок в результаті збільшення середньорічного доходу на млн. грн -14% – -10% -10% – -6% -6% – -2% -2% – 4% 4% – 10%	Ранок 
Весь день	**Чисельність студентів** Зміна кількості поїздок в результаті збільшення частки учнів на 0,1 (10%) -44% – -30% -30% – -16% -16% – -2% -2% – 12% 12% – 26%	Ранок

У дослідженні [12] показано, як у місті Стамбул міський департамент транспорту розробив керівні принципи щодо проєктування та управління простором на узбіччі дороги. Їхня мета зробити пішохідний рух безпечним, привабливим і зручним видом пересування. Запропоновані методи мають

забезпечити можливість пішоходам безперешкодно діставатися до місць призначення, зокрема до паркувальних зон засобів індивідуальної мобільності, зупинок громадського транспорту, місць роботи, зон відпочинку, шкіл та житлових будинків.

Усвідомивши таку потребу, у Стамбулі було ухвалено рішення поділити фасад тротуару на три функціональні зони:

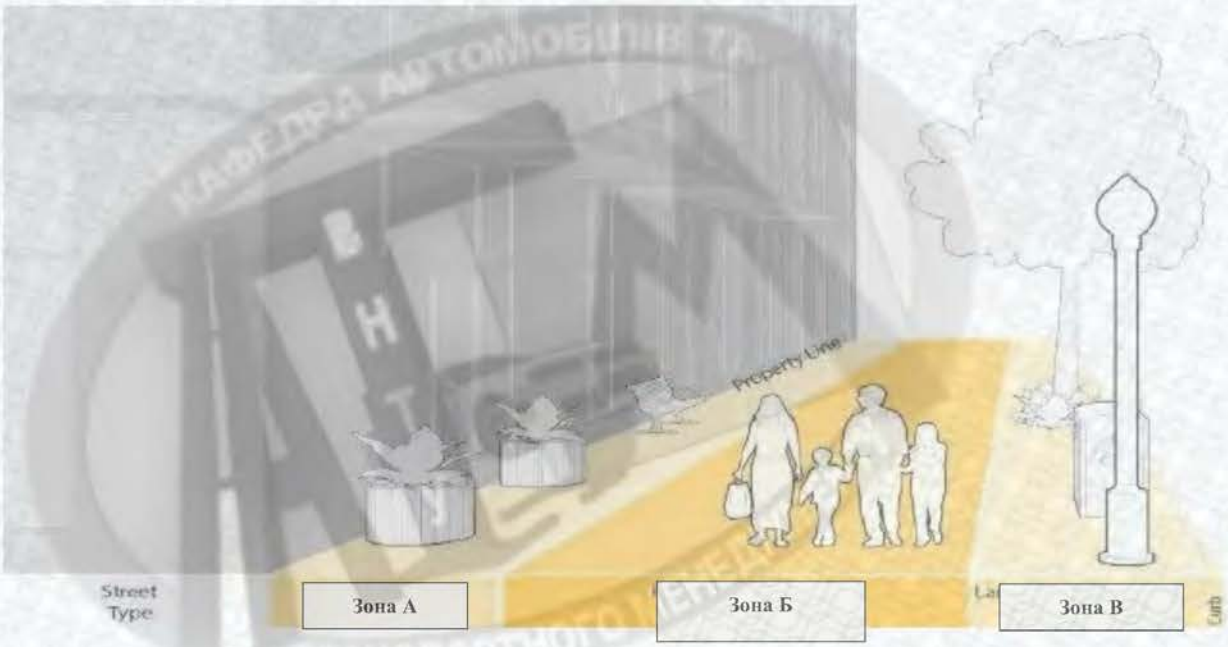


Рисунок – Тротуарні зони м. Стамбул

Зона А це область між межею приватної власності мешканців міста та пішохідною зоною. Залежно від ширини фасадної зони, тут можуть розміщуватися вуличні кафе, входи до магазинів, вітрини, елементи озеленення, зупинки громадського транспорту чи інші об'єкти, що покращують якість пішохідного середовища. Більша ширина зони А дозволяє створити комфортні умови для майбутніх орендарів та мешканців, зокрема забезпечити можливість висадження вуличних дерев та інших ландшафтних елементів. Мінімальна ширина цієї зони становить 0,6 м, що гарантує безпечну відстань від стаціонарних об'єктів.

Зона Б це вільна пішохідна зона, яка слугує основним коридором для

руху людей. Вона повинна бути повністю очищена від будь яких перешкод. Вуличні меблі, дерева, кашпо, стовпи, пожежні гідранти, тимчасові знаки та інші вертикальні елементи не повинні розташовуватися в межах цієї зони.

Зона В це ландшафтно захисна зона (включно з бордюром), розташована між проїзною частиною та пішохідною зоною. Вона виконує функцію відокремлення пішоходів від транспортного потоку та є оптимальним місцем для розміщення вуличних меблів, зелених насаджень, освітлення, вивісок, гідрантів, а також елементів інженерних комунікацій. У місцях зупинок громадського транспорту зона В може використовуватися для облаштування платформ, посадкових майданчиків, урн, освітлення та інших інфраструктурних елементів.

Ці три зони формують основу для регулювання розміщення точок паркування велосипедів та засобів індивідуальної мобільності (ЗІМ) у місті Стамбул. Відповідно до встановлених правил користувачі повинні:

- паркувати пристрій у зоні озеленення на тротуарі, ширина якої перевищує 1 метр;
- фіксувати пристрій на велопарковці (за умови, що це не перешкоджає проходу пішоходів);
- використовувати спеціально відведені зони для паркування (так звані «загони» промарковані ділянки орієнтовно розміром з паркувальне місце для транспортного засобу, призначені для розміщення ЗІМ).

Виконаний аналіз зарубіжних наукових джерел дозволив установити, що на сьогодні існує певний науковий доробок у дослідженнях руху ЗІМ у міських транспортних системах. Незважаючи на відносно недавню появу цієї проблематики, у міжнародній практиці наявна значна кількість робіт, присвячених оцінюванню травматизму внаслідок наїздів ЗІМ та заходам щодо його зниження. Водночас важливим є й аналіз досвіду використання ЗІМ в Україні.

Використання засобів індивідуальної мобільності в Україні

Стан регулювання використання ЗІМ в Україні

У 2023 році в Україні набрав чинності закон, який визнає електросамокати, електровелосипеди та інші подібні легкі електричні транспортні засоби як учасників дорожнього руху. [

Документом визначено два види електротранспорту:

- легкий персональний електричний транспортний засіб – колісний транспортний засіб, який оснащений та приводиться в рух виключно електричними тяговими двигунами (одним чи декількома) із потужністю у діапазоні до 1000 Вт, системою акумулювання електричної енергії (акумуляторною батареєю), яка здатна заряджатися шляхом підключення до зовнішнього джерела електричної енергії, з одним, двома, трьома або чотирма колесами, який має максимальну конструктивну швидкість у діапазоні до 25 кілометрів на годину;
- низькошвидкісний легкий електричний транспортний засіб – колісний транспортний засіб, який оснащений та приводиться в рух виключно електричними тяговими двигунами (одним чи декількома), системою акумулювання електричної енергії (акумуляторною батареєю), яка здатна заряджатися шляхом підключення до зовнішнього джерела електричної енергії, із двома, трьома або чотирма колесами, який має максимальну конструктивну швидкість, що є меншою або дорівнює 50 кілометрів на годину та більшою за 10 кілометрів на годину, та споряджену масу не більше ніж 600 кілограмів;

Як зазначає Київська школа економіки, визначення «легкий персональний електричний транспортний засіб» в законі є позитивною зміною, оскільки охоплює різні засоби мікромобільності за спільними характеристиками. Разом з тим, закон встановлює мінімальний вік для керування такими транспортними засобами 15 років (за винятком велотранспортних моделей)

Для керування легкими персональними електричними транспортними засобами введено такі обмеження:

- рух електросамокатів допускається велосипедними доріжками або правим краєм дороги, якщо велоінфраструктури немає;
- максимальна дозволена швидкість до 25 км/год;
- заборонено керування у стані сп'яніння.

Щодо відповідальності, у Кодексі України про адміністративні правопорушення передбачено штрафи: наприклад, за керування електросамокатом у стані сп'яніння від 17 000 грн.

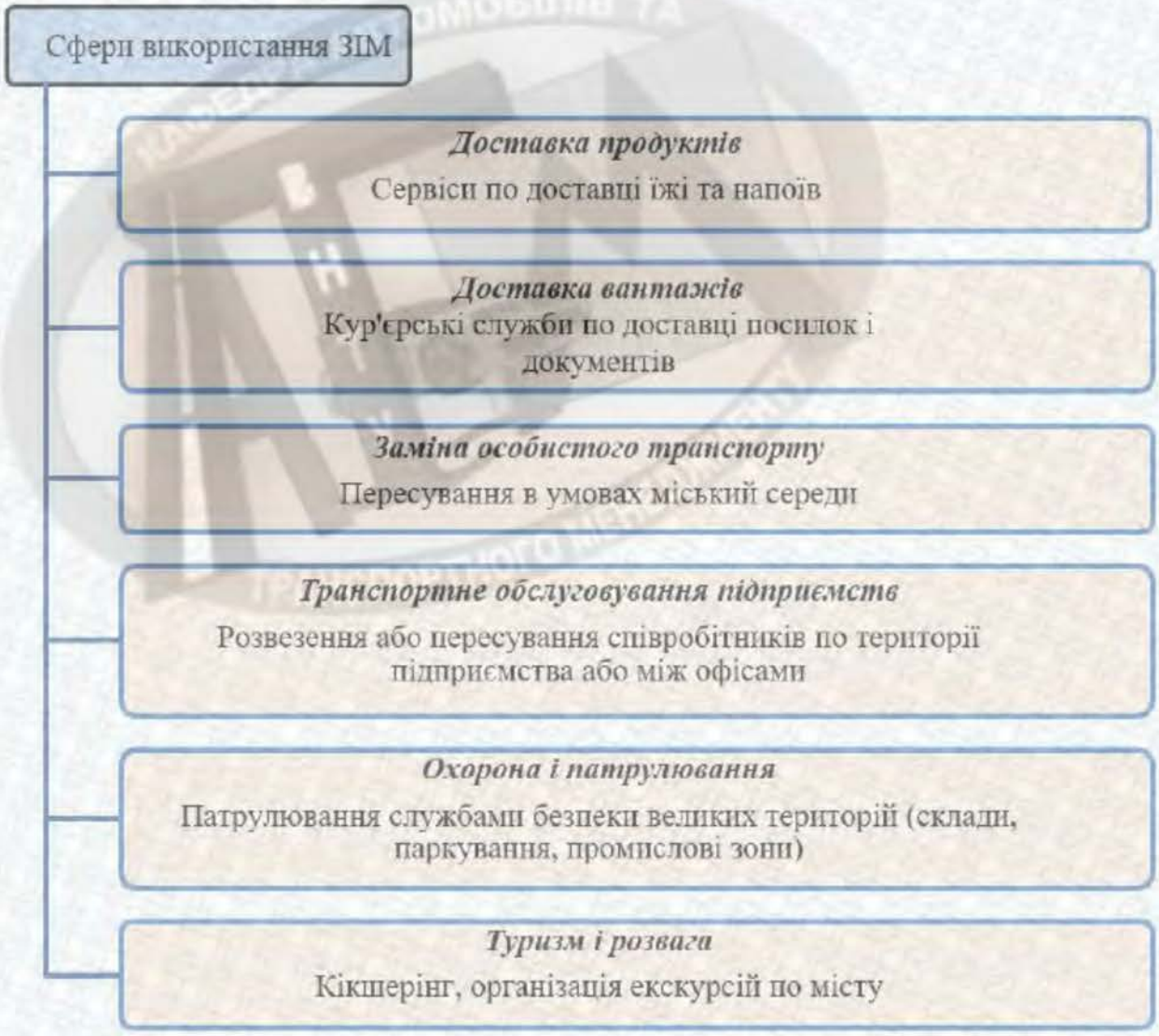


Рисунок Сфери використання ЗІМ

У нашій країні ЗІМ мають великий спектр для їх використання. Вони можуть застосовуватися во безлічі сфер, де потрібно швидкість і маневреність в пересуванні по міським вулицям або невеликим територіям.

Основні проблеми використання засобів індивідуальної мобільності в міських транспортних системах та шляхи їх рішення

Використання засобів індивідуальної мобільності (ЗІМ) приносить суттєві економічні переваги за рахунок зниження витрат на інфраструктуру, паливні ресурси, охорону здоров'я та підвищення ефективності використання часу [
Крім того, поширення ЗІМ стимулює розвиток нових секторів економіки, сприяє зменшенню залежності від імпорту енергоносіїв і відповідає цілям сталого розвитку.

Зростання популярності ЗІМ створює попит на нові виробничі та сервісні напрями, забезпечуючи робочі місця у сферах технічного обслуговування, продажу, ремонту та логістики.

Разом з тим, в Україні міська транспортна інфраструктура має низку обмежень, що ускладнюють безпечне та комфортне використання ЗІМ:

Відсутність виділеної інфраструктури.

У більшості міст бракує спеціальних велодоріжок або просторів, адаптованих для руху ЗІМ. Користувачі змушені пересуватися проїзною частиною, що підвищує ризик конфліктів з автомобільним транспортом. Використання тротуарів може створювати небезпеку для пішоходів і збільшувати кількість інцидентів.

Обмежений простір для паркування.

Недостатня кількість спеціалізованих паркувальних майданчиків для ЗІМ призводить до хаотичної парковки та захаращення громадського простору, зокрема тротуарів.

Перешкоди дорожнього покриття.

Нерівності, пошкоджене асфальтове покриття, високі бордюри та відсутність пандусів ускладнюють рух ЗІМ та зменшують безпечність їх використання.

Підвищена загроза безпеці.

Нестача спеціально організованої інфраструктури збільшує ризики

травматизму серед користувачів ЗІМ. Зростання їх кількості у транспортному потоці підвищує ймовірність конфліктних ситуацій між пішоходами, велосипедистами, водіями та користувачами ЗІМ [ ]. Це може призвести до падіння довіри населення до таких засобів пересування.

Масове поширення ЗІМ створює нові виклики для транспортної безпеки. Підвищена щільність змішаного руху збільшує ризики аварій та конфліктів між різними учасниками дорожнього руху [

Попри зазначені ризики, ЗІМ мають значну кількість переваг, особливо в умовах великих міст із щільною забудовою та регулярними заторами. Їхні ключові переваги:

скорочення часу в дорозі;

відсутність потреби у пошуку паркувального місця;

простота використання;

низькі експлуатаційні витрати;

екологічність та енергоефективність;

доступність для широких груп населення [

Ці фактори сприяють трансформації міської мобільності. ЗІМ дедалі частіше розглядаються як альтернатива приватному авто, особливо для коротких поїздок у межах «останньої милі».

ЗІМ поєднують компактність, екологічність та маневреність, що робить їх привабливими для пересування містом. В Україні вони активно поширилися за останні роки, а їх популярність стимулює розвиток нормативного регулювання та адаптацію міської інфраструктури

Разом із тим існують і проблеми. Незважаючи на здатність розвивати швидкість, в окремих випадках ЗІМ у законодавстві можуть прирівнюватися до пішоходів, що створює правову невизначеність. Недостатня деталізація правил використання ЗІМ та нестача інфраструктурних рішень ускладнюють їх безпечну інтеграцію у транспортну систему.

Важливою проблемою є підвищена небезпека використання деяких категорій ЗІМ, які розвивають значну швидкість, мають обмежену маневреність

і низьку стійкість. Це підвищує ризик втрати контролю, особливо в умовах змішаного потоку руху [

Статистичні дані щодо аварійності із ЗІМ в Україні на рівні загальнодержавної звітності поки що обмежені. Однак окремі органи місцевого самоврядування та профільні організації вже фіксують зростання кількості інцидентів за їх участю (рис. 4, рис. 5), що підкреслює необхідність удосконалення регулювання та інфраструктури.

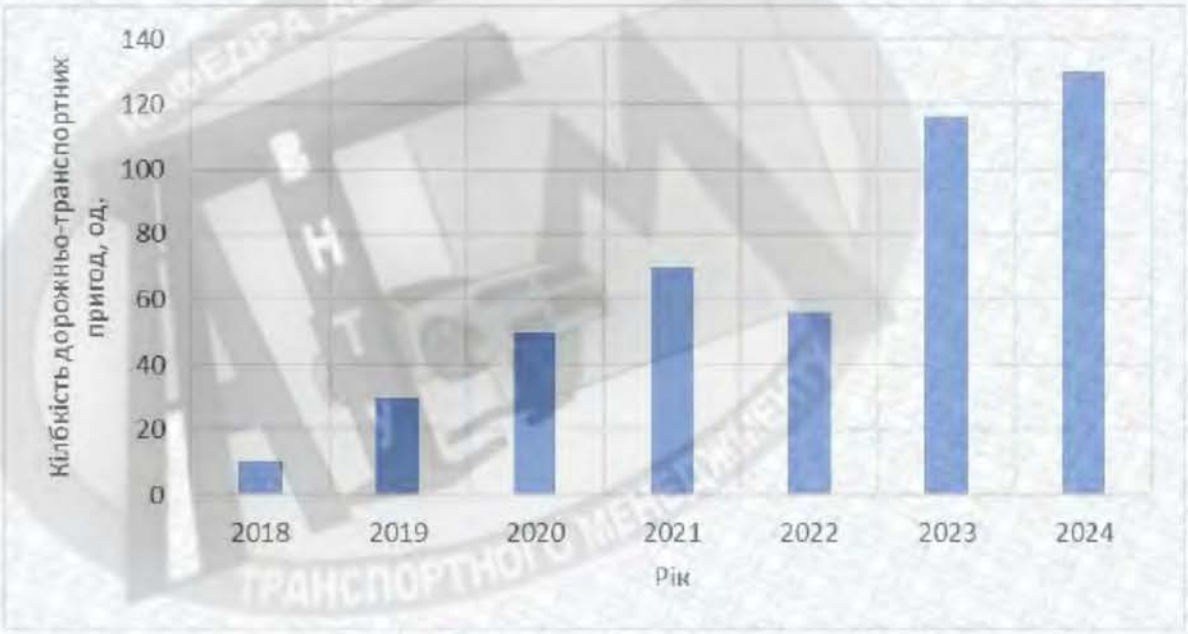


Рисунок Гістограма кількості ДТП з участю ЗІМ

Кількість ДТП за участю ЗІМ стрімко зростає, що свідчить про необхідність посилення правил їх експлуатації та підвищення рівня безпеки на міських дорогах Таким чином, показник аварійності збільшився. Особливе занепокоєння викликає той факт, що ці події нерідко мають не лише наслідки у вигляді травм, а й призводять до летальних випадків (рис.

Аналіз статистики за шестирічний період показує, що основною причиною ДТП за участю ЗІМ є порушення правил дорожнього руху. Переважна більшість аварій пов'язана з недотриманням вимог ПДР з боку користувачів ЗІМ. Частка ДТП, спричинених порушеннями ПДР, перевищує 80%, що свідчить про вагому роль людського фактора у формуванні аварійної ситуації.

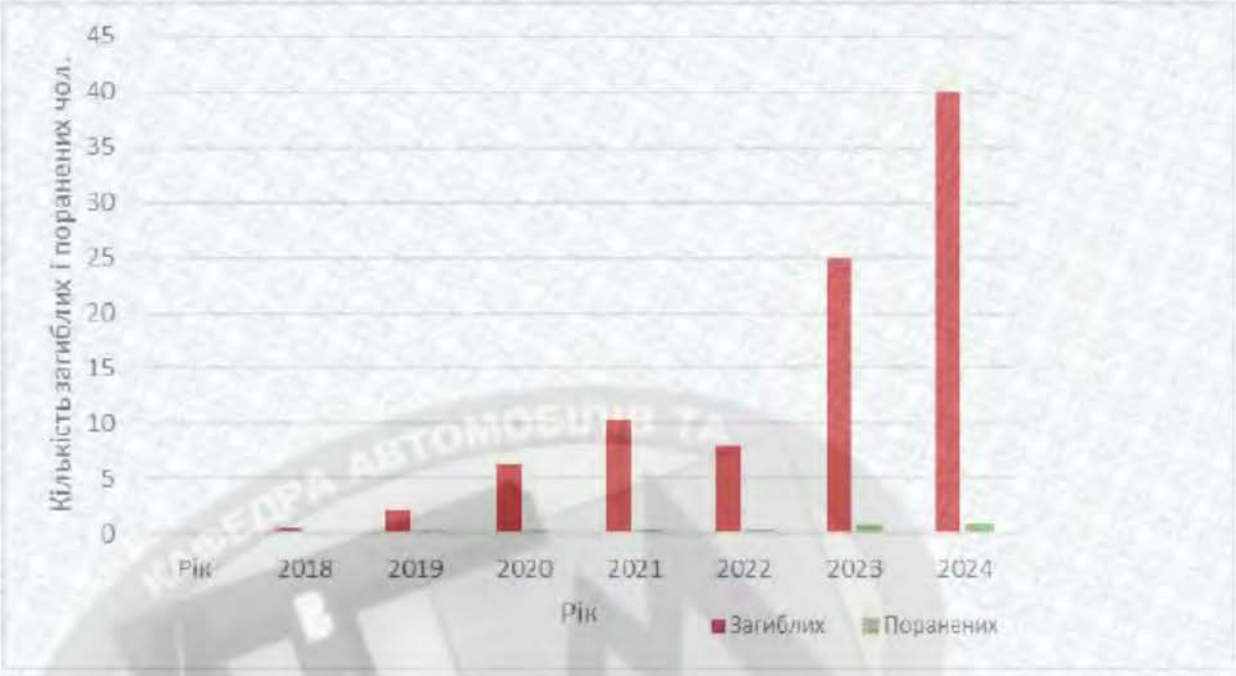


Рисунок – Гістограма тяжкості наслідків унаслідок ДТП за участю ЗІМ (кількість загиблих і поранених)

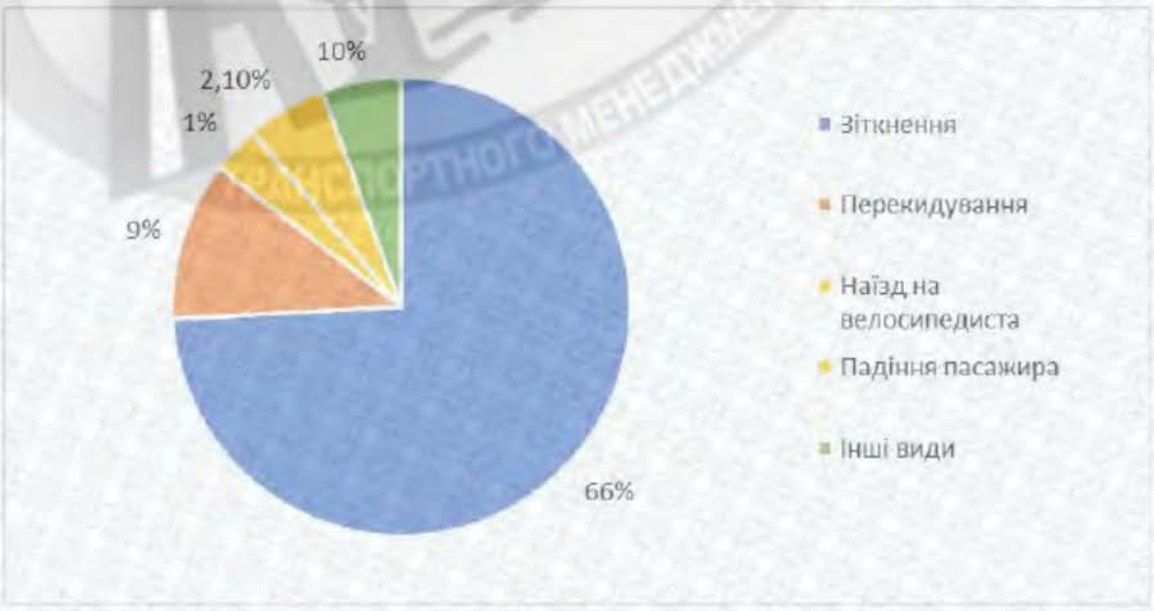


Рисунок – Основні види ДТП за участю засобів індивідуальної мобільності

Слід зазначити, що ЗІМ переважно експлуатуються молодими людьми, що зумовлює їх підвищену залученість в ДТП і робить цю вікову групу найбільш уразливу з крапки зору травматизму.

У 2022 року зафіксовано майже 50% користувачів ЗІМ, отримали поранення у ДТП, а саме люди до 25 років. Серед них багато підлітків: більше 25% в віці від 14 до 19 років.

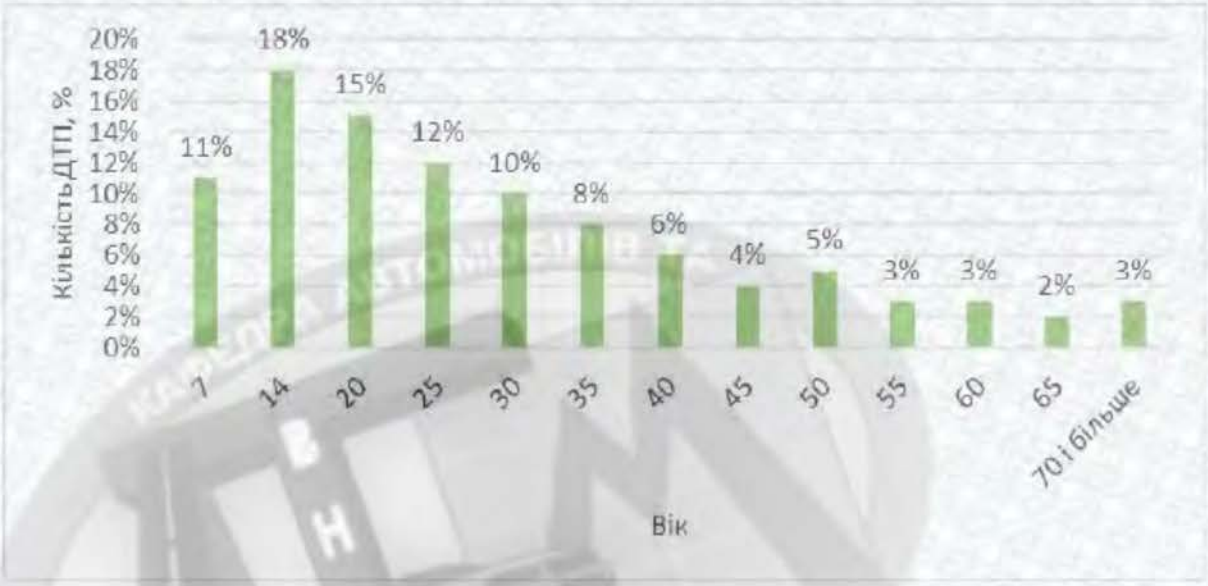


Рисунок – Гістограма вікової частки потерпілих у ДТП за участю ЗІМ

Переважна більшість користувачів електросамокатів, які перебувають у ДТП, не перебувають у стані алкогольного сп'яніння – алкоголь у крові виявляється лише в 5% їх. У порівнянні з цим, при аваріях з участю водіїв автомобілів ознаки сп'яніння фіксуються в два рази частіше, а серед мотоциклістів в чотири рази [ ], що підкреслює інші причини ризиків при використання ЗІМ

Після ДТП алкоголь у крові у автомобілістів знаходять удвічі частіше, а у мотоциклістів вчетверо частіше, ніж у самокатників.

Оскільки ЗІМ є переважно міським засобом пересування, 99% аварій трапляється в населених пунктах. Найбільшу кількість ДТП за участю електросамокатів зафіксовано в Україні саме у великих містах, де інтенсивність руху та концентрація користувачів ЗІМ є найвищими. Згідно з відкритими даними Національної поліції України, значна кількість інцидентів припадає на Київ, Львів, Одесу, Дніпро та Харків. Саме ці міські агломерації формують основні осередки аварійності у зв'язку зі зростанням популярності ЗІМ.

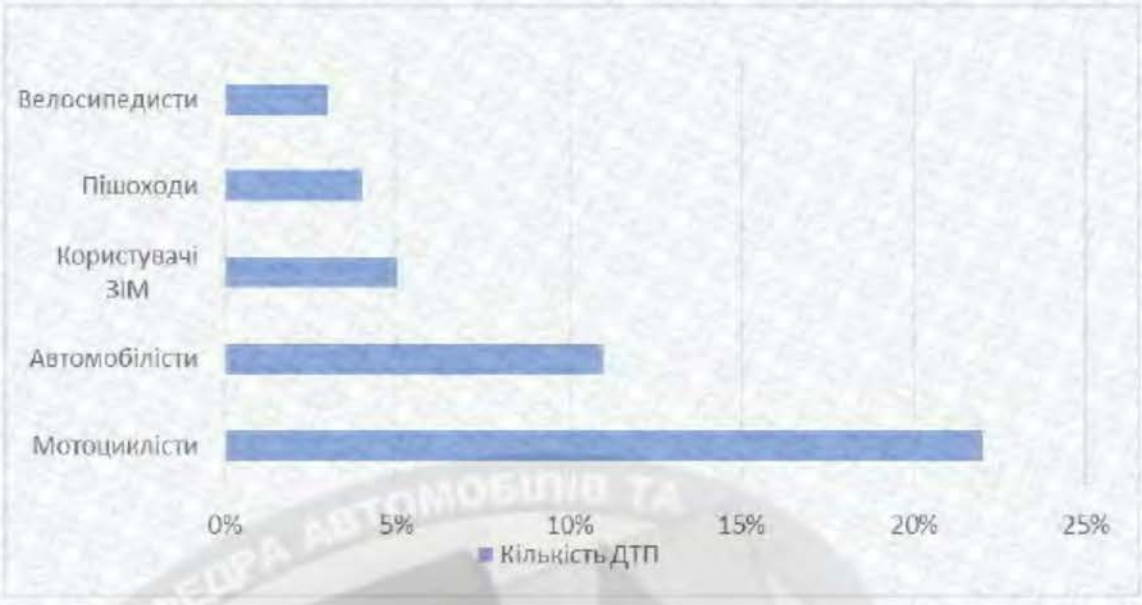


Рисунок – Лінійчаста гістограма кількості ДТП із вмістом алкоголю у крові

Аналіз локалізації ДТП показує, що переважна більшість інцидентів за участю ЗІМ відбувається у зонах транспортних конфліктів насамперед на перехрестях, ділянках перетину транспортних потоків, а також на виїздах із прилеглих територій: дворів, автозаправних станцій, паркувань та інших місць з інтенсивним змішаним рухом [ ]. Типовими сценаріями є ситуації, коли водій автомобіля, виїжджаючи з АЗС чи дворового проїзду, не помічає електросамокат, що рухається тротуаром або велодоріжкою, або ж навпаки користувач ЗІМ раптово виїжджає на проїзну частину та потрапляє у зіткнення з транспортним засобом.

На думку фахівців у сфері безпеки дорожнього руху, основною причиною подібних аварій є низька помітність ЗІМ у потоці: вони часто з'являються несподівано для інших учасників руху через низький рівень шуму, компактні габарити та недостатнє правове регулювання їх експлуатації. За статистичними даними, 80% ДТП за участю ЗІМ відбувається у світлу пору доби, 19% у темну, і близько 1% у сутінках [

Рисунок – Лінійчаста гістограма частки ДТП з участю ЗІМ на об'єктах ВДМ

Аналіз структури ДТП за участю ЗІМ виявляє чітку закономірність у локалізації аварій. Найбільша кількість інцидентів припадає на ділянки з інтенсивним змішаним рухом та високою концентрацією пішохідних потоків. Так, на тротуарах, пішохідних доріжках та в пішохідних зонах зафіксовано 37,6% усіх ДТП за участю ЗІМ це найбільш аварійно небезпечні ділянки з позиції конфлікту між користувачами пристроїв та пішоходами (рис.

Значна частка подій реєструється у зонах перетину транспортних потоків, включаючи перехрестя та виїзди з прилеглих територій, де спостерігається складна взаємодія різних учасників дорожнього руху (рис. Особливу занепокоєність викликає той факт, що 17,6% аварій відбувається безпосередньо на пішохідних переходах, що свідчить про порушення правил поведінки користувачів ЗІМ у зонах підвищеної вразливості пішоходів.

Представлені дані свідчать про наявність системних проблем в організації взаємодії ЗІМ з іншими учасниками дорожнього руху. Враховуючи стрімке зростання популярності таких пристроїв та відсутність раніше чіткої нормативно правової бази, можна прогнозувати подальше збільшення кількості ДТП з їх участю, якщо не буде впроваджено комплексні регуляторні заходи та рішення щодо підвищення безпеки дорожнього руху (БДР) у міському

середовищі. Зростання цього показника може бути досить стрімким через такі фактори:

– навіть у містах із населенням менше ніж 100 тис. осіб активно розвиваються сервіси прокату електросамокатів; за даними українських операторів мікромобільності, у 2025 році значна частка інцидентів припадала саме на орендовані пристрої;

– дорожня інфраструктура українських міст часто не адаптована до появи нової категорії учасників руху користувачів ЗІМ. Це призводить до їхньої взаємодії як з автомобільними потоками, так і з пішоходами, підвищуючи ризик виникнення конфліктних ситуацій.

У таких умовах виникає невизначеність у поведінці всіх учасників дорожнього руху: ЗІМ пересуваються з істотно більшою швидкістю, ніж пішоходи, проте не мають статусу повноцінного транспортного засобу. Через це користувач електросамоката може з'являтися в полі зору водія несподівано, що нерідко призводить до зіткнень [

Таблиця 1. – Переваги та недоліки використання ЗІМ

Переваги	Недоліки
Комфортні умови паркування; Екологічність; Сприятливість пересування на короткі відстані; фізична активність; Економія часу.	Аварійність; Підвищена травмонебезпечність; Відсутність безпечною інфраструктури; Відсутність манери водіння; Сезонність.

Для рішення виділених негативних пунктів необхідно звернутися до законодавству нашої країни. Розглянемо, як з точки зору управлінської влади наважуються проблеми, пов'язані з даними виглядом транспорту, і чого ще на даний момент не було передбачено.

Для вирішення виявлених негативних аспектів необхідно звернутися до чинного законодавства України. Розглянемо, яким чином з точки зору органів

державного управління та місцевого самоврядування здійснюється регулювання питань, пов'язаних із використанням засобів індивідуальної мобільності, а також які проблеми залишаються неврегульованими станом на сьогодні.

Прогнозування кількості дорожньо транспортних пригод з участю засобів індивідуальної мобільності

Згідно з раніше виконаним аналізом показників аварійності було встановлено, що кількість ДТП за участю ЗІМ щорічно зростає. Згідно офіційним джерел [ ] найбільше кількість ДТП доводиться на великі мегаполіси і курортні міста.

За останні 5 років у судах України розглядалося щонайменше 130 справ, пов'язаних із ДТП за участю електросамокатів.

У 2024 році до судів надійшло 71 справа, пов'язана з електросамокатами – це на 42% більше, ніж у 2023.

Упродовж останніх років у Вінниці спостерігається суттєве зростання кількості дорожньо транспортних пригод за участю електросамокатів, що корелює із загальноукраїнською тенденцією збільшення використання засобів індивідуальної мобільності. За офіційними повідомленнями місцевих ЗМІ, лише у 2024 році в Вінниці було зафіксовано 9 ДТП за участю електросамокатів, із яких 6 пригод супроводжувалися травмуванням осіб. У цих аваріях постраждало 6 учасників дорожнього руху, летальних випадків серед користувачів ЗІМ не зареєстровано.

У 2025 році тенденція до зростання аварійності продовжилася: станом на оприлюднені дані за рік у місті сталося 15 ДТП за участю електросамокатів, у яких постраждало 8 осіб. Це свідчить про збільшення як загальної кількості подій, так і тяжкості їх наслідків.

Паралельно із зростанням числа ДТП фіксується й збільшення кількості адміністративних правопорушень, пов'язаних із порушенням правил користування електросамокатами. Так, протягом 2024 року у Вінниці правоохоронці оформили 26 адміністративних протоколів, тоді як уже на

початку 2025 року цей показник зріс до 116 протоколів. Така динаміка вказує на підвищення уваги поліції до правил експлуатації ЗІМ та потребу в посиленні контролю й інформаційно просвітницьких заходів.

Окремої уваги заслуговує зростаюча кількість аварій за участю неповнолітніх. За інформацією загальнонаціональних ресурсів, значну частку інцидентів складають саме пригоди, у яких учасниками є підлітки, дотриманням швидкісного режиму та використанням засобів захисту.

Кількість ДТП з участю ЗІМ збільшується, з урахуванням цього в якості математичної моделі можливо використовувати мультиплікативну модель.

У такому випадку мультиплікативна модель має вигляд:

$$Y \quad T \cdot S \cdot E$$

де – значення показника часового ряду;

– трендовий компонент;

– сезонний компонент;

випадковий компонент.

Щоб отримати модель тимчасового ряду мультиплікативного виду необхідно визначити все види компонент. Для визначення сезонної компоненти) необхідно здійснити вирівнювання ряду методом ковзної середньої для аналізованих періодів тимчасового ряду:

$$y_t' = \frac{y_1 + y_2 \ldots + y_n}{n} \qquad (1.2)$$

y_t' – значення ковзного середнього;

y_{t-1} – значення досліджуваної величини у попередньому періоді (день, місяць, квартал тощо);

y_t – значення досліджуваної величини у поточному періоді;

y_{t+1} – значення досліджуваної величини у наступному періоді;

n – кількість періодів (для річного циклу n = 12).

Після обчислення ковзного середнього необхідно виконати процедуру

центрювання, оскільки для парної кількості періодів (наприклад, 12 місяців) розраховані ковзні середні формуються між фактичними значеннями ряду. Центрування дає змогу співвіднести значення ковзного середнього з конкретним моментом часу та усунути зміщення, що виникає під час обчислень.

$$S_t = \bar{S}_t \cdot k_s$$

де S_t – скоригована сезонна компонента;

k_s – коригувальний коефіцієнт

$$(k_s = \frac{1}{n}\sum_n^1 \bar{S}_t)$$

Розрахунок скоригованою сезонної компоненти здійснюється з використанням формули:

$$\bar{S}_t = \frac{1}{m}\sum_m^1 \hat{S}_t$$

де S_t^* – значення середньої сезонної компоненти;

m– кількість розглянутих періодів.

Значення середньої сезонної компоненти визначається за формулою:

$$S_t{}' = \frac{y_t}{\bar{y}_t} \qquad (1.5)$$

де $S_t{}'$ – оцінена сезонна компонента;

y_t– значення досліджуваної величини у поточному періоді;

$\bar{y}_t$– значення центрованої ковзної середньої.

Далі зроблено розрахунок компонентів трендовий складника, в відповідно

з виглядом мультиплікативної моделі (1). Згідно першому наближенню тренда і побудови тренда по максимальним значенням (вершин), найбільш точно розподіл описується лінійним трендом, причому во другому випадку величина апроксимації становить 0,94, що свідчить про досить високий рівень точності в підборі тренд.

Таблиця Результати розрахунку сезонної компоненти

Номер періоду / Рік												
S - t												
S t												
k s												

У такому випадку шукана компонента буде мати вигляд:

$$T = -0{,}25 \cdot t + 0{,}08$$

На заключному етапі необхідно оцінити випадкову компоненту (Е), яка визначається з використанням формули:

$$E = y_t - F$$

де F показник значення тимчасового ряду, оперований як твір трендовий та сезонної компоненти (S):

$$F = T \cdot S$$

У разі величина випадкової компоненти дозволяє оцінити величину помилки, що буде використано для обчислення показника достовірності.

Розрахунок всіх необхідних компонентів дозволив визначити вид моделі прогнозування кількості ДТП за участю ЗІМ для Краснодарського краю, яка за результатом вибірки даних за період 2018–2023 років. без урахування випадковий компоненти, яка має вигляд:

$$Q = S_t \cdot (0{,}08 - 0{,}25 \cdot t)$$

де Q – значення показника, що розглядається – кількість ДТП за участю ЗІМ, од.;
S_t – сезонний компонент для певного місяця (1...12);

коефіцієнти і відповідно складники трендового компонента;

час, значення розглянутого періоду.

Компонента матиме вигляд:

$$T = a \cdot t + b \tag{1.10}$$

де aі b коефіцієнти, що визначають характер зміни тренду, точку перетину та кут нахилу.

Коефіцієнти aі bвизначаються за формулами:

$$a = \frac{\sum(y_t \cdot S_t)}{\sum t} \tag{1.11}$$

$$b = \frac{\sum(y_t) \cdot \sum(S_t)}{\sum t} \tag{1.12}$$

Було обчислено значення коефіцієнтів:

$a = -0{,}25$та $b = 0{,}08$

Підстановка цих значень у рівняння (1.6) дозволяє записати модель трендової компоненти у вигляді:

$$T = -0{,}25 \cdot t + 0{,}08 \tag{1.13}$$

На завершальному етапі необхідно оцінити випадкову компонента (Е), яка визначається за формулою:

$$E = y_t - F \tag{1.14}$$

де F показник значення часового ряду, який визначається як добуток трендової компоненти (Т) та сезонної компоненти (S):

$$F = T \cdot S \tag{1.15}$$

У даному випадку величина випадкової компоненти дозволяє оцінити величину похибки, що буде використано для визначення показника достовірності.

Розрахунок усіх необхідних компонент дав змогу визначити вигляд моделі прогнозування кількості ДТП за участю ЗІМ для Краснодарського краю, яка за результатами вибірки даних за період 2018–2023 рр. (без урахування випадкової компоненти) має вигляд:

$$Q = S_t \cdot (0{,}08 - 0{,}25 \cdot t) \tag{1.16}$$

де Q– значення розглядуваного показника (кількість ДТП за участю ЗІМ, од.);

S_t– сезонна компонента для відповідного місяця (1…12);

0,08 та 0,25 – коефіцієнти b та a відповідно, що визначають трендову компоненту;

t – час, порядковий номер розглядуваного періоду.

Таким чином, для прогнозування кількості ДТП за участю ЗІМ у певному регіоні України доцільно застосовувати економетричні методи, розглядаючи динаміку розподілу ДТП у контексті теорії часових рядів. На основі наявних статистичних даних встановлено, що для прогнозування їх динаміки найбільш придатною є мультиплікативна модель.

Як приклад застосування зазначеної методики розглянуто динаміку ДТП

за участю ЗІМ на території одного з регіонів України за офіційними даними Національної поліції України.

Аналіз ДТП за участю ЗІМ у вибраному регіоні показав, що розподіл досліджуваних показників за місяцями (за період 2018– рр.) має сезонний характер та відповідає структурі часових рядів. З використанням економетричного підходу встановлено, що зростаючу тенденцію зміни показників можливо описати мультиплікативною моделлю, яка складається з трьох компонентів: сезонної, трендової та випадкової.

Розрахунок усіх компонентів дав змогу визначити вигляд моделі

$$Q = S_t \cdot e_t \cdot (0{,}08 –$$

що дозволяє оцінити кількість ДТП за участю ЗІМ для розглянутого регіону.

Застосування побудованої моделі дало змогу прогнозувати кількість ДТП за участю ЗІМ у 2024 році 72 випадки з розподілом за місяцями року, забезпечивши точність прогнозування на рівні 67%.

Отримані результати свідчать, що побудована мультиплікативна модель задовільно узгоджується з доступними статистичними даними Національної поліції України, а запропонована методика може бути використана для короткострокового прогнозування з достатнім рівнем достовірності.

Висновки до розділу 1

Використання засобів індивідуальної мобільності (ЗІМ) на вулично дорожній мережі України все частіше стає чинником, що підвищує ризики для безпеки дорожнього руху. Користувачі таких пристроїв не лише наражають на підвищену небезпеку себе, але й можуть створювати загрозливі ситуації для пішоходів та інших учасників руху. Аналіз дорожньо транспортних пригод свідчить про зростання кількості випадків за участю ЗІМ. Все частіше такі транспортні засоби стають безпосередніми учасниками ДТП, що вказує на нагальну проблему їх інтеграції в існуюче транспортне середовище. Особливу

стурбованість викликають випадки за участю неповнолітніх користувачів ЗІМ, чия недостатня досвідченість та підвищена вразливість значно збільшують ризики отримання травм.

Актуальність питання регулювання і безпечного використання ЗІМ у міській інфраструктурі підтверджується передусім різким зростанням кількості ДТП з їх участю. Така тенденція демонструє невідповідність між швидким зростанням нових видів мобільності та готовністю вулично дорожньої мережі, нормативної бази й системи забезпечення безпеки дорожнього руху.

Аналіз світового досвіду використання ЗІМ та впроваджених заходів законодавчого регулювання свідчить, що до найбільш поширених державних рішень у різних країнах належать, зокрема:

– запровадження обов'язкової реєстрації ЗІМ;

– визначення правового статусу нових учасників дорожнього руху та встановлення правил їх експлуатації.

Аналіз кількості ДТП за участю ЗІМ показав, що зростаючу динаміку подій можна описати за допомогою методу аналізу тимчасових рядів із використанням мультиплікативної моделі, яка складається з трьох компонентів: сезонної, трендової та випадкової, що дає змогу визначити кількість ДТП за участю ЗІМ та математично довести, що у разі неприйняття науково обґрунтованих заходів їх кількість і надалі зростатиме.

РОЗДІЛ
ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ У МІСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Аналіз ринку продажів засобів індивідуальної мобільності

Темпи технологічного розвитку у транспортній сфері продовжують прискорюватися: протягом останнього десятиліття відбулася зміна кількох поколінь автотранспортних засобів [ ]. Ринок щорічно поповнюється новими моделями, які постійно модернізуються – удосконалюється їх конструкція, функціональність та зручність експлуатації. На тлі цього розвитку значного поширення набули пристрої, призначені для індивідуального пересування, що використовують як джерело руху електричний привід або м'язову силу людини. ЗІМ все активніше інтегруються у повсякденне транспортне середовище міст.

Сьогодні ЗІМ підвищують мобільність людини, знижують фінансові витрати та мінімізують часові затримки, що є важливим чинником у сучасних умовах життя. З метою уникнення використання громадського транспорту населення дедалі частіше звертається до електросамокатів, гіроскутерів, моноколіс, сегвеїв тощо. Додатковим фактором, що сприяв популяризації таких засобів, стала пандемія коронавірусної хвороби COVID 19, оскільки вона стимулювала зменшення контактів із великими групами людей – неминучими при користуванні громадським транспортом чи таксі.

Результати аналізу свідчать, що відбувається безперервне вдосконалення таких пристроїв, що підвищує їх привабливість для населення. Також спостерігається зміна технічних характеристик відповідно до споживчого попиту в міських умовах [56]. Встановлено, що ЗІМ мають значну кількість переваг, які щороку стимулюють зростання попиту на ці засоби пересування у міському середовищі, і, попри наявні недоліки, користувачі активно замінюють автомобілі такими пристроями [

Сучасне суспільство продовжує динамічно розвиватися, і ці процеси відображаються у транспортній галузі: зміна поколінь автотранспортних засобів відбувається з дедалі більшою швидкістю. Споживчий ринок регулярно оновлюється за рахунок появи нових типів транспортних засобів, які постійно вдосконалюються як з точки зору конструктивних рішень, так і з позиції функціональних можливостей та зручності використання. Нижче наведено опис та класифікацію основних видів ЗІМ, а також їх технічні та експлуатаційні характеристики (табл.

Таблиця Види ЗІМ та їх опис

Вид ЗІМ	Опис
	Самокат – це засіб пересування, який приводиться в рух шляхом відштовхування ногою від землі у положенні стоячи. Самокат використовується не лише як персональний транспорт, але й для дозвілля, занять спортом та фізичною активністю.
	Електричний самокат – засіб пересування на двох колесах із електроюдвигуном
	Роликові ковзани – це спеціальні черевики з прикріпленими до них рамами, на яких установлено від двох до п'яти (інколи шести) коліс. Вони призначені для пересування по твердій рівній поверхні, рідше – по бездоріжжю, за принципом, аналогічним руху на традиційних льодових ковзанах.
	Моноколісо – електричний самобалансований уніцикл (моноцикл) з одним колесом і розташованими по обидва боки від колеса підніжками.

Продовження таблиці 2.1

	Скейтборд – дошка, що складається з фанери, яка містить кілька шарів шпону, встановлена на колеса невеликого діаметру.
	Електричний скейтборд – персональний засіб пересування на базі традиційного скейтборду Керування швидкістю зазвичай здійснюється за допомогою бездротового ручного контролера (пульта дистанційного керування) або шляхом зміщення ваги тіла користувача: нахил у передню частину дошки забезпечує прискорення, а перенесення ваги назад – гальмування.
	Гіроскутер – вуличний електричний засіб пересування, що складається з двох з'єднаних між собою платформ для ніг, які можуть рухатися відносно одна одної, та оснащений колесами з боків.
	Сегвей – електричний самобалансувальний транспортний засіб із двома колесами, розташованими по обидва боки від користувача. За зовнішнім виглядом нагадує колісницю та оснащується вертикальною стійкою з рукоятками для керування.
	Електроскутер – різновид скутера, оснащений електродвигуном, що живиться від акумуляторної батареї.

Аналіз ринку засобів індивідуальної мобільності (ЗІМ) є необхідним для наочного визначення їх популярності, що базується на оцінці попиту та пропозиції. Сучасний ринок представлений широким розмаїттям ЗІМ, що дає

змогу кожному користувачеві підібрати пристрій, який відповідає його віку, рівню підготовки, фізичним можливостям, потребам у пересуванні та фінансовим можливостям. Асортимент включає електросамокати, гіроскутери, моноколеса, електровелосипеди та інші види персональних транспортних засобів. Вибір визначається не лише технічними характеристиками, а й експлуатаційними перевагами ЗІМ – компактністю, екологічністю, простотою використання та економічною доступністю.

За даними українських ЗМІ та аналітичних досліджень, у 2024 році сумарні продажі ЗІМ в Україні становили близько 230 тис. одиниць, що на 37% більше порівняно з 2021 роком. Близько 83% проданих пристроїв припадає на електросамокати, тоді як 17% становлять гіроскутери, сігвеї, моноколеса та інші види ЗІМ. Менша частка цих пристроїв пояснюється їх конструктивними особливостями та складнішими вимогами до керування [

Питання підвищення мобільності населення та ефективного використання часу є пріоритетними в сучасному суспільстві, і ця проблема актуальна для всіх країн світу. Однією з ключових тенденцій останніх років є стабільне зростання кількості автомобілів, мотоциклів та інших транспортних засобів. Ця динаміка створює значне додаткове навантаження на вулично дорожню інфраструктуру, сприяє виникненню заторів і збільшенню кількості ДТП.

У пошуках альтернативних засобів для подолання коротких і середніх дистанцій у межах міста все більше громадян – у тому числі власників автомобілів – переходять до використання нових форм мобільності. Особливої популярності набули компактні електричні пристрої, такі як моноколеса, гіроскутери, електросамокати та інші види персонального транспорту. Їх поширення зумовлене маневровістю, доступністю та можливістю ефективно пересуватися без затримок у заторах. У відповідь на зростаючий попит в Україні активно формується сфера короткострокової оренди ЗІМ – сервіси кікшерингу, що дозволяють швидко та зручно орендувати електросамокат у різних частинах міста [

Компанії, що працюють у сфері кікшерингу, закуповують спеціалізовані моделі електросамокатів, які відповідають вимогам міського середовища: підвищена міцність, безпечність, стійкість та комфорт при експлуатації [66–

Зважаючи на тенденцію зростання попиту на електротранспорт загалом, можна очікувати подальше збільшення продажів ЗІМ. Одним із ключових чинників розвитку ринку є створення сприятливої інфраструктури, зокрема розвиток велосипедних доріжок, інклюзивних транспортних коридорів та інтеграція електросамокатів у систему міської мобільності. Це підвищує їх конкурентоспроможність порівняно з громадським транспортом [

Щодо прикладів розвитку техніки: українські та міжнародні виробники щороку представляють нові моделі електросамокатів, адаптовані під потреби міських сервісів прокату. Багато з них орієнтовані на підвищену надійність, довговічність та зручність при інтенсивній експлуатації (рис. 18).

Рисунок 2.1 – Електросамокати служб прокату міста Вінниця

Згідно з даними Департаменту транспорту та міської інфраструктури Вінницької міської ради, у 202 році в межах сервісів прокату електросамокатів в експлуатації перебувало близько 40 000 електросамокатів. За цей період за їх допомогою було здійснено 26,3 мільйона поїздок, а кількість зареєстрованих користувачів таких сервісів становила близько 2 мільйонів осіб.

З моменту запуску прокату електросамокатів протягом п'яти років накопичений обсяг поїздок перевищив 37 мільйонів, що підтверджується офіційною статистикою профільного департаменту. Для порівняння: за десять років функціонування міського велопрокату обсяг поїздок склав 28 мільйонів, при цьому у 202 році на велосипедах було здійснено лише 3,3 мільйона поїздок.

Такі показники свідчать про зростаючу популярність електросамокатів як засобу міської мобільності. Їхня затребуваність значно перевищує аналогічні показники велосипедного прокату, що вказує на перевагу користувачів більш швидких, зручних та енергоефективних рішень для пересування на короткі й середні відстані в умовах сучасного міста.

У ході проведеного аналізу ринку засобів індивідуальної мобільності (ЗІМ) було виділено найбільш поширені моделі, а також здійснено огляд динаміки їх реалізації у 2024 році. Як основу для порівняльної оцінки використано дані українських онлайн торговельних платформ, що відображають обсяги продажів і популярність окремих моделей.

На основі представленої інформації проведено зіставлення асортименту ЗІМ з урахуванням частки продажу кожної моделі, що дозволило визначити лідерів ринку та виявити тенденції споживчого попиту. Аналіз відсоткового співвідношення реалізованих пристроїв надає уявлення про уподобання користувачів і допомагає оцінити затребуваність різних моделей ЗІМ залежно від їхніх технічних характеристик, цінової категорії та функціональних можливостей (табл. , табл.

Таблиця – Характеристики засобів індивідуальної мобільності, доступних на ринку України

Модель	Тип	Потужність	Максимальна швидкість	Габарити / Особливості	Додаткові функції
	Електросамокат	250 Вт	25 км/год	Матеріал корпусу: алюмінієвий сплав	IP54 водозахист; індикатор заряду; сигнальне підсвічування
	Моноколесо	500 Вт	–25 км/год	Ширина: 180 мм; висота: 450 мм; корпус: алюмінієвий сплав	сигнальне підсвічування
	Гіроскутер	2×250 Вт	–12 км/год	Колеса 6,5"; час зарядки: 120 хв (мережа 220 В)	підсвічування

Крім цього, необхідною умовою використання ЗІМ є наявність певною інфраструктури, яка згідно ПДР, дозволяє використовувати їх у різних умовах пересування.

Загальна характеристика міської інфраструктури для руху засобів індивідуальної мобільності

Місто Вінниця є одним із найбільш динамічно розвинених обласних центрів України з точки зору транспортного планування та впровадження сучасних принципів сталої міської мобільності. Станом на 202 рік населення міста становить близько 370 тис. осіб, а міська агломерація включає понад 450 тис. мешканців, що визначає високий рівень транспортного попиту.

Транспортна система Вінниці характеризується:

- компактною міською структурою;
- високою часткою громадського транспорту;
- наявністю виділених смуг, розвиненої трамвайної мережі;
- активним розвитком велосипедної інфраструктури;
- широким упровадженням електронних сервісів та ІТС.

З 2020 року у місті активно впроваджуються засоби індивідуальної мобільності (електросамокати, гіроборди, електроскейти, моноколеса), у тому числі через мережу шеринг операторів.

Вінниця є одним із лідерів України за розвитком веломережі. За даними Департаменту транспорту та міської мобільності станом на 2024 рік місто має:

понад 90 км велосипедних доріжок і смуг,

25 км – проєктуються або будуються,

Оцінка якості тротуарів та пішохідних зон: у центральній частині: вул. Соборна, площа Героїв Небесної Сотні, проспект Дмитра Яворницького – тротуари широкі, з рівним покриттям; у спальних районах: наявні ділянки з пошкодженим асфальтом та недостатньою шириною (менше нормативних м).

Згідно з ПДР України, рух ЗІМ по тротуарах дозволений лише за умови швидкості не більше 20 км/год і не створюючи небезпеки пішоходам. В умовах старих районів це часто неможливо через низьку пропускну здатність.

Станом на 20 р. облаштовано:

понад 120 офіційних точок стоянки електросамокатів (дані шеринг операторів Bolt, Jet),

з них близько 60 – в центральній частині.

Провівши аналіз

За даними Патрульної поліції України аварійність за участю ЗІМ у Вінниці

– рис2.2)

- 2021 р. – 8 ДТП за участю ЗІМ,
- 2022 р. – 11 ДТП,
- 2023 р. – 15 ДТП,
- 2024 р. – 21 ДТП.

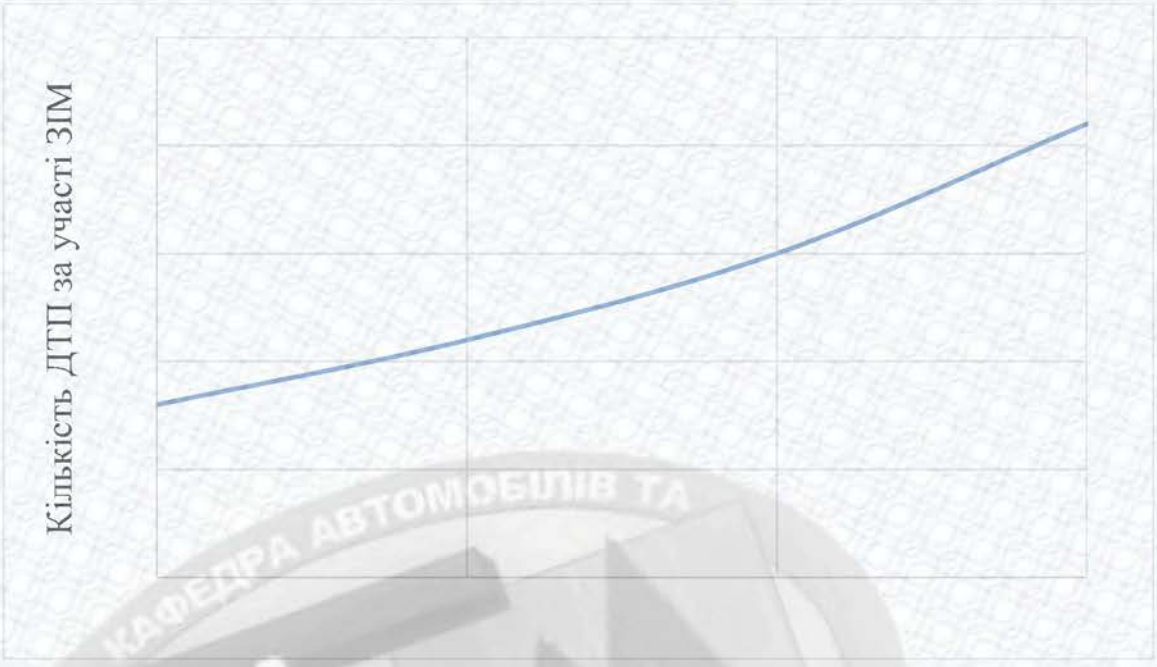


Рисунок 2.2 – Кількість ДТП за участю засобів індивідуальної мобільності

Характерні місця концентрації ДТП

Перехрестя по вул. Київська та по вул Келецька;

Хмельницьке шосе (центральні зупинки);

проспект Юності (ділянки біля парку «Вишенька

Причини ДТП: рух ЗІМ по пішохідній зоні з перевищенням швидкості; виїзд на проїзну частину без переконання у безпеці; конфлікти між велосипедистами та користувачами самокатів; відсутність освітлення у вечірній час.

Загалом, Вінниця має одну з найкращих велоінфраструктур в Україні, що створює сприятливі умови для інтеграції ЗІМ. Тротуари в центральній частині придатні, однак окремі мікрорайони потребують реконструкції. Інфраструктура перехресть частково безпечна, але нестача велопереїздів створює ризики. Паркування ЗІМ потребує розширення, особливо у Вишеньці, Замості та Східному мікрорайоні. Аварійність зростає, що свідчить про обмежену адаптованість інфраструктури та потребу в додаткових заходах. Загальна оцінка придатності інфраструктури Вінниці для ЗІМ становить 75–80%, що є високим результатом у порівнянні з іншими містами України.

Слід відзначити, що в здебільшого ЗІМ використовуються для пересування на відстані до 5 км, що підтверджується у зарубіжній науковій практиці. Для оцінки превалентності використання розглянутого виду транспорту виконаний натурний експеримент по основним маршрутам в міський транспортної системи м. Вінниці

Оцінка використання засобів індивідуальної мобільності на міський вулично дорожній мережі як транспорту останнього кілометра

Дослідження проводилося на території міста Вінниці, як зони моніторингу було обрано центральну частину міста та мікрорайон «вишенька». Дані райони було визначено як пріоритетний завдяки максимальною концентрації станцій прокату ЗІМ і найбільшому кількості самих пристроїв, доступних для користувачів.

У ході аналізу було виділено ключові точки тяжіння, що характеризуються високою пішохідною та транспортною активністю: адміністративні будівлі, культурні об'єкти, торгові та громадські простори. На підставі їх розташування були реконструйовані основні шляхи доступу та визначені типові маршрути пересування значної частини населення в межах досліджуваної території. У результаті сформовано три модельні маршрути, що відображають характерні напрямки переміщення користувачів.

Маршрут 1 починається біля Парку «Вишенський» по проспекту Космонавтів, а закінчується біля входу в Національний музей садибу М.І. Пирогова (рис

Маршрут починається біля го корпусу ВНУ а закінчується біля зупинки автобуса «проспект Юності» (рис

У маршруті початкова точка – Пам'ятник льотчикам визволителям міста» на проспекті Космонавтів, а завершальна Парк «Вишенський» (рис

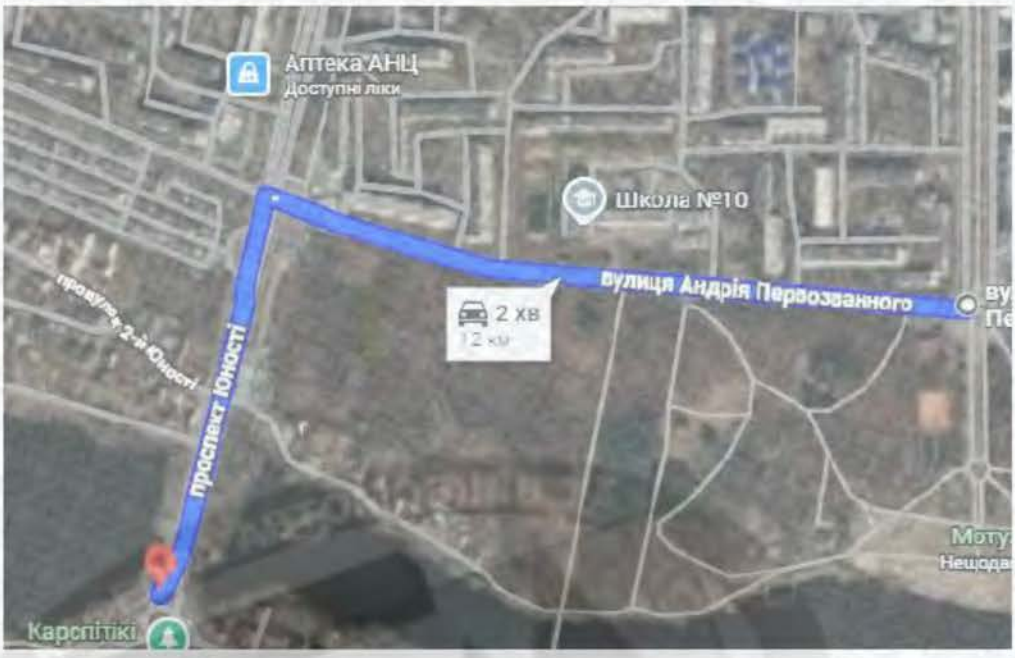


Рисунок Маршрут по сценарію №1

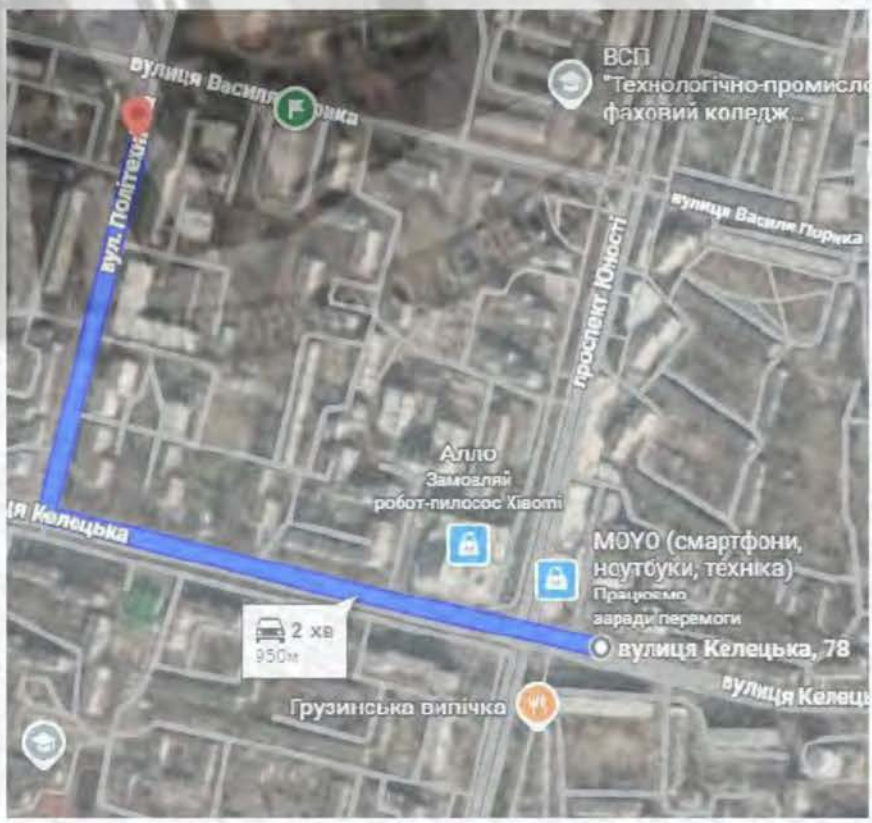


Рисунок Маршрут по сценарію №2

Рисунок Маршрут по сценарію №3

Аналіз отриманих зображень дозволив встановити чітку закономірність: найкоротший шлях за протяжністю відповідає прямолінійному пішому руху, тоді як пересування автомобілем характеризується найбільшою довжиною маршруту. Це пов'язано з необхідністю дотримання конфігурації вулично дорожньої мережі, виконання об'їздів, можливих зупинок у заторах.

У свою чергу використання ЗІМ на всіх аналізованих маршрутах забезпечує оптимальне поєднання мінімальної довжини шляху, високої маневреності та незалежності від транспортних заторів. Це робить ЗІМ найбільш ефективним засобом пересування в умовах щільної міської забудови та обмеженої пропускної здатності дорожньої інфраструктури.

Встановлено, що у ранкові години (07:30–09:30) та у вечірні години пік –19:00) на всіх маршрутах спостерігається суттєве зниження швидкості автомобільного руху через зростання транспортного навантаження. Це призводить до значного збільшення часу поїздок на особистому автомобілі, що істотно знижує його конкурентоспроможність у порівнянні з альтернативними видами міського переміщення, зокрема ЗІМ.

У сучасних мегаполісах автомобіль дедалі більше втрачає свою роль як ефективний засіб пересування. Постійні транспортні затори, значні часові втрати в пробках і складнощі з паркуванням стали повсякденною реальністю міських жителів. У пошуку альтернативних рішень усе більшої популярності набувають електросамокати як компактний і маневрений засіб індивідуальної мобільності. Їх використання дозволяє оминати ділянки з інтенсивним транспортним потоком, у тому числі пересуватися пішохідними зонами в межах чинних правил, що робить поїздки більш передбачуваними та менш витратними за часом.

Електросамокат забезпечує високий рівень автономності: на ньому можна дістатися будь якої точки міста, легко заїхати до торгових центрів, офісів або громадських будівель, уникаючи необхідності пошуку та оплати паркувального місця. Користувач самостійно формує оптимальний маршрут, обираючи між тротуарами, велодоріжками, проїжджою частиною або дворовими проїздами. Водночас розвиток міської інфраструктури, зокрема розширення мережі веломаршрутів, сприяє безпечному та зручному пересуванню на ЗІМ.

Моніторинг, проведений на основі трьох типових маршрутів різного функціонального призначення, підтвердив переваги електросамокатів під час подолання коротких і середніх відстаней у міському середовищі. За показником ефективності маршруту – включаючи «відстань» і «час у дорозі» – використання ЗІМ продемонструвало значне скорочення часових витрат порівняно з пересуванням на особистому автомобілі. Отримані дані свідчать про високу раціональність застосування електросамокатів як елемента міської транспортної системи.

Електросамокат можна використовувати не лише для поїздок на роботу

або навчання. Це також зручний інструмент для активного відпочинку: прогулянки міськими парками стають корисними для здоров'я і не супроводжуються забрудненням атмосфери. Для підтвердження зручності застосування електросамокатів як альтернативного способу пересування на невеликі відстані здійснено розроблення моделей використання ЗІМ.

Сформовано три структурні моделі користування ЗІМ у міських умовах, представлені на рис. і відповідно:

Структура користування ЗІМ «разове використання»;

Структура користування ЗІМ «робоче використання»;

Структура користування ЗІМ «використання для відпочинку

Для кожного виду виділено основні елементи взаємодії та зв'язки між об'єктами моделі, де А – зв'язок із пристроєм; В – зв'язок із ЗІМ. Кожна модель має свої особливості функціонування.

Структура «разове використання» складається з 12 початкових об'єктів (рис. 2 ; її елементи А1–А3 мають одноразовий характер і виконуються лише під час першого використання програми. У подальших циклах вони не потрібні, тому під час реалізації цієї моделі витрачається більше часу – саме це є її основною особливістю.

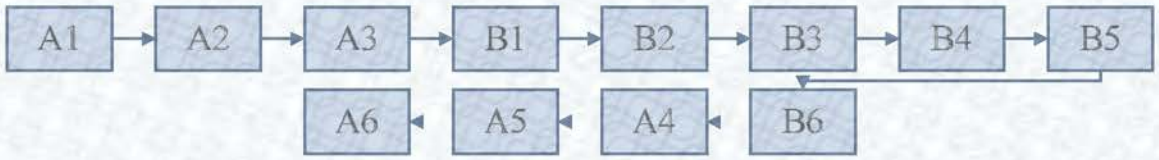


Рисунок – Структура користування ЗІМ «разове використання»

На рис. 2 використовуються такі позначення:

А1 – установка та скачування мобільного додатка сервісу прокату; поїздки; в'язка банківської картки для забезпечення оплати та заставного забезпечення;

А3 – реєстрація користувача і введення персональних даних, необхідних для ідентифікації і підключення до системи;

В1 – пошук на інтерактивній карті у додатку найближчої станції або паркування з доступними ЗІМ

В2 вибір справного і зарядженого пристрої;

В3 сканування QR коду, розміщеного на кермі самокату, для його розблокування через програму;

В4 – початок руху та використання ЗІМ

В5 – визначення найближчої станції або зони для коректного паркування поблизу кінцевого пункту призначення;

В6 – фіксація пристрою на зарядній станції або у відведеній зоні паркування;

А4 виконання фотозйомки самокату для підтвердження його повернення і безпеки, наступна завантаження фото в додаток;

А5 завершення поїздки;

А6 оплата у додатку.

Структура користування ЗІМ «робоче використання» має 9 об'єктів, що знаходяться в певних тимчасових інтервалах, а початок використання відбувається вже у зв'язку із ЗІМ. Особливістю даної моделі є незавершеність процесу, т. до. експлуатація відбувається на постійній основі та дії повторюються знову, починаючи також із зв'язку з пристроєм ЗІМ

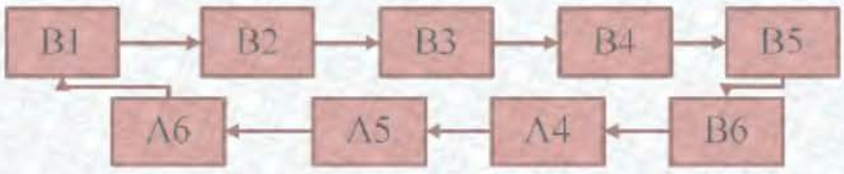


Рисунок – Структура користування ЗІМ «робоче використання»

На рис. 2. використовуються такі позначення:

В1 – пошук на інтерактивній карті у додатку найближчої станції або паркування з доступними ЗІМ

В2 – вибір справного та зарядженого пристрою;

В3 – сканування QR коду, розміщеного на кермі самоката, для його розблокування через програму;

В4 – початок руху та використання ЗІМ

В5 – визначення найближчої станції чи зони для коректного паркування поблизу кінцевого пункту призначення;

В6 – фіксація пристрою на зарядний станції або в відведеною зоні паркування;

А4 – виконання фотозйомки самокату для підтвердження його повернення та безпеки, подальше завантаження фото в додаток;

А5 – завершення поїздки;

А6 – оплата в додаток.

Структура користування ЗІМ «дозвільне використання» також складається з 9 об'єктів що знаходяться в певних тимчасових інтервалах, але дана схема розімкнена, отже, відмінною особливістю даної моделі є завершеність процесу, отже, процес не буде повторюватися і мати різні характеристики, як по часу, по відстані, так і за місцем дислокації ЗІМ

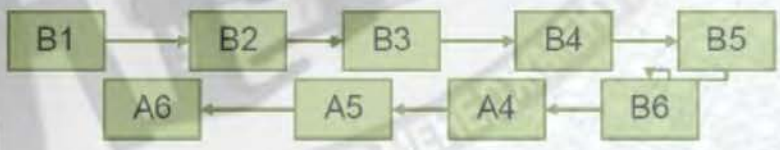


Рисунок Структура користування ЗІМ «дозвільне використання»

На рис. 2. використовуються такі позначення:

де В1 – пошук на інтерактивній карті у додатку найближчої станції або паркування з доступними ЗІМ

В2 – вибір справного та зарядженого пристрою;

В3 – сканування QR коду, розміщеного на кермі самоката, для його розблокування через програму;

В4 – початок руху та використання ЗІМ

В5 – визначення найближчої станції чи зони для коректного паркування поблизу кінцевого пункту призначення;

В6 – фіксація пристрою на зарядний станції або в відведеною зоні паркування;

А4 – виконання фотозйомки самокату для підтвердження його повернення

та безпеки, подальше завантаження фото в додаток;

А5 – завершення поїздки;

А6 – оплата у додатку.

Кожен елемент має тимчасові інтервали виконання кожного дії, представлені на рис.

Рисунок – Тимчасові інтервали об'єктів інформаційних моделей ЗІМ

На основі розрахованої протяжності кожного з обраних маршрутів визначено час руху на етапі В4 — «початок руху». При максимальній допустимій швидкості електросамоката в межах міста, що становить $v = 25$ км/год, час подолання відстані $S = 1$ км становить приблизно $t = 2,4$ хвилини.

На підставі цього значення виконано розрахунок тривалості руху для кожного з обраних маршрутів:

Маршрут №1 (протяжність 1200 м): час руху — 2,88 хв;

Маршрут №2 (протяжність 950 м): розрахунковий час — 2,28 хв;

Маршрут №3 (протяжність 1600 м): тривалість поїздки — 3,84 хв.

Для оптимізації процесу використання ЗІМ запропоновано застосування цільової функції, спрямованої на мінімізацію загальних часових витрат.

Як критерій ефективності використано сумарний час , що відображає тривалість усіх операцій, які виконує користувач під час експлуатації ЗІМ.

Цільова функція має вигляд:

$$T = \sum_{i=1}^{m} t_n \rightarrow \min \qquad (2.1)$$

де – загальна тривалість користування ЗІМ, хв;

t_n – час виконання n ї операції (пошук, розблокування, початок руху, зупинка, паркування тощо), хв;

– кількість операцій у повному циклі користувача.

Мінімізація показника дає можливість оцінити ефективність маршруту з точки зору тимчасових витрат та обґрунтувати вибір найбільш раціонального способу пересування у міському середовищі.

Цільові функції залежно від сценарію використання ЗІМ наведено в табл.

Таблиця – Цільові функції інформаційних моделей користування

Тип користування	Формула цільової функції
Разове використання (РІ)	$T_{PI} = \sum_{i=1}^{12} t_n$
Робоче використання ($РІ_1$)	$T_{PI1} = \sum_{i=1}^{9} t_n$
Дозвільне використання (ДІ)	$T_{DI} = \sum_{i=1}^{9} t_n$

Виходячи з наведених формул, отримано допоміжні вирази, що враховують поділ операцій на дві групи:

- операції, пов’язані з мобільним пристроєм користувача (пошук, відкриття застосунку тощо);
- операції, пов’язані безпосередньо з ЗІМ (розблокування, початок руху, завершення поїздки тощо).

Загальна структура виглядає так:

$$T = \sum_{i=1}^{n_A} t_{nA} + \sum_{i=1}^{n_B} t_{nB} \quad (2.2)$$

де t_n – тривалість операцій, пов'язаних із пристроєм;

t_n – тривалість операцій, пов'язаних із ЗІМ;

– кількість операцій, пов'язаних із пристроєм;

– кількість операцій, пов'язаних із ЗІМ (у моделі –

Під час розрахунку тимчасових витрат на кожному етапі користувацького циклу приймаються мінімальні значення тривалостей, оскільки мета моделювання — визначення найбільш оптимального сценарію використання ЗІМ з позиції мінімізації загального часу.

Тому загальний розрахунок фактично зводиться до визначення найменших можливих тимчасових витрат для кожної комбінації:

- маршруту,
- моделі використання ЗІМ,
- типу операцій.

Загальний час поїздки розраховується на основі визначених раніше тимчасових параметрів для кожного етапу (А1–А6, В1–В6) відповідно до трьох розроблених інформаційних моделей:

$T_{пц}$ – повний цикл (перше використання, реєстрація);

$T_{рв}$ – не повний цикл (регулярне використання в ділових цілях);

$T_в$ не повний цикл (використання в рекреаційних цілях (відпочинок) *Для маршруту №1:*

$_{пц}$ = А1 + А2 + А3 + В1 + В2 + В3 + В4 + В5 + В6 + А4 + А5 + А6 = 3 + хв;

$_{рв}$ = В1 + В2 + В3 + В4 + В5 + В6 + А4 + А5 + А6 = 5 + 3 + 0,5 + хв;

$_{в}$ = В1 + В2 + В3 + В4 + В5 + В6 + А4 + А5 + А6 = 5 + 3 + 0,5 +

хв;

Для маршруту №2:

$_{пц}$ хв;

$_{рв}$ хв;

$_{в}$ хв

Для маршруту №3:

$_{пц}$ хв ;

$_{рв}$ хв ;

$_{в}$ мін .

Незважаючи на збіг підсумкових значень для моделей $_{рв}$ і $_{в}$, вони різняться по цілі використання і логіці завершення циклу:

«Робоче використання» передбачає регулярне та цілеспрямоване пересування (наприклад, за маршрутом «дім – робота»), при якому користувач уже зареєстрований у сервісі та не проходить початкові етапи підготовки (А1–А3). Такий сценарій характеризується стабільністю, повторюваністю та орієнтацією на мінімізацію часу поїздки.

«Дозвільне використання» відображає разове або спонтанне пересування, пов'язане з відпочинком чи проведенням вільного часу. У цьому випадку цикл користування завершується коректним паркуванням ЗІМ, однак поїздка не вимагає жорсткої прив'язки до розкладу та не має часових обмежень, характерних для ділових поїздок.

На підставі функціонального призначення кожного з проаналізованих маршрутів їм були зіставлені відповідні моделі використання ЗІМ, що дозволило обґрунтувати подальший вибір найбільш раціонального сценарію пересування

для кожного напрямку.

Маршрут №1 і №2 – характерні для відпочинку

Маршрут №3 – характерні для ділової активності

Таким чином, для подальшого аналізу приймаються:

Маршрут №1: $_{в}$ хв;

Маршрут № $_{в}$ хв

Маршрут № $_{пц}$ хв ;

Раніше було встановлено, що ЗІМ усе частіше виступають ефективним рішенням однієї з найдавніших транспортних проблем — так званої «останньої милі». Йдеться про короткі переміщення, які складно або недоцільно виконувати громадським транспортом, наприклад від зупинки автобуса, трамвая, тролейбуса або станції швидкісного транспорту до кінцевого пункту призначення. ЗІМ дозволяють долати такі відстані швидко та з мінімальними часовими витратами, особливо в умовах щільної міської забудови, де громадський транспорт не охоплює всі маршрути або вимагає тривалих піших переходів.

Крім того, ЗІМ забезпечують зручний транспортний зв'язок між зупинками, формуючи безперервний ланцюжок пересування без необхідності пересадок на громіздкі види транспорту. Це робить їх важливим елементом сучасних концепцій сталої мобільності.

На сьогодні в Україні переважним засобом пересування в містах усе ще залишається особистий автомобіль. Проте його ефективність у щільній міській інфраструктурі постійно знижується через зростання транспортних заторів, обмежену кількість паркувальних місць, високу вартість експлуатації та екологічні обмеження. У таких умовах особливої актуальності набуває оцінка доцільності використання автомобіля в повсякденних поїздках, зокрема на короткі відстані.

Порівняння ефективності різних видів транспорту в контексті коротких міських поїздок дозволяє окреслити суттєві переваги більш компактних та гнучких засобів пересування — таких як ЗІМ. Вони здатні розвантажити вулично дорожню мережу, підвищити мобільність населення та сприяти

формуванню сталої міської транспортної системи.

Для подальшого аналізу та порівняння показників використання різних видів транспорту у міському середовищі наведено інформаційну модель застосування особистого автомобіля на рис. , рис.

Рисунок – Стандартна структура користування особистого автомобіля

де C1 – посадка в автомобіль, перевірка регулювання сидіння, дзеркал, положення керма;

C2 – фіксація водія за допомогою ременя безпеки;

C3 – запуск автомобіля та початок роботи транспортного засобу,

C4 – процес складання маршруту,

C5 – початок руху,

C6 – затримки часу на перетинах вулиць зі світлофорним регулюванням,

C7 – пошук місця для паркування,

C8 – завершення використання автомобіля.

Для моделі $_{oa}$, що описує використання особистого автомобіля, постійні складові (const) відображають часові витрати, пов'язані з підготовкою до поїздки та її завершенням. До них належать: запуск двигуна, виїзд з паркувального місця, пошук паркування у точці призначення тощо. У сукупності ці операції становлять 15 хвилин.

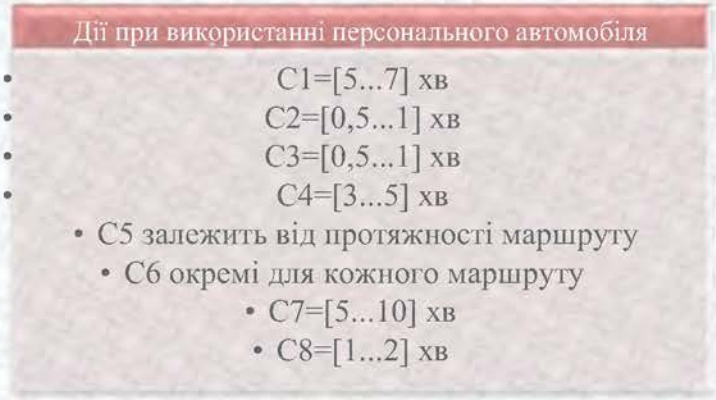


Рисунок – Тимчасові інтервали об'єктів моделі користування особистим автомобілем.

Змінними параметрами моделі є два етапи:

- C5 — час руху, який залежить від протяжності маршруту;
- C6 — затримки на перетинах, що залежать від інтенсивності руху, часу доби та кількості світлофорних об’єктів.

За середньої швидкості автомобільного руху в умовах міста v = 40 км/год, подолання 1 км ≈ 1,5 хвилини.

На цій основі визначено значення C5 для кожного маршруту:

- Маршрут №1 (1 00 м): t = 1,5 × 1, хв
- Маршрут №2 (0 м): t = 1,5 × , хв
- Маршрут №3 (00 м): t = 1,5 × 1,6 = 2,4 хв

За результатами натурних спостережень встановлено, що затримки на регульованих перехрестях (C6) змінюються в межах 1–9 хв, залежно від часу доби, щільності потоку та кількості світлофорних фаз на маршруті.

Так само, як і для моделей використання ЗІМ, виконано розрахунок загальної тривалості поїздки для кожного маршруту з урахуванням усіх компонентів.

Розрахунок загального часу використання особистого автомобіля

Маршрут №1:

оа

хв

Маршрут №2:

оа хв

Маршрут №3:

оа хв

Висновки щодо доцільності використання автомобіля на коротких міських маршрутах

Отримані результати свідчать, що на короткі відстані використання особистого автомобіля є менш вигідним, ніж пересування засобами індивідуальної мобільності (ЗІМ). Це пов'язано з низкою специфічних для автомобільного транспорту факторів:

- суттєві затримки на світлофорних перехрестях;
- висока інтенсивність руху та затори;
- ймовірність додаткових затримок через дорожньо транспортні пригоди;
- складність пошуку паркування у центральній частині міста.

Водночас можна припустити, що на довших маршрутах ефективність автомобіля зростає, і він може перевищувати ЗІМ за часом пересування. Для обґрунтованого визначення точки, у якій автомобіль стає вигіднішим, необхідно побудувати механізм залежності ефективності різних видів транспорту від відстані та інших параметрів поїздки.

На основі аналізу трьох модельних маршрутів, побудованих для різних сценаріїв пересування, сформовано алгоритм порівняння показників ефективності. Він дозволяє співставляти ЗІМ та автомобіль за часом, зручністю, енергетичними витратами й іншими критеріями.

Розроблений алгоритм забезпечує комплексну оцінку особливостей експлуатації ЗІМ у порівнянні з використанням легкового автомобіля. Він дає

змогу моделювати різні сценарії пересування, враховуючи тимчасові, організаційні та інфраструктурні фактори, а також формувати багатоваріантні прогнози розвитку транспортних потоків у міському середовищі. На основі аналізу таких сценаріїв стає можливим обґрунтований вибір найбільш ефективного та доцільного способу пересування залежно від типу маршруту, часу доби, рівня завантаженості вулично дорожньої мережі та мети поїздки.

Застосування алгоритму дало змогу провести всебічну оцінку результатів дослідження, включаючи порівняння тимчасових витрат, зручності, доступності та раціональності використання різних видів транспорту. Усі отримані дані систематизовано та наведено в таблиці , що забезпечує наочність аналізу та підтримує процес ухвалення рішень під час проєктування транспортних рішень і планування розвитку міської інфраструктури.

Таблиця Результати експерименту

Найменування маршрутів	ЗІМ	автомобіль	Результат застосування методики
Маршрут №1			Доцільно ЗІМ
Маршрут №2			Доцільно ЗІМ
Маршрут №3			Доцільно ЗІМ

За результатами аналізу всіх трьох маршрутів підтверджено високу ефективність використання ЗІМ на коротких та середніх дистанціях до 3 км. У порівнянні з ЛА, ЗІМ демонструють суттєве перевага по критерієм спільного часу поїздки, особливо в умовах міський забудови, де значну частку витрат при використанні автомобіля складають паркування, затримки на світлофорах і обмежена маневреність.

Отримані дані свідчать про те, що застосування ЗІМ в вказаному діапазоні відстаней дозволяє не тільки скоротити тимчасові витрати, але й підвищити загальну транспортна доступність.

Висновки до розділу

Застосування алгоритму визначення доцільності використання різних видів пересування в місті підтвердило очевидні переваги використання засобів індивідуальної мобільності на коротких дистанціях. Вони дозволяють суттєво економити час та забезпечують зручність пересування, що є критично важливим у сучасних умовах, коли фактор часу відіграє одну з ключових ролей у житті людини.

У результаті виконаного експериментального аналізу були сформовані інформаційні моделі руху ЗІМ за типами сценаріїв користування. Для кожного сценарію визначено набір об'єктів відвідування та цільову функцію, що ґрунтується на часових витратах користувачів: «разове використання» – включає 12 об'єктів та описується цільовою функцією

Отримані інформаційні моделі підтверджують, що ЗІМ є доцільним вибором для переміщення між ключовими міськими об'єктами у Вінниці, оскільки вони забезпечують стабільно низькі витрати часу та дозволяють долати типові міські маршрути швидше, ніж пішки або громадським транспортом у години середнього навантаження.

РОЗДІЛ 3
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ АВАРІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ НА МІСЬКІЙ ВУЛИЧНО ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ

Дослідження аварійності за участю засобів індивідуальної мобільності на об'єктах міський вулично дорожньої мережі

У відкритих статистичних джерелах, включаючи офіційні звіти Департаменту патрульної поліції України та відкриті регіональні бази даних щодо дорожньо транспортних пригод, міститься інформація про ДТП за участю засобів індивідуальної мобільності (ЗІМ), у тому числі із зазначенням локалізації інцидентів на об'єктах вулично дорожньої системи (ВДС).

Систематизація та аналіз цих даних дали змогу визначити сукупність типових ділянок, які характеризуються підвищеною частотою аварій за участю ЗІМ. Спільною рисою таких ділянок є висока концентрація конфліктних зон, змішаний характер руху та недостатній рівень інфраструктурної адаптації для пересування користувачів малогабаритних персональних електротранспортних засобів.

До таких ділянок належать:

– тротуари, пішохідні доріжки, пішохідні зони;

– відрізки між перехрестями;

– виїзди з прилеглих територій;

– нерегульовані та регульовані пішохідні переходи;

– внутрішньодворові проїзди;

– регульовані та нерегульовані перехрестя (як рівнозначних, так і нерівнозначних вулиць);

– автостоянки та інші елементи міської інфраструктури, що не входять до магістральної транспортної мережі.

Таке різноманіття місць виникнення ДТП демонструє широкий спектр

ситуацій, у яких відбувається взаємодія користувачів ЗІМ з іншими учасниками дорожнього руху – включно з ділянками, первинно орієнтованими виключно на пішоходів. Це підкреслює актуальність перегляду сучасних підходів до організації безпечного руху у змішаному міському середовищі.

Для побудови математичної моделі аварійності основних об'єктів ВДМ міста у роботі були визначені найбільш аварійнонебезпечні категорії, серед яких:

H_1 – частка ДТП на тротуарах, пішохідних доріжках та у пішохідних зонах.

H_2 – частка ДТП на виїздах із прилеглої території.

H_3 – частка ДТП на пішохідних переходах.

H_4 – частка ДТП на перехрестях.

H_s – частка ДТП на інших елементах ВДС.

Окремо слід зазначити, що події на пішохідних переходах і перехрестях мають внутрішню деталізацію.

Частка ДТП на пішохідних переходах поділяється на:

3.1. H_{31} – на регульованих пішохідних переходах;

3.2. H_{32} – на нерегульованих пішохідних переходах.

Аналогічно структуруються ДТП на перехрестях:

4.1. H_{41} – на регульованих перехрестях;4.2. H_{42} – на нерегульованих перехрестях.

Складна структура характерна також для нерегульованих перехресть:

4.2.1. H_{421} – частка ДТП на нерегульованих перехрестях нерівнозначних вулиць;

4.2.2. H_{422} – частка ДТП на нерегульованих перехрестях рівнозначних вулиць.

Схематичне відображення структури досліджуваних об'єктів ВДС у вигляді часток наведено на рис.

Рисунок Схема і позначення досліджуваних об'єктів ВДМ

У межах дослідження визначено структуру об’єктів ВДМ, на яких найчастіше фіксуються ДТП за участю ЗІМ. Кожному об’єкту присвоєно математичне позначення:

– H_1 – частка ДТП на тротуарі, пішохідній доріжці та у пішохідній зоні;
– H_2 – частка ДТП на виїздах із прилеглої території;
– H_3 – частка ДТП на пішохідних переходах, з деталізацією:
  H_{31} – частка ДТП на регульованих пішохідних переходах;
  H_{32} – частка ДТП на нерегульованих пішохідних переходах;
– H_4 – частка ДТП на перехрестях, з деталізацією:
  H_{41} – частка ДТП на регульованих перехрестях;
  H_{42} – частка ДТП на нерегульованих перехрестях, які поділяються на:
  H_{421} – нерегульовані перехрестя нерівнозначних вулиць;
– H_{422} – нерегульовані перехрестя рівнозначних вулиць;
– – частка ДТП на інших об’єктах ВДС.

Дані, отримані з офіційних джерел, наведені у вигляді відсоткових співвідношень, що дає змогу перейти до статистичних ймовірностей виникнення

ДТП на відповідних об’єктах ВДМ. Оскільки статистика охоплює чотири останні роки (2021–2024 рр.), повна статистична ймовірність формулюється як:

$$P(H) = P(H_1) + P(H_2) + P(H_3) + P(H_4) + P(H_S) \quad (3.1)$$

де

$$P(H_3) = P(H_{31}) + P(H_{32}) \quad (3.2)$$

$$P(H_4) = P(H_{41}) + P(H_{42}) \quad (3.3)$$

$$P(H_{42}) = P(H_{421}) + P(H_{422}) \quad (3.4)$$

Пояснення:

- – повна статистична ймовірність виникнення ДТП за участю ЗІМ на всіх досліджуваних об’єктах ВДС;
- $P(H_1)$ – ймовірність ДТП на тротуарах, пішохідних доріжках і в пішохідних зонах;
- $P(H_2)$ – ймовірність ДТП на виїздах із прилеглих територій;
- $P(H_3)$ – ймовірність ДТП на пішохідних переходах;
- $P(H_{31})$ – на регульованих переходах;
- $P(H_{32})$ – на нерегульованих переходах;
- $P(H_4)$ – ймовірність ДТП на перехрестях;
- $P(H_{41})$ – на регульованих перехрестях;
- $P(H_{42})$ – на нерегульованих перехрестях;
- $P(H_{421})$ – на нерегульованих перехрестях нерівнозначних доріг;
- $P(H_{422})$ – на нерегульованих перехрестях рівнозначних доріг;
- $P(H_S)$ – ймовірність ДТП на інших об’єктах ВДМ міської транспортної системи.

Статистична ймовірність виникнення дорожньо транспортних подій на об'єктах міський вулично дорожньої мережі

Згідно з даними, поданими в офіційних джерелах і відображеними у відсотковому розподілі загальної кількості ДТП залежно від об’єкта ВДМ (рис. – рис. 5), можна визначити значення статистичної ймовірності. Дані щодо статистичної ймовірності за розглянуті періоди 2021–2024 років наведено в табл.

Рисунок – Діаграма розподілу кількості ДТП на основних об'єктах ВДМ міський транспортної системи з результату 2021 року, %

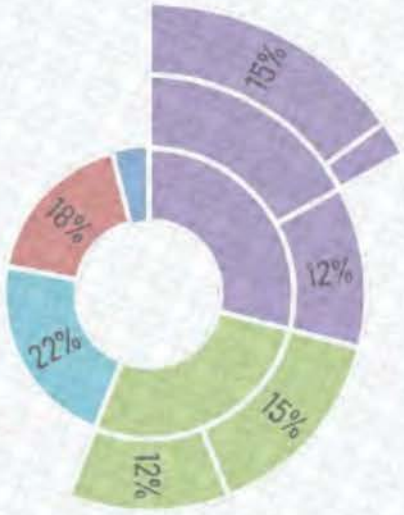


Рисунок – Діаграма розподілу кількості ДТП на основних об'єктах ВДМ міський транспортної системи з результату 202 року, %

Рисунок – Діаграма розподілу кількості ДТП на основних об'єктах ВДМ міський транспортної системи з результату 202 року, %

Рисунок – Діаграма розподілу кількості ДТП на основних об'єктах ВДМ міський транспортної системи з результату 202 року, %

Таблиця – Статистична ймовірність ДТП залежно від об'єкта ВДМ за –2024 роки

№ п/п	Найменування об'єкта ВДМ	Позначення статистичної ймовірності				
	Тротуар, пішохідна доріжка	$P(H_1)$				
	Виїзд з прилеглої території	$P(H_2)$				
	Пішохідний перехід (загальний)	$P(H_3)$				
	регульований пішохідний перехід	$P(H_{31})$				
	нерегульований пішохідний перехід	$P(H_{32})$				
	Перехрестя (загальне)	$P(H_4)$				
	регульоване перехрестя	$P(H_{41})$				
	нерегульоване перехрестя	$P(H_{42})$				
	нерегульоване перехрестя нерівнозначних вулиць (доріг)	$P(H_{421})$				
	нерегульоване перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)	$P(H_{422})$				
	Інші	$P(H_5)$				
	Разом					

Продовження таблиці

№ п/п	Найменування об'єкта ВДМ	Позначення статистичної ймовірності	Рік/номер періоду			
	Тротуар, пішохідна доріжка	$P(H_1)$				
	Виїзд з прилеглої території	$P(H_2)$				
	Пішохідний перехід (загальний)	$P(H_3)$				
	регульований пішохідний перехід	$P(H_{31})$				
	нерегульований пішохідний перехід	$P(H_{32})$				
	Перехрестя (загальне)	$P(H_4)$				
	регульоване перехрестя	$P(H_{41})$				
	нерегульоване перехрестя	$P(H_{42})$				
	нерегульоване перехрестя нерівнозначних вулиць (доріг)	$P(H_{421})$				
	нерегульоване перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)	$P(H_{422})$				
	Інші	$P(H_5)$				
	Разом					

Відповідно до значень статистичних ймовірностей настання події, що розглядається – ДТП за участю ЗІМ – виконано аналіз кожного об’єкта ВДМ міської транспортної системи.

Тротуар, пішохідна доріжка, пішохідна зона

Згідно з ПДР України [13]:

- Тротуар – елемент дороги, призначений для руху пішоходів, що прилягає до проїзної частини або велосипедної доріжки, чи відокремлений від них газоном.
- Пішохідна доріжка – облаштована або пристосована для руху пішоходів смуга землі або поверхня штучної споруди, позначена знаком 4.16.
- Пішохідна зона – територія, призначена для руху пішоходів, початок і кінець якої позначені відповідно знаками 5.36 і 5.37.

Статистична ймовірність настання події за чотири періоди змінилася суттєво (табл.). Якщо у першому та другому періодах показники не перевищували 0,05, то у третьому й четвертому періодах спостерігається різке зростання, що свідчить про збільшення кількості ДТП за участю пішоходів.

Таблиця – Зміна статистичної ймовірності об'єкта ВДМ міської транспортної системи «тротуар, пішохідна доріжка, пішохідна зона» – $P(H_1)$

Номер періоду				
Значення $P(H_1)$				

Регресійний аналіз статистичної ймовірності $P(H_1)$ дав змогу визначити найбільш точний вид функції, що описує розподіл досліджуваних значень (рис. 6, табл.

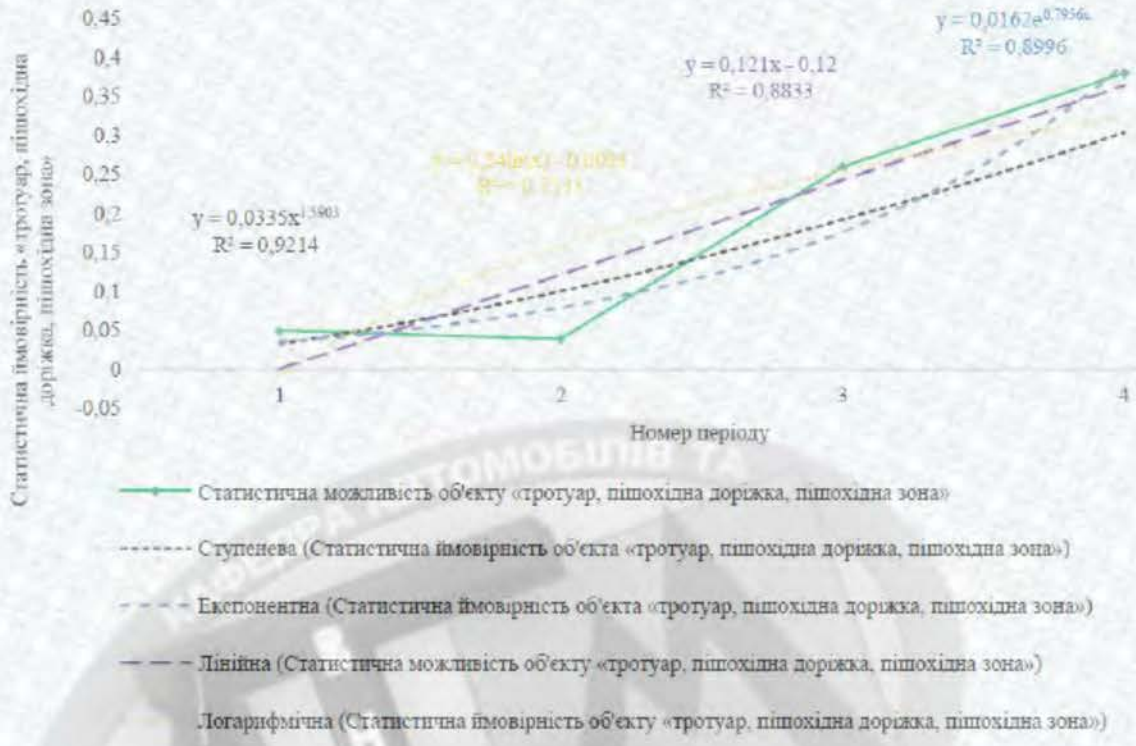


Рисунок – Графічний регресійний аналіз об'єкта ВДМ міської транспортної системи «тротуар, пішохідна доріжка, пішохідна зона» – $P(H_1)$

Таблиця – Рівняння регресії та значення коефіцієнта достовірності під час аналізу об'єкта ВДМ міської транспортної системи «тротуар, пішохідна доріжка, пішохідна зона» – $P(H_1)$

Найменування функції	Вид функціональної залежності	
Степенева	$y = 0{,}0335 \cdot x^{1{,}590}$	
Експоненціальна	$y = 0{,}0162 \cdot e^{0{,}796x}$	
Лінійна	$y = 0{,}121x - 0{,}12$	
Логарифмічна	$y = 0{,}24\ln(x) - 0{,}0081$	

Найточніше дані описуються степеневою функцією виду:

$$y = 0{,}0335 \cdot x^{1{,}590} \quad (3.5)$$

де – частка ДТП на об’єкті «тротуар, пішохідна доріжка, пішохідна зона»;

– номер періоду, що відповідає розглянутому року.

Отримане рівняння дає змогу здійснити прогнозування зміни частки ДТП для 5, 6 і 7 періоду, що відповідають 2025, 2026 і 2027 рокам (рис.

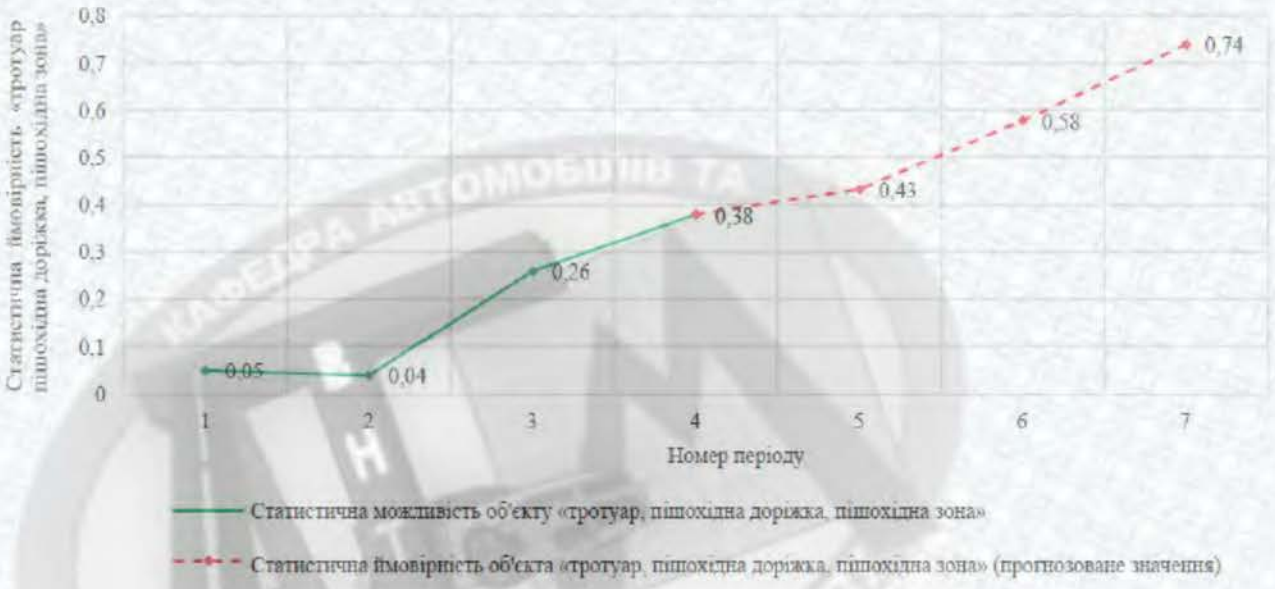


Рисунок – Прогнозовані значення зміни статистичної ймовірності $P(H_1)$ на об'єкті ВДМ транспортної системи міста «тротуар, пішохідна доріжка, пішохідна зона»

За результатами виконання процедури регресійного аналізу, яка дала змогу отримати рівняння зміни показника статистичної ймовірності, описане степеневою функцією, та спрогнозувати зміну досліджуваної величини на найближчі три періоди, що відповідають 2025– 027 рокам, встановлено, що значення показника продовжить зростати. Це свідчить про збільшення кількості ДТП на аналізованих об’єктах.

Виїзд з прилеглої території

Відповідно до ПДР України [73]:

Прилегла територія – територія, що межує з дорогою і не призначена для наскрізного руху транспортних засобів (дворові території, автостоянки, АЗС, торговельні майданчики тощо). Виїзди з прилеглої території не вважаються перехрестями.

Таким чином, ДТП за участю ЗІМ на цьому об'єкті ВДМ виникають під час в'їзду або виїзду транспортних засобів з таких територій.

Незважаючи на поступове зниження кількості подій, а відповідно й значення статистичної ймовірності виникнення ДТП на розглянутому об'єкті, показник залишається досить високим (табл.

Таблиця – Зміна статистичної ймовірності об'єкта ВДМ міської транспортної системи «виїзд з прилеглої території» – $P(H_2)$

Номер періоду				
Значення				

Аналіз статистичної ймовірності дозволив встановити найбільш точний вид функції, що описує розподіл досліджуваних значень (Рис. табл.

Рисунок Графічний регресійний аналіз об'єкта ВДМ транспортної системи міста «виїзд з прилеглою території»

Таблиця – Функціональні залежності для оцінювання ймовірності ДТП на виїздах із прилеглих територій – $P(H_2)$

	Аналітичний вигляд моделі	Коефіцієнт достовірності R^2
Степенева модель	ш$y = 0{,}1771 \cdot x^{0{,}638}$	
Експоненціальна модель	$y = 0{,}2047 \cdot e^{-0{,}1589x}$	
Лінійна модель	$y = -0{,}02x + 0{,}195$	
Логарифмічна модель	$y = -0{,}038 \ln(x) + 0{,}1749$	

Найбільш точно проаналізовані статистичні дані описуються лінійною регресійною моделлю такого вигляду:

$$y = -0.02 \cdot x + 0.195 \quad (3.6)$$

де – частка ДТП на об'єкті «виїзд із прилеглої території»;

– номер періоду, що відповідає певному календарному року.

Отримане рівняння дозволяє виконати прогнозування зміни частки ДТП на даному типі об'єктів ВДМ для 5 го, 6 го та 7 го періодів, що відповідають рокам 2025, 2026 та 2027 відповідно (рис.

Рисунок – Прогнозовані значення зміни статистичної ймовірності $P(H_2)$ на об'єкті ВДМ транспортної системи міста «виїзд з прилеглої території»

Виконані дослідження дали можливість отримати рівняння, яке описує зміну показника статистичної ймовірності ДТП на обраних об'єктах вулично дорожньої мережі. Модель побудована на основі лінійної залежності, що дозволило виконати прогноз зміни досліджуваного показника на найближчі три періоди – –2027 роки. Встановлено, що значення прогнозованої величини має тенденцію до зниження.

Пішохідний перехід

Пішохідні переходи у структурі об'єктів ВДМ є одними з ключових зон аварійності, а тому під час аналізу статистичної ймовірності необхідно враховувати їх різновиди. Відповідно до прийнятої моделі, повна статистична ймовірність ДТП на пішохідних переходах включає дві складові:

регульовані пішохідні переходи – $P(H_1)$

нерегульовані пішохідні переходи – $P(H_2)$

Для отримання коректних результатів аналіз виконується у двох напрямах:

– дослідження загального показника статистичної ймовірності – $P(H)$

– деталізація за складовими – $P(H_1)$та $P(H_2)$

Нормативне визначення (ПДР України)

Відповідно до пункту 1.10 Правил дорожнього руху України, пішохідний перехід – це ділянка проїзної частини, призначена для руху пішоходів через дорогу, позначена дорожніми знаками 5.35.1 «Пішохідний перехід», 5.35.2 «Кінець пішохідного переходу» та/або дорожньою розміткою –1.14.3, або іншим способом, передбаченим чинними нормативами.Зміна статистичної ймовірності ДТП

Динаміка зміни значень статистичної ймовірності ДТП на пішохідних переходах подана в табл

Аналіз статистичної ймовірності $P(H_3)$ дозволив встановити найбільш точний вид функції, що описує розподіл досліджуваних значень У випадку аналізу показників даного об'єкта, відзначимо, що з'являється новий вид функції – поліноміальний (табл.

Таблиця Зміна статистичної ймовірності об'єкта ВДМ в міський транспортної системі «пішохідний перехід» $P(H_3)$

Номер періоду				
Значення				

Таблиця Рівняння регресії та значення величини достовірності в результаті аналізу об'єкта ВДМ транспортної системи міста «пішохідний перехід» $P(H_3)$

Назва функції	Вид функціональної залежності	Достовірність R^2
Степенева	$y = 0{,}2743 \cdot x^{-0.109}$	
Експоненційна	$y = 0{,}3062 \cdot e^{-0.098 \cdot x}$	
Лінійна	–	
Логарифмічна	–	
Поліноміальна	–	

Найбільш точно розглянуті дані описуються поліноміальної функцією виду:

$$= -0{,}0425 \cdot \quad + 0{,}1975 \cdot$$

де y – частка ДТП на об'єкті пішохідний перехід;

– номер періоду, відповідний розглянутому року.

Отримане рівняння дозволяє здійснити прогнозування зміни частки ДТП для 5 періоду, що відповідає значенню 2025 року (Рис.

Рисунок – Прогнозовані значення зміни статистичної ймовірності $P(H_3)$ на об'єкті ВДМ транспортної системи міста «пішохідний перехід»

Зазначимо, що в цьому випадку прогноз було виконано лише на один період, оскільки для подальших періодів значення функції переходять у негативну область, що є неприйнятним для показників статистичної ймовірності.

У результаті виконаних робіт визначено рівняння, що ґрунтується на поліноміальній функції, яке описує зміну статистичної ймовірності для досліджуваного об'єкта «пішохідний перехід». Прогнозування засвідчило зниження відповідної величини.

Регульований пішохідний перехід

Даний показник є складовою частиною загального індикатора $P(H_3)$та позначається як $P(H_{31})$. Значення ряду статистичної ймовірності для регульованих пішохідних переходів наведено у табл

Таблиця Зміна статистичної ймовірності на об'єкті ВДМ в міський транспортної системі «регульований пішохідний перехід»

Номер періоду				
Значення				

Аналіз статистичної ймовірності дозволив встановити найбільш точний вид функції, що описує розподіл досліджуваних значень табл.

Таблиця – Рівняння регресії і значення величини достовірності в результаті аналізу об'єкта ВДМ транспортної системи міста «регульований пішохідний перехід» – *P(H1)*

Найменування функції	Вид функціональної залежності	Розмір достовірності,
Ступінь	$y = 0{,}1313 \cdot x$	
Експонентна	$y = 0{,}147 \cdot e^{\cdot x}$	
Лінійна	$y = -0{,}003 \cdot x + 0{,}14$	
Логарифмічна	$y = -0{,}034 \ln(x) + 0{,}1298$	
Поліноміальна	$y = -0{,}0325 \cdot x + 0{,}1595 \cdot x$	

Найточніше дані описуються поліноміальною функцією виду:

$$y = -0{,}0325 \cdot x^2 + 0{,}1595 \cdot x - 0{,}0225$$

де частка ДТП на об'єкті «регульований пішохідний перехід»;

номер періоду, відповідний розглянутому року.

Зазначимо, що отримане рівняння не дозволяє здійснити прогнозування зміни частки ДТП у зв'язку з негативними значеннями для прогнозованих періодів (Рис. 52).

За результатом виконаних процедур встановлено, що наявні значення статистичних ймовірностей по досліджуваному об'єкту не представляється можливим описати з допомогою загальновідомих рівнянь.

Нерегульований пішохідний перехід

Даний вигляд статистичної ймовірності також є різновидом показника позначається як $P(H_2)$ Значення даного об'єкта наочно представлені в табл

Таблиця – Зміна статистичної ймовірності об'єкта ВДМ в міський транспортної системі «нерегульований пішохідний перехід» $P(H_2)$

Номер периода				
Значение				

Аналіз статистичної ймовірності дозволив встановити найбільш точний вид функції, що описує розподіл досліджуваних значень (рис. табл.

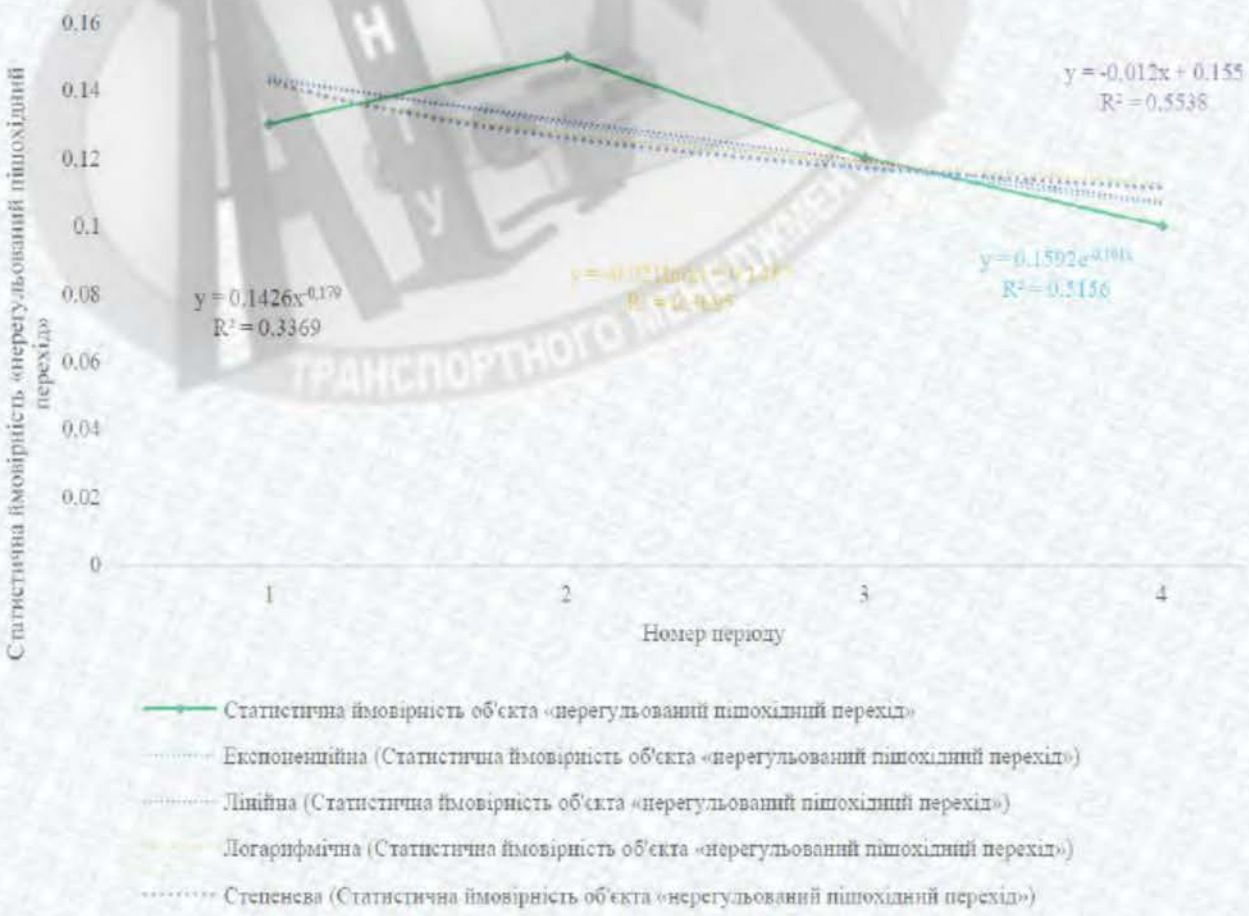


Рисунок Графічний регресійний аналіз об'єкта ВДМ транспортної системи міста «регульований пішохідний перехід» $P(H_2)$

Таблиця Рівняння регресії і значення величини достовірності в результаті аналізу об'єкта ВДМ транспортної системи міста «регульований пішохідний перехід» $P(H_1)$

Найменування функції	Вид функціональної залежності	Розмір достовірності,
Ступінь	$y = 0{,}1426 \cdot x$	
Експонентна	$y = 0{,}1592 \cdot e^{0{,}101 \cdot x}$	
Лінійна	$y = -0{,}012 \cdot x + 0{,}155$	
Логарифмічна	$y = -0{,}021 \ln(x) + 0{,}1417$	

Найточніше отримані статистичні дані описуються лінійною регресійною моделлю такого вигляду:

$$y = -0{,}012 \cdot x + 0{,}155 \quad (3.9)$$

де – частка ДТП на об’єкті нерегульований пішохідний перехід

– номер періоду, що відповідає конкретному року спостережень.

Побудована модель дає змогу виконати прогноз зміни частки ДТП на даному об’єкті в наступні періоди – п’ятий, шостий та сьомий, що відповідає 2025, 2026 і 2027 рокам відповідно (рис.

Отримані прогнозні значення дозволяють оцінити загальну тенденцію зміни аварійності на нерегульованих пішохідних переходах та використовувати модель для подальших інженерних і організаційних рішень у сфері підвищення безпеки дорожнього руху.

В результаті виконаних робіт визначено рівняння, що ґрунтується на лінійній функції, описує зміна статистичної ймовірності для досліджуваного об'єкта «нерегульований пішохідний перехід», в результаті прогнозування встановлено зниження досліджуваної величини.

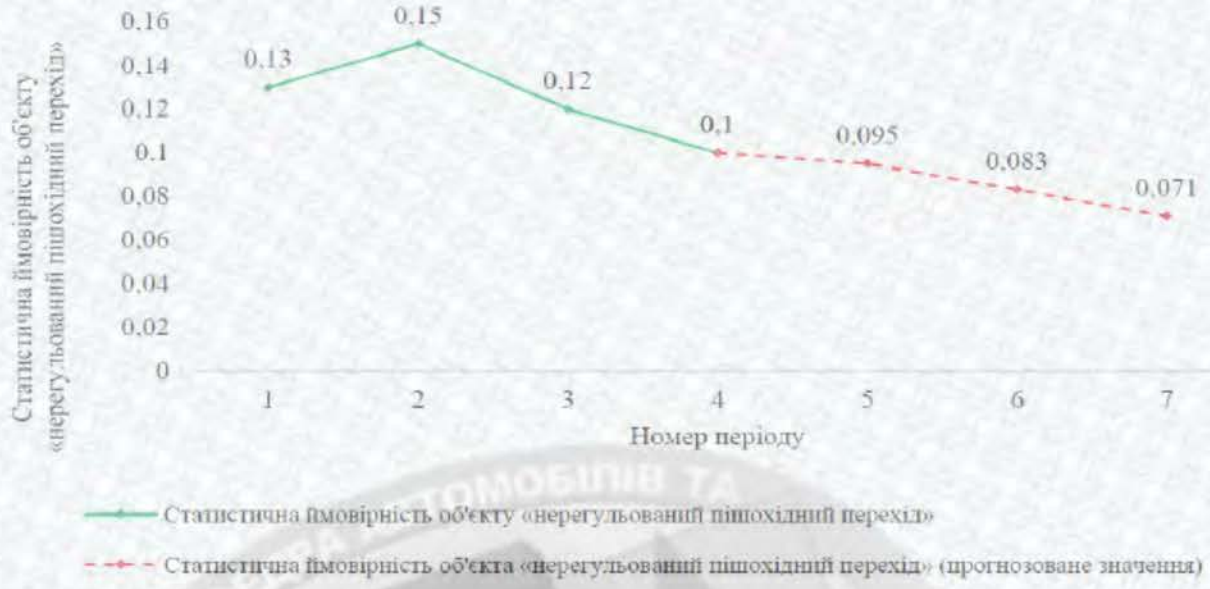


Рисунок Прогнозовані значення зміни статистичної ймовірності на об'єкті ВДМ транспортної системи міста «нерегульований пішохідний перехід»

Перехрестя

Відповідно до прийнятої моделі повної статистичної ймовірності, перехрестя у разі аналізу об'єктів мають певні різновиди, що потребує більш детального аналізу. У даному випадку необхідним заходом буде бути аналіз показників статистичної ймовірності у загальному вигляді і окремо по кожній складнику регульовані і нерегульовані , в свою чергу окремо будуть розглянуті різновиди нерегульованих перехресть нерегульований та нерегулювань перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)

Розглянемо докладніше зміна значень за спільним показником ерехрестя.

Відповідно до ПДР [ ] перехрестя місце перетину, примикання або розгалуження доріг на одному рівні, обмежене уявними лініями, що з'єднують відповідно протилежні, найбільш видалені від центру перехрестя початку закруглень проїжджих частин. Не вважаються перехрестями виїзди з прилеглих територій.

Зміна статистичної ймовірності представлена у табл.

Таблиця Зміна статистичної ймовірності об'єкта ВДМ у міській транспортній системі «перехрестя»

Номер періоду				
Значення Р (Н				

Аналіз статистичної ймовірності дозволив встановити найбільш точний вид функції, що описує розподіл досліджуваних значень (табл. 3.1

Таблиця Рівняння регресії та значення величини достовірності в результаті аналізу об'єкта ВДМ транспортної системи міста «пішохідний перехід»

Найменування функції	Вид функціональної залежності	Розмір достовірності,
Ступінь	$y = 0{,}2984 \cdot x$	
Експонентна	$y = 0{,}352 \cdot e^{0{,}17 \cdot x}$	
Лінійна	$y = -0{,}039 \cdot x + 0{,}33$	
Логарифмічна	$y = -0{,}076 \ln(x) + 0{,}293$	

Найточніше отримані дані описуються лінійною регресійною функцією:

$$y = -0{,}039 \cdot x + 0{,}33 \qquad (3.10)$$

де у – частка ДТП на об’єкті *«перехрестя»*

– номер періоду, що відповідає відповідному року спостережень.

Побудована модель дає можливість виконати прогноз зміни частки ДТП для п’ятого, шостого та сьомого періодів, що відповідає 2025, 2026 та 2027 рокам відповідно

На основі проведених розрахунків отримано рівняння, що ґрунтується на лінійній функції та описує зміну статистичної ймовірності для досліджуваного об’єкта перехрестя . Результати прогнозування свідчать про тенденцію до поступового зниження значення цього показника у наступні періоди.

Регульоване перехрестя

Регульоване перехрестя є складовим елементом загального показника $P(H_4)$ і у моделі позначається як $P(H_{41})$. Вихідні статистичні дані щодо даного об'єкта наведені у таблиці

Таблиця Зміна статистичної ймовірності об'єкта ВДМ в міський транспортної системі «регульований перехрестя»

Номер періоду				
Значення				

Аналіз статистичної ймовірності дозволив встановити найбільш точний вид функції, що описує розподіл досліджуваних значень (табл. 3

Таблиця Рівняння регресії і значення величини достовірності в результаті аналізу об'єкта ВДМ транспортної системи міста «регульований перехрестя» $P(H_{41})$

Найменування функції	Вид функціональної залежності	Розмір достовірності,
Ступінь	$y = 0{,}1318 \cdot x$	
Експонентна	$y = 0{,}1571 \cdot e^{0{,}18 \cdot x}$	
Лінійна	$y = -0{,}017 \cdot x + 0{,}145$	
Логарифмічна	$y = -0{,}033 \ln(x) + 0{,}1286$	

Найточніше отримані дані описуються лінійною функцією:

$$y = -0{,}017 \cdot x + 0{,}145 \qquad (3.11)$$

де – частка ДТП на об'єкті *«регульоване перехрестя»*

– номер періоду, що відповідає відповідному року спостережень.

Побудована регресійна модель дає змогу виконати прогноз зміни частки ДТП на наступні періоди – й, 6 й та 7 й, що відповідають 2025, 2026 і 2027

рокам. Згідно з прогнозом, спостерігається тенденція до поступового зниження статистичної ймовірності ДТП на регульованих перехрестях.

Таким чином, встановлене рівняння на основі лінійної функції адекватно описує зміну показника аварійності для досліджуваного об'єкта «регульоване перехрестя», а результати прогнозування підтверджують спадну динаміку значення даної величини.

Нерегульоване перехрестя

Нерегульоване перехрестя є складовою загального показника $P(H_4)$ та у моделі позначається як $P(H_{42})$. Початкові статистичні дані для цього об'єкта наведені у таблиці 3

Таблиця 3 Зміна статистичної ймовірності об'єкта ВДМ в міський транспортної системі «нерегульований перехрестя» $P(H_{42})$

Номер періоду				
Значення				

Аналіз статистичної ймовірності $P(H_{31})$ дозволив встановити найбільш точний вид функції, що описує розподіл досліджуваних значень (табл. 3

Таблиця 3 Рівняння регресії і значення величини достовірності в результаті аналізу об'єкта ВДМ транспортної системи міста «нерегульований перехрестя» $P(H_{42})$

Найменування функції	Вид функціональної залежності	Розмір достовірності,
Ступінь	$y = 0{,}1664 \cdot x$	
Експонентна	$y = 0{,}1956 \cdot e^{\cdot x}$	
Лінійна	$y = -0{,}022 \cdot x + 0{,}185$	
Логарифмічна	$y = -0{,}043 \ln(x) + 0{,}1643$	

Найточніше отримані дані описуються лінійною функцією:

$$y = -0{,}022 \cdot x + 0{,}185 \qquad (3.12)$$

де – частка ДТП на об'єкті *«нерегульоване перехрестя»*

– номер періоду, що відповідає конкретному року спостереження.

Побудоване рівняння дає змогу здійснити прогноз зміни частки ДТП на подальші періоди – й, 6 й та 7 й, що відповідають 2025, 2026 і 2027 рока. Прогнозована динаміка демонструє зниження ймовірності ДТП на нерегульованих перехрестях, що свідчить про можливе покращення умов безпеки або вплив змін у міській інфраструктурі та поведінці учасників руху.

Таким чином, побудована лінійна модель адекватно відображає тенденцію зміни статистичної ймовірності ДТП для досліджуваного об'єкта «нерегульоване перехрестя» та підтверджує загальне зниження значення цього показника в прогнозному періоді.

Нерегульоване перехрестя нерівнозначних вулиць (доріг)

Цей підвид є складовою загального показника $P(H_{42})$ та у класифікаційній моделі позначається як $P(H_{421})$. Він описує частку ДТП, що сталися на нерегульованих перехрестях нерівнозначних вулиць, де пріоритет руху визначається дорожніми знаками.

Початкові значення статистичної ймовірності для об'єкта $P(H_{421})$ наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3 Зміна статистичної ймовірності об'єкта ВДМ в міській транспортній системі «нерегульоване перехрестя нерівнозначних вулиць (доріг)» $P(H_{421})$

Номер періоду				
Значення				

Аналіз статистичної ймовірності $P(H_{421})$ дозволив встановити найбільш точний вид функції, що описує розподіл досліджуваних значень (табл. 3

Таблиця – Рівняння регресії і значення величини достовірності в результаті аналізу об'єкта ВДМ транспортної системи міста «нерегульований перехрестя нерівнозначних вулиць (доріг)» $P(H_{421})$

Найменування функції	Вид функціональної залежності	Розмір достовірності, R 2
Ступінь	$y = 0{,}1442 \cdot x^{-0{,}17}$	
Експонентна	$y = 0{,}1678 \cdot e^{-0{,}11 \cdot x}$	
Лінійна	$y = -0{,}018 \cdot x + 0{,}16$	
Логарифмічна	$y = -0{,}035 \ln(x) + 0{,}1427$	

Найточніше отримані дані описуються лінійною функцією:

$$y = -0{,}018 \cdot x + 0{,}16 \qquad (3.13)$$

де – частка ДТП на об'єкті «нерегульоване перехрестя нерівнозначних вулиць (доріг)»;

– номер періоду, що відповідає конкретному року спостереження.

Отримане рівняння дає змогу здійснити прогноз зміни частки ДТП на подальші періоди – й, 6 й і 7 й, тобто на 2025, 2026 та 2027 роки. Прогнозована динаміка демонструє зниження значення показника, що свідчить про ймовірне покращення безпеки руху на нерегульованих перехрестях нерівнозначних вулиць або підвищення адаптованості користувачів ЗІМ до дорожньої інфраструктури.

Таким чином, побудована лінійна модель адекватно відображає тенденцію зміни статистичної ймовірності ДТП для цього виду об'єктів УДС, а результати прогнозування підтверджують подальше зниження досліджуваного показника.

Нерегульоване перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)

Цей різновид є складовою частиною загального показника $P(H_{42})$ та у класифікаційній структурі позначається як $P(H_{422})$. Він характеризує частку ДТП, що сталися на перехрестях рівнозначних вулиць без світлофорного регулювання та без встановлення пріоритетних дорожніх знаків. Саме на таких ділянках особливо важливими є навички оцінки дорожньої обстановки та дотримання принципу «правила правої руки».

Початкові значення статистичної ймовірності для об'єкта $P(H_{422})$ наведені в табл

Таблиця – Зміна статистичної ймовірності об'єкта ВДМ в міській транспортній системі «нерегульоване перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)» $P(H_{422})$

Номер періоду				
Значення $P(H_{422})$				

Аналіз статистичної ймовірності $P(H_{422})$ дозволив встановити найбільш точний вид функції, що описує розподіл досліджуваних значень (табл. 3

Таблиця – Рівняння регресії і значення величини достовірності в результаті аналізу об'єкта ВДМ транспортної системи міста «нерегульований перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)»

Найменування функції	Вид функціональної залежності	Розмір достовірності,
Ступінь	$y = 0{,}0223 \cdot x$	
Експонентна	$y = 0{,}0283 \cdot e^{0{,}277 \cdot x}$	
Лінійна	$y = -0{,}004 \cdot x + 0{,}025$	
Логарифмічна	$y = -0{,}008 \ln(x) + 0{,}0216$	

Найточніше отримані дані описуються лінійною функцією:

$$y = -0{,}004 \cdot x + 0{,}025 \quad (32)$$

де у – частка ДТП на об'єкті «нерегульоване перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)»;

– номер періоду, що відповідає конкретному року спостереження.

Побудована регресійна модель дає змогу здійснити прогноз зміни частки ДТП для 5 го та 6 го періодів (тобто для 2025 і 2026 років). Для 2027 року прогнозоване значення переходить у від'ємну область, що робить подальше екстраполювання недопустимим та свідчить про вичерпання лінійної тенденції.

У результаті виконаного аналізу встановлено, що лінійне рівняння адекватно описує зміну статистичної ймовірності ДТП для об'єкта «нерегульоване перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)». Прогноз демонструє подальше зниження значення показника, що може свідчити про зменшення кількості конфліктних ситуацій або адаптацію користувачів ЗІМ до дорожнього середовища таких ділянок.

У загальному вигляді математична модель оцінки аварійності об'єктів міської вулично дорожньої мережі з урахуванням появи нового виду транспорту – засобів індивідуальної мобільності (ЗІМ) – має вигляд:

$$P(H) = \begin{cases} P(H_1) \\ P(H_2) \\ P(H_3) \\ P(H_4) \\ P(H_5) \end{cases} = \begin{cases} y = 0{,}0335 \cdot x^{1{,}5903} \\ y = -0{,}02 \cdot x + 0{,}195 \\ y = -0{,}0425 \cdot x^2 + 0{,}1975 \cdot x + 0{,}0825 \\ y = -0{,}039 \cdot x + 0{,}33 \\ y = 0{,}2691 \cdot x^{-0{,}608} \end{cases}$$

де $P(H_1)$ – статистична ймовірність ДТП на тротуарах, пішохідних доріжках і в пішохідних зонах;

$P(H_2)$ – статистична ймовірність ДТП на виїздах із прилеглих територій;

$P(H_3)$ – ймовірність ДТП на пішохідних переходах (регульованих і нерегульованих);

$P(H_4)$ – ймовірність ДТП на перехрестях (регульованих та нерегульованих);

– ймовірність ДТП на інших елементах УДС.

Отримані регресійні залежності дають можливість виконати оцінку рівня аварійності за кожним видом об'єктів та визначити прогнозовану ймовірність настання ДТП. Зведені результати оцінки наведено у табл

Таблиця – Результати математичного розрахунку

№ п/п	Найменування об'єкта ВДМ	Отримане рівняння функції	Величина достовірності, R^2
	тротуар, пішохідна доріжка, пішохідна зона	$y = 0{,}0335 \cdot x$	
	виїзд із прилеглої території	$y = -0{,}02 \cdot x$	
	пішохідний перехід	$y = -0{,}0425 \cdot x + 0{,}1975 \cdot x$	
	регульований пішохідний перехід	$y = -0{,}0325 \cdot x + 0{,}1595 \cdot x$	
	нерегульований пішохідний перехід	$y = -0{,}012 \cdot x$	
	перехрестя	$y = -0{,}039 \cdot x$	
	регульований перехрестя	$y = -0{,}017 \cdot x$	
	нерегульований перехрестя	$y = -0{,}022 \cdot x$	
	нерегульований перехрестя нерівнозначних вулиць (доріг)	$y = -0{,}018 \cdot x$	
	нерегульований перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)	$y = 0{,}0283 \cdot e^{0{,}277 \cdot x}$	
	інші	$y = 0{,}2691 \cdot x$	

Найвищий рівень прогнозованої аварійності фіксується для тротуарів, пішохідних доріжок і пішохідних зон – у діапазоні 0,43–0,74, при цьому спостерігається чітка тенденція до подальшого зростання. Це може бути наслідком збільшення пішохідного навантаження, зношеності міської інфраструктури або недостатності інженерних та організаційних заходів безпеки.

Для виїздів із прилеглих територій навпаки простежується стабільне зниження аварійності – з 0,095 до 0,055, що може свідчити про покращення організації дорожнього руху, облаштування зон видимості або впровадження додаткових обмежень швидкості.

Нерегульовані пішохідні переходи також демонструють зниження показника аварійності – з 0,095 до 0,071. Хоча це позитивна тенденція, рівень ризику все ще залишається відносно високим з огляду на підвищену вразливість пішоходів на таких ділянках.

Перехрестя загалом показують спад аварійності – з 0,135 до 0,057. Особливо виражене зниження спостерігається на регульованих перехрестях (з 0,06 до 0,026) та нерегульованих (з 0,075 до 0,031). Це вказує на ефективність комплексних заходів – світлофорного регулювання, дорожніх знаків, організації пріоритетів руху та контролю.

Найнижчий рівень аварійності прогнозується для нерегульованих перехресть рівнозначних вулиць – 0,005 та 0,001, що, ймовірно, пов'язано з меншою інтенсивністю руху на таких ділянках та доброю оглядовістю.

Отримані математичні результати стали основою для розроблення інформаційно цифрової (інтелектуальної) системи підвищення ефективності організації дорожнього руху для ЗІМ у міських транспортних системах. Зокрема, система враховує індекс безпеки дорожнього руху для ключових об'єктів вулично дорожньої мережі та дозволяє здійснювати прогнозування ризиків.

3.3. Висновки до розділу 3

У процесі оцінювання аварійності елементів міської ВДМ з урахуванням використання ЗІМ була побудована ієрархічна структура, яка відображає ймовірність виникнення ДТП на різних типах об’єктів. До найбільш ризикових ділянок віднесено:

- тротуари, пішохідні доріжки та пішохідні зони;
- пішохідні переходи (регульовані та нерегульовані);
- виїзди з прилеглих територій;
- регульовані та нерегульовані перехрестя (у т.ч. рівнозначні й нерівнозначні);
- інші елементи ВДМ зі змішаною організацією руху.

На основі статистичних даних та просторового аналізу локалізації ДТП було виконано математичне моделювання, яке дозволило визначити рівняння для оцінювання ймовірності виникнення аварійних подій на кожному з визначених типів об’єктів. Побудовані моделі мають високі значення коефіцієнтів детермінації (R^2 = 0,64–0,92), що підтверджує їх адекватність та прогностичну достовірність.

Удосконалено математичну модель оцінки аварійності. об'єктів міський ВДМ з обліком специфіки руху ЗІМ, яка може бути використана для прогнозування ризиків, планування інфраструктурних заходів і підвищення безпеки в умовах зростаючого попиту на ЗІМ.

РОЗДІЛ
СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ДЛЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

4.1 Принципи стійкої міської транспортної системи

Міська транспортна система охоплює сукупність взаємопов'язаних елементів, до яких належать транспортні засоби, інженерно транспортна інфраструктура та організаційні механізми, що забезпечують їх ефективне функціонування [ ]. Одним із ключових напрямів розвитку сучасних міст є формування стійкої транспортної системи, орієнтованої на безпеку, екологічність, доступність і ефективність.

Україна бере активну участь у міжнародних програмах, спрямованих на розвиток сталого міського транспорту, зокрема у ініціативах Європейської економічної комісії ООН (UNECE) та Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) у межах програми THE PEP

– Пан'європейська програма з транспорту, здоров'я та довкілля).

Програма THE PEP об'єднує європейські держави та міста, які прагнуть підвищити якість міського середовища шляхом інтеграції транспортної, екологічної та соціальної політики. Основна увага приділяється таким напрямам:

– розвиток активної мобільності (ходьба, велосипед, персональні легкі електротранспортні засоби – ЗІМ);

– скорочення використання приватного автомобільного транспорту;

– зменшення транспортних викидів та підвищення екологічності пересування;

– підвищення рівня безпеки дорожнього руху, особливо для вразливих учасників;

– удосконалення міського та просторового планування з орієнтацією на зручність і безпечність пересування.

Для реалізації одного з основних напрямів організації роботи транспортної системи міста по засобам розвитку немоторизованих видів транспорту, до яким можна віднести ЗІМ необхідно організувати управління міським рухом по засобам застосування сучасних ІТС на основі забезпечення безпеки дорожнього руху

Схема представляє собою модель причинно наслідкових зв'язків в процесі формування стійкою міський транспортної системи. Вона складається з кількох рівнів, відбивають зовнішні умови, управлінські заходи, стратегічні напрями діяльності та цільові показники ефективності.

1. Перший рівень – чинники зовнішнього середовища.

На першому рівні розташовані фактори, що впливають на транспортну систему та визначають контекст її функціонування:

- Транспортний попит – обсяг та структура переміщень населення і вантажів;
- Містобудівна політика та політика у сфері землекористування – вплив планування території, щільності забудови, розміщення об'єктів інфраструктури;
- Економічна політика – державні заходи щодо стимулювання або обмеження транспортних витрат, податкова політика;
- Соціально економічна політика – рівень доходів населення, доступність транспортних послуг, наявність соціальних програм;
- Транспортна поведінка населення – переваги у виборі видів транспорту, культура дорожнього руху.

Ці чинники є екзогенними змінними, що справляють прямий вплив на стратегію управління транспортною системою міста.

2. Другий рівень – організація роботи транспортної системи

Центральний блок «Організація роботи транспортної системи міста» виступає інтегруючим механізмом, який узагальнює інформацію про зовнішні

фактори та перетворює її на конкретні управлінські рішення.

Від цього блоку формуються керуючі впливи у вигляді п'яти ключових напрямів:

- Паркувальна політика та обмежувальні заходи для автовласників – управління попитом на автомобільні перевезення;
- Впровадження ІТС (інтелектуальних транспортних систем) та сучасних ІТ рішень – цифровізація управління транспортом, автоматизація, інформаційні платформи;
- Оновлення транспортної інфраструктури та будівництво нових транспортних об'єктів – розвиток дорожньої мережі, пересадкових вузлів, велоінфраструктури тощо;
- Організація та управління міським рухом, розвиток послуг міського транспорту спільного користування (ГОТ) – оптимізація маршрутів, частоти руху, підвищення якості сервісу;
- Розвиток немоторизованих видів пересування – створення умов для пішоходів і велосипедистів (велодоріжки, пішохідні зони, безпечні перехрестя).

3. Третій рівень – цільові ефекти та критерії ефективності

Нижній рівень моделі охоплює цільові показники, яких планується досягти внаслідок реалізації заходів. Ці орієнтири слугують індикаторами сталого розвитку міської транспортної системи і відображають основні аспекти її ефективності:

- Скорочення часу пересування усіма видами транспортних кореспонденцій;
- Зменшення сумарного споживання ресурсів, зокрема палива, електроенергії та конструкційних матеріалів;
- Підвищення енергоефективності через мінімізацію енерговитрат на одиницю пасажирського або вантажного перевезення;
- Раціональний розподіл транспортного попиту по території міста з урахуванням функціональних зон і пропускної спроможності інфраструктури;

- Забезпечення екологічної безпеки шляхом зменшення викидів та негативного впливу на довкілля;
- Підвищення рівня безпеки дорожнього руху – виділене як пріоритетний напрям (позначено червоним на схемі), що підкреслює його стратегічну важливість у транспортному плануванні;
- Зниження рівня автомобілізації – зменшення залежності від особистого автомобільного транспорту та стимулювання використання альтернативних, більш сталих видів пересування.

Ці цільові ефекти формують комплексний критерійний базис для оцінки результативності транспортних реформ та інтеграції нових рішень, включно з розвитком інфраструктури для засобів індивідуальної мобільності.

Кінцевий результат

На нижньому рівні схеми подано кінцевий результат – формування стійкої міської транспортної системи, яка забезпечує баланс між економічними, екологічними та соціальними інтересами.

Усі зовнішні фактори (верхній рівень) впливають на організацію роботи транспортної системи. Від неї залежать реалізовані заходи (середній рівень). Заходи, у свою чергу, сприяють досягненню цільових ефектів (нижній рівень). Кожен елемент середнього рівня пов'язаний із відповідними цілями, що свідчить про багатокритеріальність і системність підходу.

Особливу увагу в моделі приділено безпеці дорожнього руху та розвитку немоторизованих видів пересування, що відповідає сучасним тенденціям міського планування та принципам сталого розвитку.

Представлена схема є системною моделлю управління міською транспортною системою, побудованою на засадах інтегрованого підходу. Вона враховує економічні, екологічні, соціальні та технологічні аспекти. Така модель може бути використана у наукових дослідженнях, під час проєктування транспортної політики, а також у розробці стратегічних планів розвитку міст.

Інтелектуальна система підвищення ефективності організації дорожнього руху для ЗІМ в міських транспортних системах

У рамках виконаного дослідження, дотримуючись принципів стійкої міської транспортної системи, було розроблено інформаційно цифрову (інтелектуальну) систему підвищення ефективності організації дорожнього руху для ЗІМ у міських транспортних комплексах. Основою системи є показник безпеки дорожнього руху для ключових елементів вулично дорожньої мережі (ВДМ). Принцип роботи системи базується на математичній моделі оцінювання аварійності елементів ВДМ з урахуванням появи нового виду транспорту – ЗІМ, а також передбачає своєчасне оповіщення водія ЗІМ про потенційну небезпеку та примусове зниження швидкості на особливо аварійно небезпечних ділянках.

Функціонування системи забезпечується роботою модулів і виконавчих елементів міської транспортної інфраструктури, зокрема детекторів транспорту, камер фото та відеофіксації, а також індивідуальних модулів, якими оснащуються ЗІМ. Завдяки системі моніторингу та виявлення визначається наявність ЗІМ, його траєкторія руху та конкретний елемент ВДМ, по якому він рухається.

Аналітичний модуль, що працює на основі математичної моделі оцінки аварійності елементів ВДМ із урахуванням руху ЗІМ, здійснює розрахунок імовірності виникнення ДТП відповідно до визначеної градації (табл. 42). У разі досягнення порогових значень ризику система сповіщає водія ЗІМ за допомогою вібраційного сигналу та ініціює примусове зниження швидкості або повну зупинку транспортного засобу.

Таблиця – Рівні градації ймовірності виникнення ДТП на елементах ВДМ

Рівень градації				
Значення ймовірності виникнення події				
Дія	вібраційний вплив	примусове зниження швидкості до км/год	примусово зниження швидкості до 7 км/год	повна зупинка

В результаті виконаних економічних розрахунків встановлено, що використання розробленою інформаційно цифровий (інтелектуальної) системи підвищення ефективності організації дорожнього руху для ЗІМ в міських транспортних системах, на основі показника безпеки дорожнього руху основних елементів ВДМ у масштабах м. Вінниці вимагатиме близько 1,5 млн гривень для обладнання основних елементів ВДМ виконавчими пристроями що дозволяють здійснювати функцію «виявлення» і вибудовування гнучкого модуля зв'язку по засобам окремо виділеного каналу GPS для реалізації функції "впливу".

Економічний ефект від впровадження системи полягає у зниженні соціальної напруженості за рахунок мінімізації тяжкості наслідків від ДТП з участю ЗІМ і підтримки стійкості міський транспортної системи, заснованою на принцип безпеки дорожнього руху.

Інтегральний економічний ефект від впровадження інформаційно цифровий (інтелектуальної) системи

Інтегральний економічний ефект IEE) полягає у підвищенні мобільності населення та економії матеріальних та фінансових ресурсів [

Таблиця 4 – Дані для розрахунку

Параметр	Позначення	Значення	Одиниці
Вартість електросамокату	$P_{ЗІМ}$		грн
Термін служби ЗІМ			року
Річні витрати на ТО та зарядку	$C_{ЗІМ}$		грн рік
Річні витрати на автомобіль	$C_{авто}$		грн рік
Економія часу в день	Δt		години/день
Робочих днів у році	–		днів
Вартість години часу	ω		грн./год
Зниження викидів CO_2	ΔE	150 кг	на рік (на користувача)
Ціна за 1 т CO_2 (тіньова)	ρ_{CO_2}		грн/тонна
Норма дисконту	r		
Горизонт аналізу	T		року

Розрахуємо інтегральний економічний ефект для одного користувача, який перейшов з особистого автомобіля на електросамокат (як типовий ЗІМ) в міських умовах.

$$\text{IEE} = \sum_{t=0}^{T} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

де B_t– вигоди у році

C_t– витрати у році

$r = 0{,}08$– ставка дисконту;

$T = 3$– період розрахунку.

Розрахунок річних вигод B_t

Економія на транспортних витратах

$$B_t^{\text{фін}} = C_{\text{авто}} - C_{\text{ЗІМ}} = 60000 - 1000 = 59000 \text{ грн/рік}$$

Економія часу

$$B_t^{\text{фін}} = \Delta t \cdot \text{дні} \cdot \omega = 0{,}5 \cdot 250 \cdot 250 = 31250 \text{ грн/рік}$$

Екологічний ефект (зниження викидів)

$$B_t^{\text{екологія}} = \Delta E \cdot p_{CO_2} = 0{,}150 \cdot 250 = 37{,}5 \text{ грн/рік}$$

Разом річні вигоди (для

$$Bt = 59000 + 31250 + 37{,}5 = 90287{,}5 \text{ грн/рік}$$

Розрахунок річних витрат Ct

Таблиця 4 – Розрахунок річних витрат

Рік	Витрати
	C 0000 (купівля ЗІМ
	C ТО і зарядка)

Дисконтування грошових потоків

$$\text{IEE} = \frac{B_0 - C_0}{(1+r)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \frac{B_3 - C_3}{(1+r)^3}$$

Оскільки при t = 0 $B_0 = 0$ $C_0 = 40000$ маємо:

$$\text{IEE} = \frac{-20000}{1} + \frac{90287{,}5 - 1000}{1{,}08} + \frac{90287{,}5 - 1000}{1{,}08^2} + \frac{90287{,}5 - 1000}{1{,}08^3} =$$

$$= -20000 + \frac{89287{,}5}{1{,}08} + \frac{89287{,}5}{1{,}1664} + \frac{89287{,}5}{1{,}2597} = 210103 \text{ грн}$$

Це означає, що протягом 3 років використання електросамоката замість автомобіля один користувач отримує інтегральний економічний ефект приблизно тис. грн, який включає:

- Економія на транспорті: тис. грн (3 роки × тис.)
- Економія часу: тис. грн
- Екологічний ефект: грн
- Мінус витрати на придбання та обслуговування ЗІМ

Основний внесок – економія часу, що відображає високу вартість часу в умовах міста.

7. Узагальнення на масштаби міста

Якщо = 1000 осіб перейдуть на ЗІМ:

$$\text{IEE}_{\text{місто}} = 1000 \cdot 210103 = 2{,}1 \text{ млн грн.}$$

(за 3 роки, з урахуванням дисконтування)

Таким чином, ІЕЕ від використання ЗІМ можна точно описати математично:

$$\text{IEE} = -P_{\text{ЗІМ}} + \sum_{t=1}^{L} \frac{(C_{\text{авто}} - C_{\text{ЗІМ}}) + \Delta t \cdot D \cdot \omega + \Delta E \cdot p_{CO_2}}{(1+r)^t} \qquad (4.2)$$

де – кількість поїздок/днів у році;

ΔЕ – зниження викидів (у тоннах CO_2).

При обліку тимчасових, фінансових і екологічних вигод, використання ЗІМ дає значний позитивний інтегральний економічний ефект, особливо у великих містах із високою вартістю часу та транспортними заторами.

Порівняно невисокі витрати для міської транспортної системи є обґрунтованими, оскільки їх реалізація може бути забезпечена в рамках державних та регіональних програм розвитку інтелектуальних транспортних систем (ІТС), а також місцевих програм цифрової модернізації інфраструктури.

Економічний ефект від упровадження системи полягає у зниженні соціальної напруженості, мінімізації тяжкості наслідків ДТП за участю ЗІМ та підвищенні стійкості міської транспортної системи, що базується на принципах безпеки дорожнього руху.

Висновки до розділу

В результаті виконаних математичних розрахунків була розроблена інформаційно цифрова (інтелектуальна) системи підвищення ефективності організації дорожнього руху для ЗІМ в міських транспортних системах, на основі показника безпеки дорожнього руху основних об'єктів вулично дорожній мережі.

Інтегральний економічний ефект було отримано за рахунок сумарної економічної вигоди, що виникає на рівні окремого користувача, міської транспортної системи та суспільства в цілому внаслідок переходу на малогабаритні, енергоефективні та екологічні види транспорту (електросамокати, велосипеди, гіроскутери тощо).

ВИСНОВОК

Аналіз світового досвіду використання ЗІМ та впроваджених заходів законодавчого регулювання свідчить, щодо найбільш поширених державних рішень у різних країнах належать, зокрема:

– запровадження обов'язкової реєстрації ЗІМ;

– визначення правового статусу нових учасників дорожнього руху та встановлення правил їх експлуатації.

Були сформовані інформаційні моделі руху ЗІМ за типами сценаріїв користування. Для кожного сценарію визначено набір об'єктів відвідування та цільову функцію, що ґрунтується на часових витратах користувачів: «разове використання» – включає 12 об'єктів та описується цільовою функцією.

У процесі оцінювання аварійності елементів міської ВДМ з урахуванням використання ЗІМ була побудована ієрархічна структура, яка відображає ймовірність виникнення ДТП на різних типах об'єктів. До найбільш ризикових ділянок віднесено тротуари, пішохідні доріжки та пішохідні зони; пішохідні переходи (регульовані та нерегульовані); виїзди з прилеглих територій; регульовані та нерегульовані перехрестя (у т.ч. рівнозначні й нерівнозначні); інші елементи ВДМ зі змішаною організацією руху.

Удосконалено математичну модель оцінки аварійності. об'єктів міський ВДМ з обліком специфіки руху ЗІМ, яка може бути використана для прогнозування ризиків, планування інфраструктурних заходів і підвищення безпеки в умовах зростаючого попиту на ЗІМ.

Протягом 3 років використання електросамоката замість автомобіля один користувач отримує інтегральний економічний ефект приблизно 210 тис. грн, який включає економію на транспорті тис. грн; економію часу тис. грн екологічний ефект: грн Основний внесок – економія часу, що відображає високу вартість часу в умовах міста.

Економічний ефект від упровадження системи полягає у зниженні соціальної напруженості, мінімізації тяжкості наслідків ДТП за участю ЗІМ та підвищенні стійкості міської транспортної системи, що базується на принципах безпеки дорожнього руху.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Галущак О.О. Тенденцій застосування засобів індивідуальної мобільності // О.О. Галущак, Д. О. Галущак, О. М. Кулик / Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи: Матеріали Всеукраїнської науково практичної інтернет конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН – ВНТУ, 2025. – Режим доступу:

Методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт для здобувачів спеціальності 75 «Транспортні технології (за видами) спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті) [Електронний ресурс] / уклад.: В. В. Біліченко, С. В. Цимбал, В. П. Кужель. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 82 с..

Закон України «Про автомобільний транспорт» : Закон України від 05 квіт. 2001 р. № 2344 III // Відомості Верховної Ради України. — — № — Ст. 105.

Про Правила дорожнього руху : постанова Кабінету Міністрів України від 10 жовт. 2001 р. № 1306 // Офіційний вісник України. — — № 41. — Ст. 1852.

Електросамокати прирівняли до автомобілів. Їх водіям заборонено їздити тротуарами та пішохідними доріжками [Електронний ресурс]. –

ta (дата звернення: 20.10.2025).

2. Безпечний урбан транспорт: громада звернулась до Кабміну щодо законодавчого врегулювання електросамокатів[Електронний ресурс]. –

ektrosamokativ (дата звернення: 20.10.2025).

В Україні зростає кількість ДТП за участю електросамокатів, порушників карають штрафами до 17 тис. грн [Електронний ресурс]. –

(дата звернення: 20.10.2025).

В Україні зростає кількість ДТП за участю електросамокатів порушників карають штрафами до 17 тис. грн [Електронний ресурс]. –

(дата звернення: 20.10.2025).

У місті працює п’ять операторів з прокату електросамокатів. Яка вартість оренди в кожного? [Електронний ресурс]. –

(дата звернення: 20.10.2025).

Електросамокати та велосипеди: правила і обмеження у 2025 році [Електронний ресурс]. –

(дата звернення: 2

Кількість ДТП за участю електросамокатів зростає [Електронний ресурс]. – (дата звернення:

Статистика ДТП в Україні [Електронний ресурс]. –

(дата звернення: 2

Попит на електросамокати в Україні зріс майже на 30% за рік [Електронний ресурс]. –

(дата звернення: 2

Г. Г. Птиця, «Визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування.» Дис. канд. техн. наук., 05.22.01 «Транспортні системи», ХНАДУ, Харків, 2016

[Електронний ресурс]. –

(дата звернення:

— — — —

– –

— —

— —

— Vol. 13, № 21. —

European Commission. Сумісні і Smart Mobility Strategy.

mobilitystrategy_en (дата звернення: 05.04.2025).

Vol. 61, № 2.

Scooters в Urban Mobility: A Case

Vol. 5, № 1. –

ДОДАТКИ

Додаток А (обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ВУЛИЧНО ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА ВІННИЦІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ

(Назва магістерської кваліфікаційної роботи)

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра АТМ

ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА ВІННИЦІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ

зі спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами)
за спеціалізацією 275.03 – Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)

Керівник роботи к.т.н., доц. Галущак О.О.
Розробив студент гр. 1ТТ-24м Кулик О.М.

Вінниця ВНТУ 2025

Мета і завдання дослідження

Мета роботи підвищення безпеки учасників дорожнього руху з урахуванням використання засобів індивідуальної мобільності на міській вулично дорожній мережі

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання

проведення досліджень, спрямованих на оцінку показників аварійності з участю засобів індивідуальної мобільності

аналіз міської вулично дорожньої мережі для визначення можливостей рухи засобів індивідуальної мобільності

математичне моделювання оцінки аварійності об'єктів дорожньої інфраструктури у міській транспортній системі

визначення інтегрального економічного ефекту від застосування результатів дослідження в міській транспортній системі

Об'єкт дослідження міська вулично дорожня мережа

Предмет дослідження рух засобів індивідуальної мобільності по міській вулично дорожній мережі

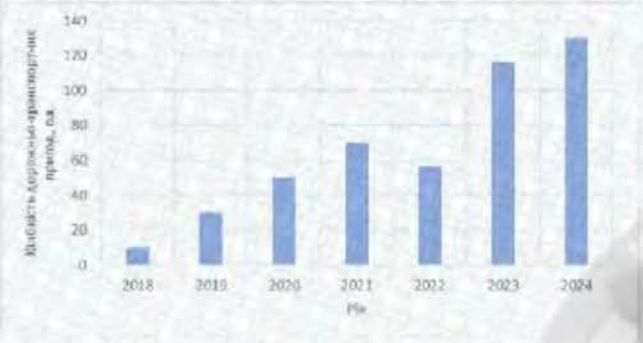
Новизна одержаних результатів

залежність між часовим періодом та кількістю дорожньо транспортних подій з участю засобів індивідуальної мобільності, яка дозволила вдосконалити мультиплікативну модель для виконання прогнозу дорожніх аварій

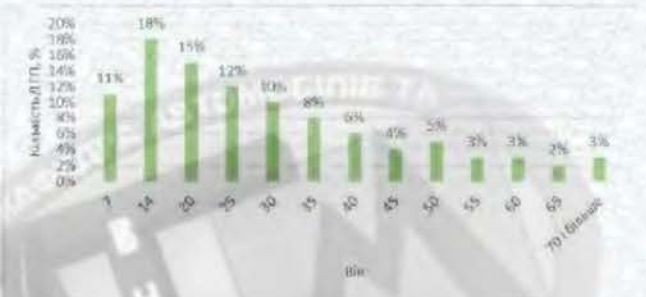
математична модель прогнозування кількості ДТП з участю засобів індивідуальної мобільності на об'єктах дорожньої інфраструктури в міській транспортній системі

Частина результатів роботи доповідались та обговорювались на Всеукраїнській науково практичній Інтернет конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці дослідження, проблеми, перспективи

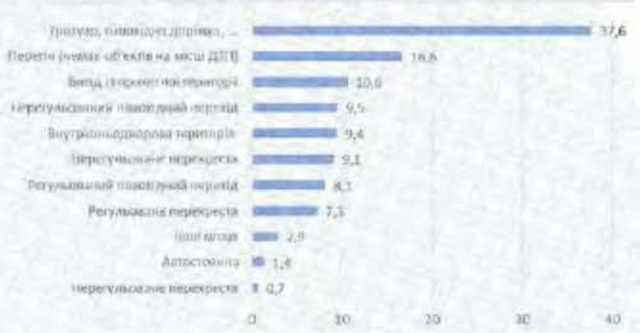
ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ У СВІТІ ТА МІСТІ ВІННИЦЯ



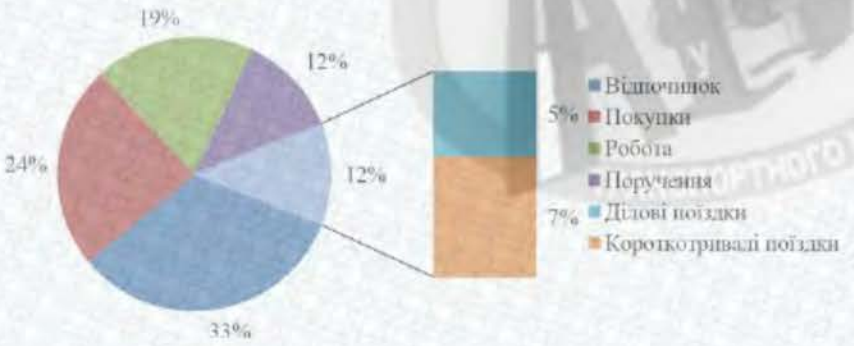
Гістограма кількості ДТП з участю ЗІМ



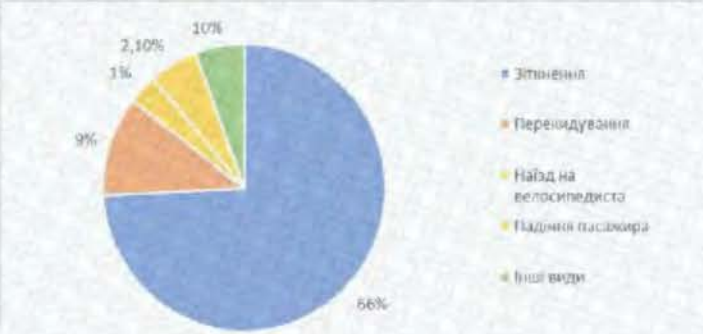
Гістограма вікової частки потерпілих у ДТП за участю ЗІМ



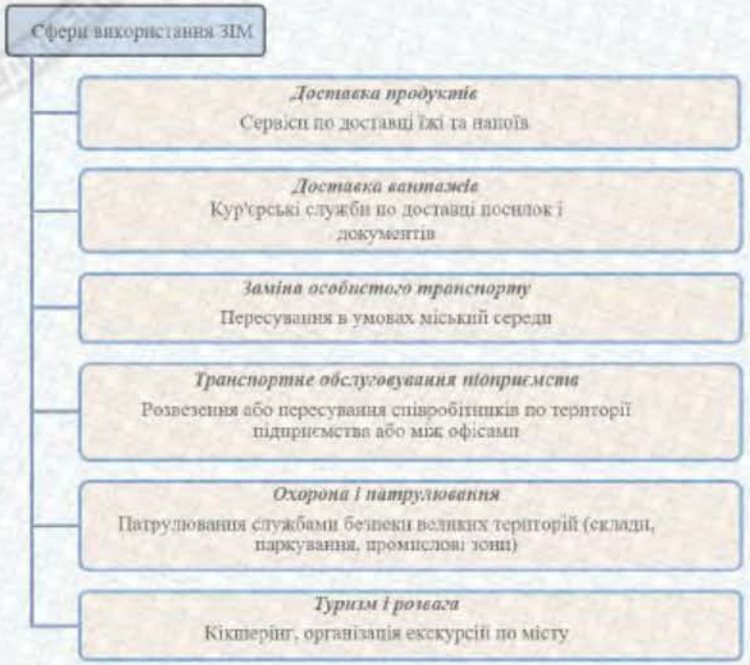
Лінійчаста гістограма частки ДТП з а участю ЗІМ на об'єктах ВДМ



Цілі поїздок на засобах індивідуальної мобільності серед населення м. Мюнхен



Основні види ДТП за участю засобів індивідуальної мобільності



Сфери використання ЗІМ

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ

Переваги	Недоліки
Комфортні умови паркування	Аварійність;
Екологічність	Підвищена травмонебезпечність
Сприятливість пересування на короткі відстані	Відсутність безпечної інфраструктури;
фізична активність	Відсутність манери водіння;
Економія часу	Сезонність.

Електросамокати служб прокату міста Вінниця

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МОБІЛЬНОСТІ У МІСЬКИХ

Вид ЗІМ	Опис
	Самокат – це засіб пересування, який приводиться в рух шляхом відштовхування ногою від землі у положенні стоячи. Самокат використовується не лише як персональний транспорт, але й для дозвілля, занять спортом та фізичною активністю.
	Електричний самокат – засіб пересування на двох колесах із електро-двигуном
	Роликові ковзани – це спеціальні черевики з прикріпленими до них рамами, на яких установлено від двох до п'яти (інколи шести) коліс. Вони призначені для пересування по твердій рівній поверхні, рідше – по бездоріжжю, за принципом, аналогічним руху на традиційних льодових ковзанах.
	Моноколісо – електричний самобалансований уніцикл (моноцикл) з одним колесом і розташованими по обидва боки від колеса підніжками.
	Скейтборд – дошка, що складається з фанери, яка містить кілька шарів шпону, встановлена на колеса невеликого діаметру.

	Електричний скейтборд – персональний засіб пересування на базі традиційного скейтборду. Керування швидкістю зазвичай здійснюється за допомогою бездротового ручного контролера (пульта дистанційного керування) або шляхом зміщення ваги тіла користувача: нахил у передню частину дошки забезпечує прискорення, а перенесення ваги назад – гальмування.
	Гіроскутер – вуличний електричний засіб пересування, що складається з двох з'єднаних між собою платформ для ніг, які можуть рухатися відносно одна одної, та оснащений колесами з боків.
	Сегвей – електричний самобалансувальний транспортний засіб із двома колесами, розташованими по обидва боки від користувача. За зовнішнім виглядом нагадує колісницю та оснащується вертикальною стійкою з рукоятками для керування.
	Електроскутер – різновид скутера, оснащений електродвигуном, що живиться від акумуляторної батареї.

Загальна характеристика міської інфраструктури для руху засобів індивідуальної мобільності

За даними Департаменту транспорту та міської мобільності станом на 2024 рік місто має:

понад км велосипедних доріжок і смуг,

км проєктуються або будуються,

Кількість ДТП за участю засобів індивідуальної мобільності

Характерні місця концентрації ДТП

Перехрестя по вул Київська, вул Келецька

Хмельницьке шосе (центральні зупинки)

проспект Юності

Станом на 2025 р облаштовано

понад 120 офіційних точок стоянки електросамокатів (дані шеринг операторів ,),

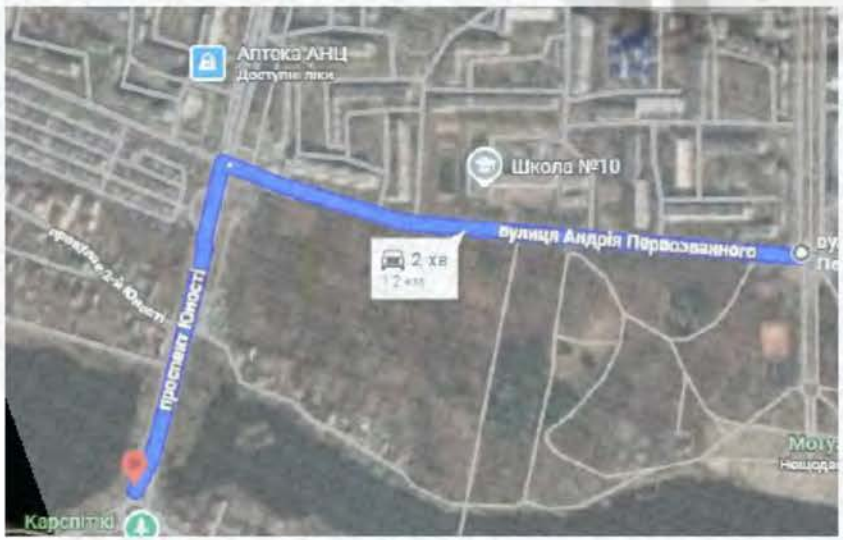
з них близько в центральній частині

Оцінка використання засобів індивідуальної мобільності на міській вулично дорожній мережі як транспорту останнього кілометра

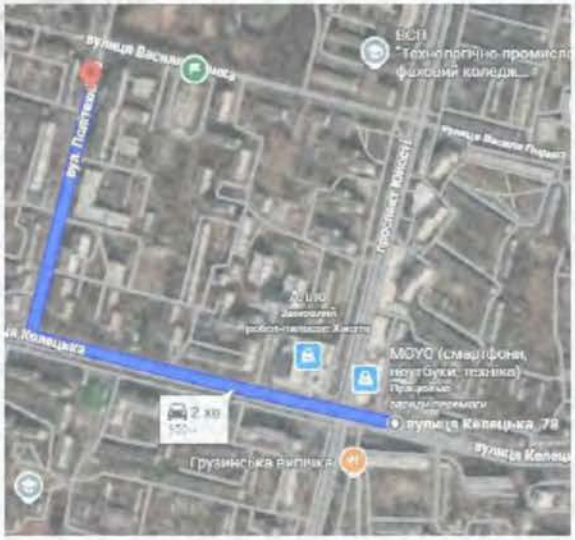
Маршрут 1 починається біля Парку «Вишенський» по проспекту Космонавтів, закінчується біля входу в Національний музей садибу М І Пирогова

Маршрут починається біля го корпусу ВНУ, закінчується біля зупинки автобуса «проспект Юності»

Маршрут починається біля «Пам'ятник льотчикам визволителям міста» на проспекті Космонавтів, закінчується біля Парку «Вишенський»



Маршрут 1

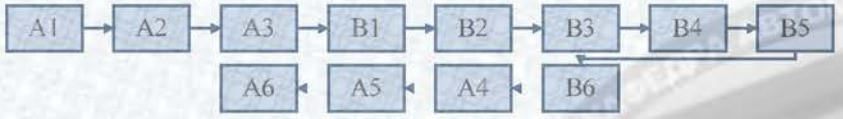


Маршрут 2

Маршрут 3

Оцінка використання засобів індивідуальної мобільності на міській вулично дорожній мережі як транспорту останнього кілометра

Структура користування ЗІМ «разове використання»



A1 установка та скачування мобільного додатка сервісу прокату поїздки в'язка банківської картки для забезпечення оплати та заставного забезпечення

A реєстрація користувача і введення персональних даних, необхідних для ідентифікації і підключення до системи

B1 пошук на інтерактивній карті у додатку найближчої станції або паркування з доступними ЗІМ

B вибір справного і зарядженого пристрої

B сканування коду, розміщеного на кермі самокату, для його розблокування через програму

B початок руху та використання ЗІМ

B визначення найближчої станції або зони для коректного паркування поблизу кінцевого пункту призначення

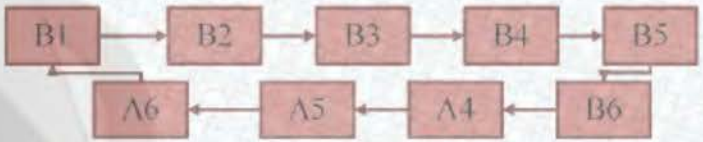
B фіксація пристрою на зарядній станції або у відведеній зоні паркування

A виконання фотозйомки самокату для підтвердження його повернення і безпеки, наступна завантаження фото в додаток

A завершення поїздки

A оплата у додатку

Структура користування ЗІМ «робоче використання»



B1 пошук на інтерактивній карті у додатку найближчої станції або паркування з доступними ЗІМ

B вибір справного та зарядженого пристрою

B сканування коду, розміщеного на кермі самоката, для його розблокування через програму

B початок руху та використання ЗІМ

B визначення найближчої станції чи зони для коректного паркування поблизу кінцевого пункту призначення

B фіксація пристрою на зарядний станції або в відведеною зоні паркування

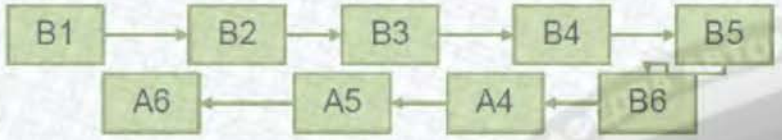
A виконання фотозйомки самокату для підтвердження його повернення та безпеки, подальше завантаження фото в додаток

A завершення поїздки

A оплата в додаток

Оцінка використання засобів індивідуальної мобільності на міській вулично дорожній мережі як транспорту останнього кілометра

Структура користування ЗІМ «використання для відпочинку



B1 пошук на інтерактивній карті у додатку найближчої станції або паркування з доступними ЗІМ

B вибір справного та зарядженого пристрою

B сканування коду, розміщеного на кермі самоката, для його розблокування через програму

B початок руху та використання ЗІМ

B визначення найближчої станції чи зони для коректного паркування поблизу кінцевого пункту призначення

B фіксація пристрою на зарядний станції або в відведеною зоні паркування

A виконання фотозйомки самокату для підтвердження його повернення та безпеки, подальше завантаження фото в додаток

A завершення поїздки

A оплата у додатку

Стандартна структура користування особистого автомобіля

C1 посадка в автомобіль, перевірка регулювання сидіння, дзеркал, положення керма

C фіксація водія за допомогою ременя безпеки

C запуск автомобіля та початок роботи транспортного засобу,

C процес складання маршруту,

C початок руху,

C затримки часу на перетинах вулиць зі світлофорним регулюванням,

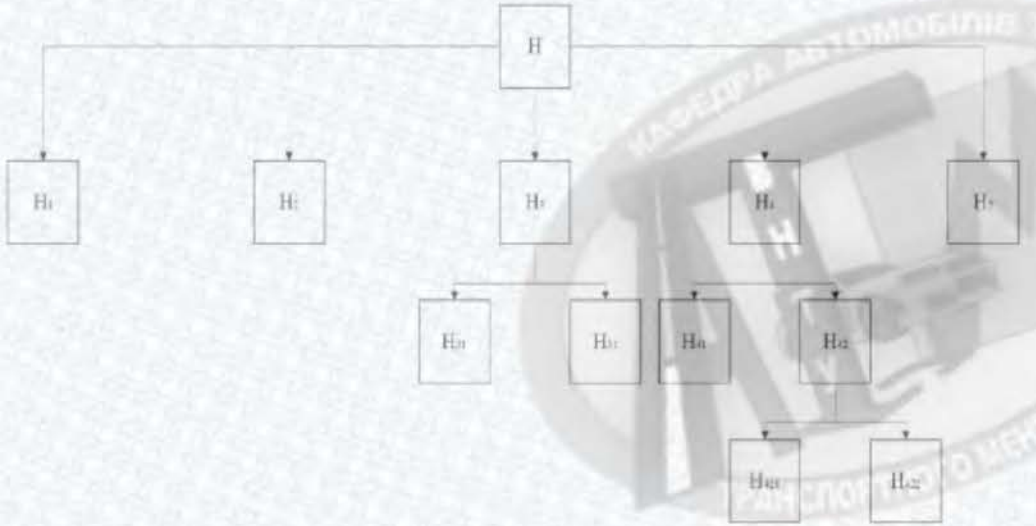
C пошук місця для паркування,

C завершення використання автомобіля

За результатами аналізу всіх трьох маршрутів підтверджено високу ефективність використання ЗІМ на коротких та середніх дистанціях до 3 км.

Найменування маршрутів	ЗІМ	автомобіль	Результат застосування методики
Маршрут №1	16,4	19,8	Доцільно ЗІМ
Маршрут №2	15,7	19,43	Доцільно ЗІМ
Маршрут №3	17,82	20,8	Доцільно ЗІМ

Дослідження аварійності за участю засобів індивідуальної мобільності на об'єктах міської вулично дорожньої мережі



H_1 частка ДТП на тротуарі, пішохідній доріжці та у пішохідній зоні

H_2 частка ДТП на виїздах із прилеглої території

H_3 частка ДТП на пішохідних переходах, з деталізацією

H_{31} частка ДТП на регульованих пішохідних переходах

H_{32} частка ДТП на нерегульованих пішохідних переходах

H_4 частка ДТП на перехрестях, з деталізацією

H_{41} частка ДТП на регульованих перехрестях

H_{42} частка ДТП на нерегульованих перехрестях, які поділяються на

H_{421} нерегульовані перехрестя нерівнозначних вулиць

H_{422} нерегульовані перехрестя рівнозначних вулиць

частка ДТП на інших об’єктах ВДМ

Повна статистична ймовірність

$$P(H) = P(H_1) + P(H_2) + P(H_3) + P(H_4) + P(H_S)$$

$$P(H_3) = P(H_{31}) + P(H_{32})$$

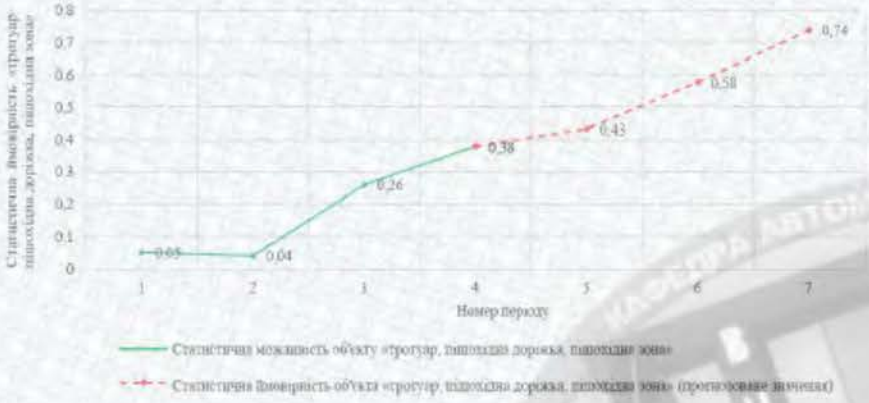
$$P(H_4) = P(H_{41}) + P(H_{42})$$

$$P(H_{42}) = P(H_{421}) + P(H_{422})$$

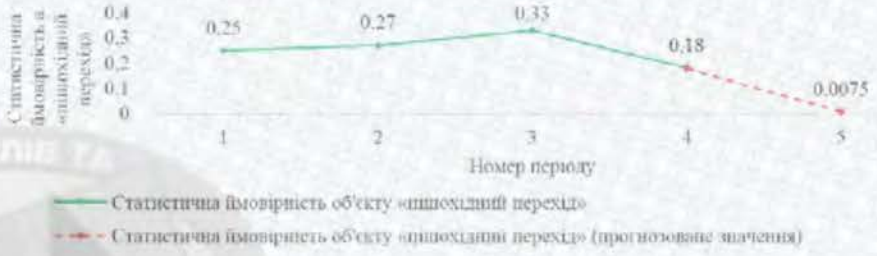
Статистична ймовірність ДТП залежно від об'єкта вулично дорожньої мережі за 2021 2024 роки

№ п/п	Найменування об'єкта ВДМ	Позначення статистичної ймовірності	2021			
1	Тротуар, пішохідна доріжка	$P(H_1)$	0,05	0,04	0,26	0,38
	Виїзд з прилеглої території	$P(H_2)$	0,16	0,18	0,13	0,11
	Пішохідний перехід (загальний)	$P(H_3)$	0,25	0,27	0,33	0,18
3.1	регульований пішохідний перехід	$P(H_{31})$	0,12	0,12	0,21	0,08
	нерегульований пішохідний перехід	$P(H_{32})$	0,13	0,15	0,12	0,10
	Перехрестя (загальне)	$P(H_4)$	0,27	0,29	0,20	0,17
4.1	регульоване перехрестя	$P(H_{41})$	0,12	0,12	0,10	0,07
	нерегульоване перехрестя	$P(H_{42})$	0,15	0,17	0,10	0,10
4.2.1	нерегульоване перехрестя нерівнозначних вулиць (доріг)	$P(H_{421})$	0,13	0,15	0,09	0,09
	нерегульоване перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)	$P(H_{422})$	0,02	0,02	0,01	0,01
	Інші	$P(H_5)$	0,27	0,22	0,08	0,16
	Разом		**1**	**1**	**1**	**1**

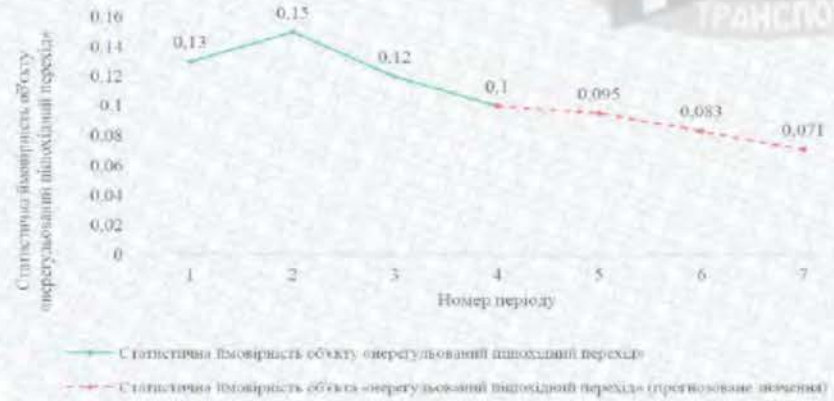
Статистична ймовірність виникнення дорожньо транспортних подій на об'єктах міський вулично дорожньої мережі



Прогнозовані значення зміни статистичної ймовірності на об'єкті ВДМ транспортної системи міста «тротуар, пішохідна доріжка, пішохідна зона»



Прогнозовані значення зміни статистичної ймовірності на об'єкті ВДМ транспортної системи міста «пішохідний перехід»



Прогнозовані значення зміни статистичної ймовірності на об'єкті ВДМ транспортної системи міста «нерегульований пішохідний перехід»

Загальний вигляд математичної моделі оцінки аварійності об’єктів міської вулично дорожньої мережі

$$P(H) = \begin{cases} P(H_1) \\ P(H_2) \\ P(H_3) \\ P(H_4) \\ P(H_5) \end{cases} = \begin{cases} y = 0{,}0335 \cdot x^{1{,}5903} \\ y = -0{,}02 \cdot x + 0{,}195 \\ y = -0{,}0425 \cdot x^2 + 0{,}1975 \cdot x + 0{,}0825 \\ y = -0{,}039 \cdot x + 0{,}33 \\ y = 0{,}2691 \cdot x^{-0{,}608} \end{cases}$$

$P(H_1)$ статистична ймовірність ДТП на тротуарах, пішохідних доріжках і в пішохідних зонах

$P(H_2)$ статистична ймовірність ДТП на виїздах із прилеглих територій

$P(H_3)$ ймовірність ДТП на пішохідних переходах (регульованих і нерегульованих)

$P(H_4)$ ймовірність ДТП на перехрестях (регульованих та нерегульованих)

ймовірність ДТП на інших елементах ВДМ

Елементи математичного моделювання

№ п/п	Найменування об'єкта ВДМ	Отримане рівняння функції	Величина достовірності, R
1	тротуар, пішохідна доріжка, пішохідна зона	$y = 0{,}0335 \cdot x^{1{,}590}$	0,92
	виїзд із прилеглої території	$y = -0{,}02 \cdot x + 0{,}195$	0,69
	пішохідний перехід	$y = -0{,}0425 \cdot x + 0{,}1975 \cdot x + 0{,}0825$	0,73
3.1	регульований пішохідний перехід	$y = -0{,}0325 \cdot x + 0{,}1595 \cdot x \quad 0{,}0225$	0,47
	нерегульований пішохідний перехід	$y = -0{,}012 \cdot x + 0{,}155$	0,55
	перехрестя	$y = -0{,}039 \cdot x + 0{,}33$	0,79
4.1	регульований перехрестя	$y = -0{,}017 \cdot x + 0{,}145$	0,86
	нерегульований перехрестя	$y = -0{,}022 \cdot x + 0{,}185$	0,64
4.2.1	нерегульований перехрестя нерівнозначних вулиць (доріг)	$y = -0{,}018 \cdot x + 0{,}16$	0,6
	нерегульований перехрестя рівнозначних вулиць (доріг)	$y = 0{,}0283 \cdot e^{0{,}277 \cdot x}$	0,78
	інші	$y = 0{,}2691 \cdot x^{0{,}08}$	0,65

Інтегральний економічний ефект від використання засобів індивідуальної мобільності в межах міста Вінниця

Параметр	Позначення	Значення	Одиниці
Вартість електросамокату	$P_{ЗІМ}$	20 000	грн.
Термін служби ЗІМ			року
Річні витрати на ТО та зарядку	$C_{ЗІМ}$	1000	грн/рік
Річні витрати на автомобіль	$C_{авто}$	60 000	грн/рік
Економія часу в день	Δt	0,5	години/день
Робочих днів у році	–		днів
Вартість години часу	ω	150	грн./год
Зниження викидів CO_2	ΔE	150 кг	на рік (на користувача)
Ціна за 1 т CO_2 (тіньова)	ρ_{CO2}		грн/тонна
Горизонт аналізу	T		року

Це означає, що протягом років використання електросамоката замість автомобіля один користувач отримує інтегральний економічний ефект приблизно 210 тис грн, який включає

- Економія на транспорті 177 тис грн роки тис)
- Економія часу , тис грн
- Екологічний ефект 112, грн
- Мінус витрати на придбання та обслуговування ЗІМ

Інтегральний економічний ефект за три роки в масштабах міста складає:

$$IEE_{місто} = 2{,}1 \text{ млн грн.}$$

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі отримані такі основні результати

Аналіз світового досвіду використання ЗІМ та впроваджених заходів законодавчого регулювання свідчить, щодо найбільш поширених державних рішень у різних країнах належать, зокрема

запровадження обов'язкової реєстрації ЗІМ

визначення правового статусу нових учасників дорожнього руху та встановлення правил їх експлуатації

Були сформовані інформаційні моделі руху ЗІМ за типами сценаріїв користування Для кожного сценарію визначено набір об'єктів відвідування та цільову функцію, що ґрунтується на часових витратах користувачів «разове використання» включає 12 об'єктів та описується цільовою функцією

У процесі оцінювання аварійності елементів міської ВДМ з урахуванням використання ЗІМ була побудована ієрархічна структура, яка відображає ймовірність виникнення ДТП на різних типах об'єктів До найбільш ризикових ділянок віднесено тротуари, пішохідні доріжки та пішохідні зони пішохідні переходи (регульовані та нерегульовані) виїзди з прилеглих територій регульовані та нерегульовані перехрестя (у т ч рівнозначні й нерівнозначні) інші елементи ВДМ зі змішаною організацією руху

Удосконалено математичну модель оцінки аварійності, об'єктів міський ВДМ з обліком специфіки руху ЗІМ, яка може бути використана для прогнозування ризиків, планування інфраструктурних заходів і підвищення безпеки в умовах зростаючого попиту на ЗІМ

Протягом років використання електросамоката замість автомобіля один користувач отримує інтегральний економічний ефект приблизно 210 тис грн, який включає економію на транспорті 177 тис грн економію часу , тис грн екологічний ефект 112, грн Основний внесок економія часу, що відображає високу вартість часу в умовах міста

Економічний ефект від упровадження системи полягає у зниженні соціальної напруженості, мінімізації тяжкості наслідків ДТП за участю ЗІМ та підвищенні стійкості міської транспортної системи, що базується на принципах безпеки дорожнього руху

Додаток Б (обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення ефективності організації вулично-дорожньої мережі міста Вінниці при використанні засобів індивідуальної мобільності

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КП1) 2 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☑ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

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

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

Особа, відповідальна за перевірку _____ Цимбал О.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ Галущак О.О, доцент кафедри АТМ
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____ Кулик О.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)