

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-74-55>

УДК 656.13:004.6:005.8

ЗАСТОСУВАННЯ ГІС У МЕНЕДЖМЕНТІ ПРОЄКТІВ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ: АНАЛІТИЧНІ ІНСТРУМЕНТИ ТА УКРАЇНСЬКИЙ ДОСВІД

APPLICATION OF GIS IN ROAD SAFETY PROJECT MANAGEMENT: ANALYTICAL TOOLS AND THE UKRAINIAN EXPERIENCE

Тимченко Сергій Ігорович

аспірант,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3331-3189>**Tymchenko Serhii**

Kyiv National University of Construction and Architecture

У статті досліджено використання геоінформаційних систем (ГІС) у менеджменті проєктів з безпеки дорожнього руху. Обґрунтовано актуальність переходу до даних-орієнтованих рішень у транспортному плануванні. Розглянуто методи просторового аналізу ДТП (геокодування, оцінка щільності, кластеризація, буферизація, просторово-часовий аналіз), структуру ІТ-архітектури ГІС-рішень, практичні приклади з міст України та міжнародний досвід. Представлено кейс аналізу аварійності в Києві. Запропоновано рекомендації для менеджерів проєктів щодо впровадження ГІС для підвищення прозорості, ефективності рішень та досягнення KPI. Особливу увагу приділено ролі інтерактивних дашбордів у комунікації зі стейкхолдерами. Отримані результати можуть бути корисними для подальшого вдосконалення підходів до управління дорожньою безпекою, зокрема під час обґрунтування інфраструктурних змін і моніторингу їхньої ефективності в динаміці.

Ключові слова: геоінформаційні системи (ГІС), безпека дорожнього руху, просторовий аналіз, управління проєктами, ДТП, транспортне планування, аналітика даних.

The article explores the application of Geographic Information Systems (GIS) in road safety project management. The relevance of the topic is driven by the growing need for data-driven decision-making in transport safety governance, especially in urban environments with limited resources and fragmented infrastructure. The study identifies key spatial analysis techniques – geocoding, kernel density estimation, clustering, buffer analysis, and spatiotemporal modeling – as essential tools for detecting high-risk areas, analyzing accident patterns, and prioritizing safety interventions based on objective data. A case study of Kyiv is used to demonstrate the integration of GIS in the analysis of traffic accident distribution and hotspot identification. The methodological framework includes the use of open-source tools such as QGIS and Power BI, spatial data processing, and interactive dashboard development for decision support. A typical IT architecture of a GIS-based solution is described, including data collection modules, spatial databases, analytical layers, and user interfaces with dashboard integration for visual reporting. The proposed architecture allows project managers to monitor key performance indicators (KPIs) such as accident reduction, infrastructure efficiency, and responsiveness to emerging threats in real time. Practical examples from Ukrainian cities (Kyiv, Odesa, Kherson, and Zaporizhzhia) and international models (Sweden's Vision Zero, GIS dashboards in the USA and Canada) emphasize the universal applicability of GIS for transport safety projects. These case studies illustrate how open data, public engagement, and inter-agency coordination can significantly increase the transparency, efficiency, and accountability of decision-making processes. The findings of this study are practically valuable for municipal and national project managers who seek to improve road safety outcomes through spatially-informed planning, policy development, and performance monitoring. The article concludes with recommendations on platform integration, staff training, adoption of open-source tools, and the development of unified geo-data portals for scalable GIS deployment across regions and administrative levels.

Keywords: geographic information systems (GIS), road safety, spatial analysis, road traffic accident analysis, project management, transport planning.

Постановка проблеми. Управління безпекою дорожнього руху потребує переходу від інтуїтивних до даних-орієнтованих підходів, що підвищують ефективність рішень і прозорість взаємодії між стейкхолдерами. Геоінформаційні системи (ГІС) відіграють у цьому ключову роль – вони інтегрують просторову та аналітичну інформацію для виявлення небезпечних ділянок, моніторингу аварійності та ухвалення обґрунтованих рішень. Водночас в Україні їх застосування залишається фрагментарним і потребує методологічного обґрунтування та демонстрації практичної ефективності.

Менеджери проєктів зіштовхуються з труднощами адаптації ГІС до локальних умов – від нестачі якісних даних до обмежених навичок використання просторового аналізу. Це зумовлює актуальність дослідження потенціалу ГІС у сфері безпеки дорожнього руху з фокусом на методи просторового аналізу, ІТ-архітектуру та приклади впровадження в українських містах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження, зокрема роботи Заяця О. [1], Суворової Н. [2], Чернія В. та ін. [3], а також Безшапкіна С. та ін. [4], засвідчують зростаючий інтерес до використання геоінформаційних технологій у транспортному плануванні та забезпеченні безпеки дорожнього руху.

У міжнародній практиці ці технології розглядаються як ефективний інструмент для збору, аналізу та візуалізації даних про дорожньо-транспортні пригоди. Дослідження Haji Mirza Aghasi N. [5], Gharbi A., Haddadi S. [6], а також Derasa A. та ін. [7] демонструють приклади інтеграції ГІС у системи стратегічного планування, зокрема в межах ініціативи Vision Zero у Швеції та на аналітичних платформах США й Канади.

Українські науковці також визнають потенціал ГІС у транспортному менеджменті, проте практичне впровадження досі обмежене локальними ініціативами. Потреба в адаптації міжнародних рішень до національного контексту з урахуванням технічних, кадрових та інформаційних викликів залишається відкритою.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є дослідження застосування геоінформаційних систем у менеджменті проєктів з безпеки дорожнього руху, з акцентом на методи просторового аналізу, архітектуру ІТ-рішень та практичні кейси впровадження в Україні.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

- охарактеризувати ключові методи просторового аналізу дорожньо-транспортних пригод (геокодування, оцінка щільності, кластерний і просторово-часовий аналіз);
- проаналізувати ІТ-архітектуру ГІС-рішень, орієнтованих на підтримку управлінських рішень у сфері безпеки дорожнього руху;
- узагальнити практичні кейси застосування ГІС в Україні та розглянути міжнародний досвід реалізації ГІС у транспортному менеджменті;
- сформулювати рекомендації для менеджерів проєктів щодо ефективного впровадження ГІС.

Виклад основного матеріалу дослідження. Просторовий аналіз дорожньо-транспортних пригод (ДТП) є ключовим інструментом для підвищення безпеки дорожнього руху, оскільки дозволяє виявляти закономірності аварійності та формувати обґрунтовані управлінські рішення. Геоінформаційні системи (ГІС) забезпечують комплексний підхід до обробки даних, інтегруючи просторову інформацію з різномірних джерел, таких як бази патрульної поліції, GPS-трекери чи камери відеоспостереження [8]. У контексті менеджменту проєктів безпеки дорожнього руху методи ГІС допомагають визначати пріоритетні зони для втручання, оптимізувати розподіл ресурсів і моніторити ключові показники ефективності (KPI), такі як зниження аварійності.

Одним із базових методів є геокодування, яке перетворює адреси чи описи місць ДТП на географічні координати, дозволяючи нанести інциденти на карту. Це забезпечує візуалізацію просторового розподілу аварій і є першим кроком до аналізу ризиків [9]. Для менеджерів геокодування цінне тим, що створює основу для подальшого планування інфраструктурних змін, наприклад, встановлення дорожніх знаків у зонах із високою концентрацією аварій.

Метод оцінки щільності ядра (Kernel Density Estimation, KDE) використовується для створення теплових карт, які відображають місця концентрації ДТП, або так звані "гарячі точки" (hotspots). KDE аналізує щільність інцидентів у просторі, виділяючи ділянки з підвищеною аварійністю, що можуть залишитися непоміченими при традиційному табличному аналізі [10]. Теплові карти дозволяють швидко ідентифікувати зони, які потребують негайних

заходів, таких як покращення освітлення чи зміна організації руху.

Кластерний аналіз, зокрема алгоритми DBSCAN або K-means, групує ДТП за просторовою та часовою близькістю, виявляючи "чорні точки" – ділянки зі статистично значущою повторюваністю аварій [11]. Це дає змогу зосередити зусилля на проблемних зонах і обґрунтовувати заходи, як-от встановлення островців безпеки.

Просторово-часовий аналіз, зокрема побудова просторово-часових кубів, враховує динаміку аварійності в часі, дозволяючи виявляти сезонні чи річні тенденції [9]. Наприклад, менеджери можуть оцінити, як вплинуло відкриття нового торгового центру на аварійність або чи зменшилася кількість ДТП після встановлення світлофора.

Буферний аналіз оцінює рівень ризику поблизу важливих об'єктів – шкіл, зупинок, пішохідних переходів тощо – шляхом створення зон із заданим радіусом. Це дозволяє планувати локальні втручання, наприклад, встановлення додаткових дорожніх знаків біля шкіл [12].

Реалізація цих методів у ГІС забезпечує перехід до даних-орієнтованого управління безпекою [2]. Вони підвищують точність планування, прозорість рішень і забезпечують інтеграцію результатів у звітність та дашборди. Подальше застосування цих методів на практиці, зокрема в містах України, демонструє їхню ефективність у підвищенні безпеки дорожнього руху.

Кейс: Просторовий аналіз ДТП у Києві.

Практичне застосування ГІС у менеджменті проєктів безпеки дорожнього руху ілюструє кейс просторового аналізу ДТП у м. Києві. Використання даних патрульної поліції за 2020–2022 роки дозволило продемонструвати, як ГІС підтримує управлінські рішення, оптимізує розподіл ресурсів і підвищує прозорість у плануванні заходів безпеки. Цей кейс є прикладом потенціалу ГІС, тоді як реальні управлінські рішення потребують додаткового аналізу причин аварій за журналами ДТП [9].

Для аналізу використано кілька методів ГІС. Геокодування забезпечило нанесення місць ДТП на карту, створивши візуалізацію їхнього просторового розподілу (рис. 1).

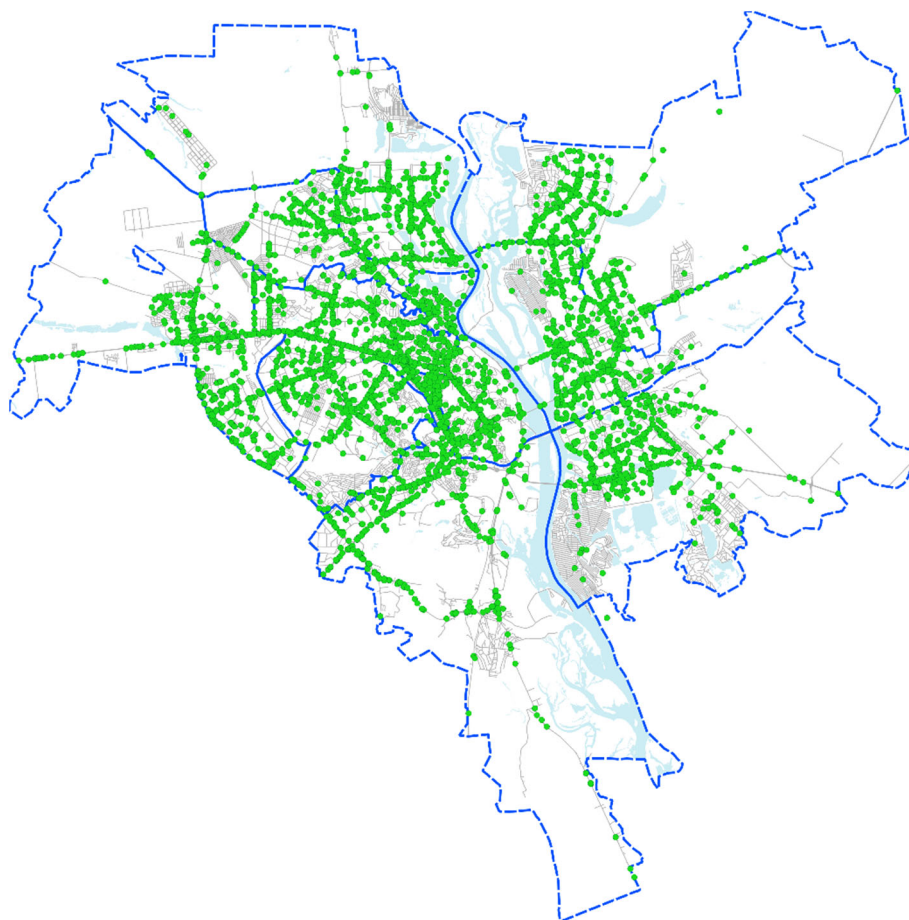


Рис. 1. Геокодовані місця ДТП

Джерело: сформовано автором

Цей етап дозволяє менеджерам отримати загальну картину аварійності в місті та визначити зони, які потребують уваги. Далі застосовано метод оцінки щільності ядра (KDE), який створив теплові карти для виявлення "гарячих точок" – ділянок із високою концентрацією аварій. Теплові карти є цінним інструментом для менеджменту, оскільки наочно показують пріоритетні зони для інфраструктурних змін, таких як встановлення дорожніх знаків чи покращення освітлення [10]. Кластерний аналіз (зокрема алгоритм DBSCAN) групував ДТП за просторовою близькістю, ідентифікуючи "чорні точки" – ділянки зі статистично значущою повторюваністю аварій [11]. Деталізація однієї з таких ділянок дозволила оцінити локальні особливості, наприклад, конфігурацію перехрестя, пішохідних зон чи місце розвороту транспортних засобів (рис. 2).

Визначення місць концентрації ДТП за результатами геокодування є лише першим етапом просторового аналізу. Виділені зони потребують поглибленого вивчення з урахуванням індивідуальних обставин кожного інциденту. Аналіз журналів ДТП дає змогу виявити причини, які не завжди пов'язані з інфраструктурою. Часто адресна прив'язка містить неточності – відсутність GPS-координат

або помилки в описі місця події, що потребує уточнення. Крім того, на одній ділянці можуть фіксуватися ДТП з різними причинами – від порушень до погодних умов, – що виключає автоматизовані рішення без контекстного аналізу. Тому просторовий аналіз доцільно використовувати як інструмент попереднього виявлення зон для подальшого дослідження перед управлінськими діями.

З управлінської перспективи результати аналізу формують підґрунтя для даних-орієнтованого менеджменту [2]. Виявлення «гарячих точок» дає змогу пріоритизувати інфраструктурні втручання та ефективно розподіляти ресурси. Просторово-часовий аналіз, наприклад, виявив зростання аварійності під час ремонтів, що потребує тимчасових заходів безпеки – додаткових знаків чи обмеження швидкості. Водночас встановлення світлофорів на інших ділянках зменшило кількість ДТП, що підтверджує ефективність цільових рішень. Такі результати слугують основою для моніторингу KPI, зокрема щодо зниження аварійності та оптимізації витрат.

Прозорість управлінських рішень забезпечується через інтеграцію результатів аналізу в інтерактивні дашборди, які дозволяють стейкхолдерам і громадськості ознайомитися

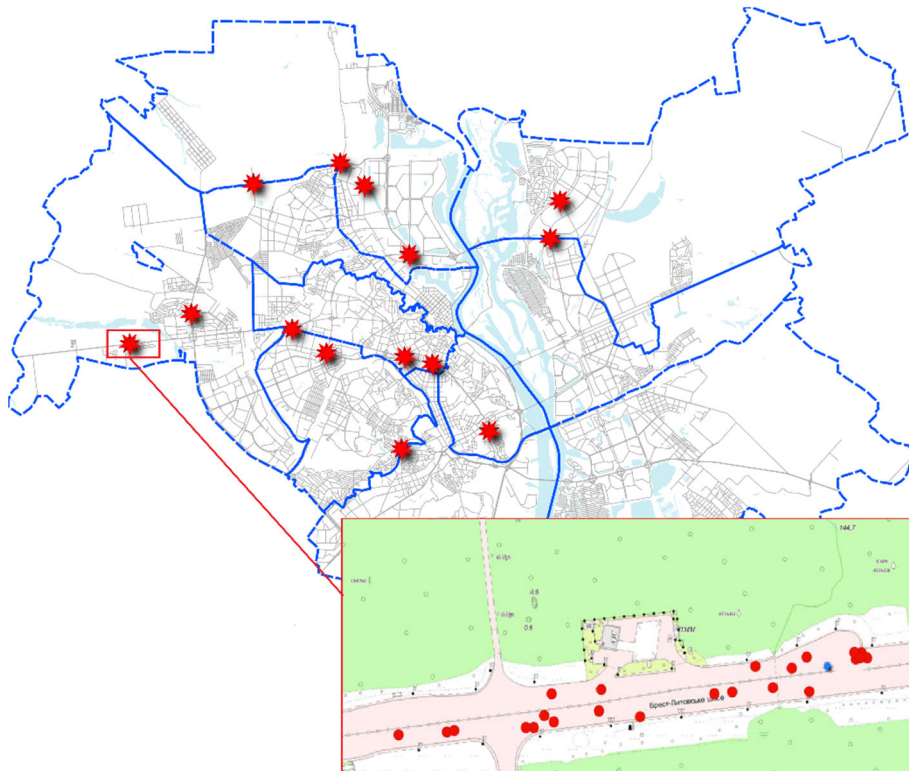


Рис. 2. Детальне відображення геокодованих ДТП визначеного місця концентрації
Джерело: сформовано автором

з даними про аварійність. Такі дашборди, створені на платформах Power BI чи ArcGIS Dashboards, спрощують звітність і сприяють залученню громадськості до планування безпеки дорожнього руху. Водночас кейс підкреслює, що отримані результати є ілюстративними: для практичного впровадження заходів потрібен додатковий аналіз причин аварій, зокрема вивчення журналів ДТП, щоб уникнути помилок через похибки в даних чи неврахування контекстуальних факторів, таких як дорожні умови чи поведінка водіїв.

Цей кейс демонструє, як ГІС перетворюється з інструмента візуалізації на ключовий елемент управлінського інструментарію, що підвищує ефективність проєктів безпеки дорожнього руху. Він ілюструє потенціал ГІС для менеджерів, які прагнуть приймати обґрунтовані рішення, оптимізувати ресурси та забезпечувати прозорість у взаємодії зі стейкхолдерами.

ІТ-архітектура ГІС-рішень. Інтеграція геоінформаційних систем (ГІС) у проєкти з управління безпекою дорожнього руху вимагає чітко структурованої ІТ-архітектури, яка забезпечує повний цикл обробки даних – від збору до прийняття управлінських рішень. Така архітектура є ключовим інструментом для менеджерів проєктів, дозволяючи оптимізувати ресурси, моніторити ключові показники ефективності (KPI) та забезпечувати прозорість через інтерактивні звіти. У контексті безпеки дорожнього руху ГІС-рішення інтегрують різноманітні дані, підтримують аналітику та сприяють масштабуванню проєктів від локального до національного рівня [8].

Типова ІТ-архітектура ГІС-рішення складається з кількох компонентів, адаптованих до потреб управління безпекою дорожнього руху. Модуль збору даних об'єднує інформацію з різних джерел: бази патрульної поліції (координати, час, обставини ДТП), GPS-трекери транспортних засобів, камери відеоспостереження та краудсорсингові платформи, такі як сервіси таксі [13]. Цей компонент забезпечує менеджерам доступ до актуальних даних, що є основою для аналізу аварійності.

Геопросторова база даних формує ядро системи, зберігаючи просторові дані у форматах GeoJSON, shapefile або через сервіси Web Feature Service (WFS). Використання платформ, таких як PostGIS чи ArcGIS Server, дозволяє обробляти великі обсяги інформації та виконувати просторові запити [8]. Для менеджерів геопросторова база даних цінна тим, що забезпечує єдине інформаційне

середовище, де дані про ДТП поєднуються з інформацією про дорожню інфраструктуру (розмітка, знаки) чи інтенсивність руху, що полегшує стратегічне планування.

Аналітичний модуль реалізує методи просторового аналізу, описані раніше, такі як оцінка щільності ядра чи кластеризація, а також підтримує сценарне моделювання, наприклад, оцінку впливу нового світлофора на аварійність [9]. Цей модуль дозволяє менеджерам прогнозувати результати управлінських рішень і моніторити KPI, такі як зниження кількості ДТП у певній зоні. Додатково аналітичний модуль може включати елементи машинного навчання для прогнозування аварійності на основі історичних даних, що підвищує точність планування [2].

Інтерфейс користувача та візуалізація реалізуються через інтерактивні дашборди на платформах Power BI, Tableau чи ArcGIS Dashboards. Дашборди дозволяють фільтрувати дані за типами ДТП, часовими параметрами чи локаціями, забезпечуючи менеджерів зручним інструментом для звітності та комунікації зі стейкхолдерами. Наприклад, дашборд може відображати динаміку аварійності в реальному часі, що сприяє прозорості та залученню громадськості до планування безпеки дорожнього руху.

API-інтеграція забезпечує зв'язок ГІС із зовнішніми системами, такими як міські CRM чи платформи управління інфраструктурою. Це дозволяє автоматизувати обмін даними, наприклад, сповіщення диспетчерів про нові ДТП, і забезпечує доступ до аналітики через публічні портали відкритих даних [6]. Для менеджерів API-інтеграція цінна тим, що дозволяє масштабувати проєкти, інтегруючи ГІС із іншими інформаційними системами міста.

У таблиці 1 наведено типову ІТ-архітектуру геоінформаційного рішення для підтримки менеджменту безпеки дорожнього руху. Така структура охоплює повний аналітичний цикл: від збору даних до візуалізації результатів і обміну з іншими системами, забезпечуючи масштабованість та прозорість управлінських процесів.

У практиці українських міст, таких як Київ чи Одеса, переважають рішення на основі відкритого програмного забезпечення, зокрема QGIS, із веб-інтерфейсами на базі Leaflet чи Mapbox. Ці інструменти забезпечують повний аналітичний цикл – від збору даних до візуалізації – і є економічно ефективними для локальних проєктів.

Таблиця 1

Типова ІТ-архітектура ГІС-рішень для управління безпекою дорожнього руху

Компонент архітектури	Призначення	Технології / приклади
Модуль збору даних	Збирання інформації про ДТП, рух, інфраструктуру	Бази патрульної поліції, GPS, відеокамери, краудсорсинг
Геопросторова база даних	Зберігання просторових даних про ДТП, інфраструктуру, знаки, трафік	PostGIS, GeoJSON, WFS, shapefile
Аналітичний модуль	Просторовий аналіз, моделювання, виявлення «гарячих точок», прогнозування	KDE, DBSCAN, просторово-часові куби, ML-моделі
Інтерфейс візуалізації	Інтерактивне подання результатів аналізу для прийняття рішень	Power BI, ArcGIS Dashboards, Tableau
API-інтеграція	Обмін даними з іншими інформаційними системами, міськими CRM, платформами відкритих даних	REST API, інтеграція з міськими порталами

Джерело: сформовано автором

Практичні приклади в Україні. Застосування геоінформаційних систем (ГІС) у менеджменті проєктів безпеки дорожнього руху в Україні демонструє їхній потенціал для оптимізації управлінських рішень і підвищення прозорості. Окрім кейсу з Києва, описаного раніше, приклади з інших міст, таких як Одеса, Херсон і Запоріжжя, ілюструють, як ГІС допомагають менеджерам проєктів ефективно розподіляти ресурси, моніторити ключові показники ефективності (KPI) і залучати громадськість до планування безпеки дорожнього руху [2].

В Одесі у 2019 році місцевий сервіс таксі спільно з водіями створив інтерактивну карту аварійно-небезпечних ділянок міста, використовуючи краудсорсингові дані. Водії позначали місця ДТП через мобільний додаток, що дозволило зібрати інформацію про приблизно 6200 аварій за період із 2016 року. ГІС-аналіз виявив три ключові зони концентрації аварій, де менеджери місцевих транспортних служб могли зосередити зусилля, наприклад, на оптимізації світлофорних циклів чи встановленні додаткових засобів регулювання дорожнього руху [13].

У Херсоні ГІС-аналітика була застосована для дослідження аварій за участю пішоходів у рамках ініціативи з підвищення безпеки міських переходів. Використовуючи геокодування та буферний аналіз, дослідники визначили зони поблизу пішохідних переходів із підвищеною аварійністю, що дозволило менеджерам проєктів обґрунтувати потребу в додаткових островах безпеки чи освітленні [14].

У Запоріжжі ГІС використовувалася для геокодування ДТП із подальшим аналізом їхнього просторового розподілу. Отримані карти дозволили менеджерам місцевої адміністрації ідентифікувати ділянки з високою аварійністю та включити їх до планів реконструкції доріг. Інтеграція результатів у публічні дашборди сприяла прозорості, надаючи громадськості доступ до даних про аварійність і плани заходів безпеки [15].

Ці приклади демонструють, як ГІС допомагають менеджерам проєктів у різних містах України вирішувати завдання безпеки дорожнього руху. Вони дозволяють оптимізувати бюджет, спрямовуючи ресурси на пріоритетні зони, підвищувати прозорість через публічні звіти та залучати громадськість до планування. Такі ініціативи підтверджують універсальність і інтегрованість ГІС як інструмента управління, що може масштабуватися для вирішення локальних і національних завдань безпеки дорожнього руху.

Міжнародний досвід. Зарубіжна практика застосування ГІС у проєктах безпеки дорожнього руху демонструє їхню цінність для стратегічного планування, моніторингу KPI та забезпечення прозорості. Ініціативи, як-от Vision Zero у Швеції, дашборди в США та портали в Канаді, ілюструють, як ГІС сприяють прийняттю обґрунтованих рішень і залученню стейкхолдерів – що важливо й для українських управлінців.

Концепція Vision Zero, започаткована в Швеції, передбачає нульову смертність на дорогах і базується на використанні ГІС для

аналізу ДТП. Просторовий аналіз виявляє небезпечні ділянки та сприяє плануванню інфраструктурних змін – наприклад, встановлення острівців безпеки або коригування світлофорних фаз [16]. ГІС-дані забезпечують системний підхід: планування базується на аналітиці, а KPI відстежуються через звітність.

У США ГІС є стандартом у транспортних департаментах, особливо в містах, які впроваджують Vision Zero. Наприклад, у Нью-Йорку та Остіні створено інтерактивні дашборди з даними про смертельні ДТП у реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на критичні зони [17]. Портали, як-от база NHTSA, надають API для аналізу аварійності, що підвищує прозорість і сприяє участі громадськості [18].

У Канаді, зокрема в м. Торонто, функціонує Toronto Vision Zero Mapping Portal з відкритими даними про ДТП із серйозними наслідками [19]. Інструменти порталу дозволяють розраховувати індекси небезпеки перехресть із урахуванням аварійності, шкільної зони чи трафіку. Це дає змогу аргументувати інфраструктурні зміни (наприклад, велодоріжки) та відстежувати травматизм.

Узагальнення цих прикладів підтверджує універсальність ГІС як управлінського інструмента, що поєднує аналітику, планування та звітність. Для України цей досвід є орієнтиром у розвитку власних рішень у сфері безпеки дорожнього руху.

Рекомендації для менеджерів проєктів. Ефективне управління проєктами безпеки дорожнього руху в Україні потребує інтеграції геоінформаційних систем (ГІС) у процеси планування, моніторингу та звітності. На основі українського та міжнародного досвіду сформульовано практичні рекомендації для менеджерів, орієнтовані на оптимізацію ресурсів, прозорість і досягнення KPI, зокрема зниження аварійності.

Пріоритетом є створення єдиної платформи геоданих, що об'єднує інформацію поліції, транспортних департаментів, громадських джерел (зокрема краудсорсингових карт) тощо. Така система має бути доступною через API або відкриті портали. Прикладом є директива INSPIRE, яка зокрема уніфікує геопросторові дані для транспортного планування в ЄС. Це полегшує координацію міжстейкхолдерами й забезпечує масштабованість рішень.

Використання відкритих ГІС-рішень (наприклад, QGIS) знижує витрати на ПЗ, зберіга-

ючи функціональність для геокодування, просторового аналізу та візуалізації. Це особливо важливо для місцевих громад з обмеженим фінансуванням: економію можна спрямовувати на інфраструктурні заходи – встановлення світлофорів, розмітку, реконструкцію перехресть.

Необхідною є підготовка кадрів. Менеджери мають ініціювати навчання персоналу роботі з ГІС (QGIS, ArcGIS) і аналітичними платформами (наприклад Power BI). Університети можуть пропонувати короткі курси з інтеграцією ГІС у транспортний менеджмент. Це скорочує цикл прийняття рішень і підвищує ефективність команд.

Інтеграція з бізнес-аналітикою (Power BI, Tableau) дозволяє створювати інтерактивні дашборди з візуалізацією теплових карт ДТП, динаміки аварійності та прогнозів ризиків. Це спрощує звітність і прийняття рішень на основі даних.

Важливою є публічна прозорість: відкриті дашборди з аварійністю й планами заходів, подібні до Toronto Vision Zero Portal, сприяють довірі та залученню громадськості [19]. Менеджери можуть демонструвати ефективність змін – наприклад, зменшення кількості ДТП після реконструкції перехрестя.

Усі рекомендації базуються на принципах універсальності та інтегрованості ГІС як управлінського інструмента [2]. Їх впровадження сприятиме адаптації рішень до місцевих умов і створенню національної системи управління безпекою дорожнього руху, що відповідає сучасним викликам урбанізації та фрагментованості даних.

Висновки. Проведене дослідження підтвердило високий потенціал геоінформаційних систем (ГІС) як інструмента підтримки управлінських рішень у сфері безпеки дорожнього руху. Застосування методів просторового аналізу, зокрема геокодування, оцінки щільності ядра, кластеризації, буферного та просторово-часового аналізу, дозволяє виявляти зони підвищеного ризику, формувати обґрунтовані управлінські дії та підвищувати ефективність проєктів.

Кейс-приклад просторового аналізу ДТП у місті Києві засвідчив можливості ГІС для візуалізації й інтерпретації даних з метою пріоритизації інфраструктурних втручань. У роботі запропоновано типову IT-архітектуру ГІС-рішень, що включає повний аналітичний цикл – від збору даних до інтерактивної візуалізації й API-інтеграції. Практичні приклади з українських міст, а також огляд міжнародного

досвіду підтверджують універсальність ГІС у менеджменті безпеки дорожнього руху.

Встановлено, що ключовими умовами ефективного впровадження ГІС є:

- створення єдиної платформи геоданих;
- використання відкритих програмних рішень в умовах обмежених ресурсів;
- інтеграція з бізнес-аналітичними інструментами;
- розвиток кадрового потенціалу;
- забезпечення прозорості через публічні дашборди.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні моделей прогнозування ризиків на основі історичних даних про ДТП із використанням методів машинного навчання,

а також у вивченні ефективності інтеграції ГІС із системами автоматичного моніторингу дорожнього середовища. Особливу увагу доцільно приділити адаптації національного законодавства та формуванню стратегій масштабування локальних ГІС-рішень до регіонального і загальнодержавного рівнів.

Подяка. Методологія управління проектами модернізації організації дорожнього руху воєнної та повоєнної відбудови територіальних громад (№ 4 ДБ-2023), номер державної реєстрації 0123U101943, фінансується за рахунок державного бюджету України. Керівник роботи, д-р. техн. наук, проф. Київського національного університету будівництва і архітектури С. Д. Бушуєв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Заяць О. ГІС для забезпечення безпеки у місті: аналіз злочинності та розробка заходів щодо її попередження. Управління надзвичайними ситуаціями. Моделювання транспортних потоків та оптимізація дорожнього руху. *Економічні горизонти*. 2024. № 4(29). Р. 56–65. URL: [https://doi.org/10.31499/2616-5236.4\(29\).2024.314561](https://doi.org/10.31499/2616-5236.4(29).2024.314561).
2. Суворова Н. О. Аналіз застосування ГІС в управлінні транспортними системами. *The Scientific Heritage*. 2021. № 60. С. 55–60.
3. V. Cherniy, S. Bezshapkin, O. Sharovara, I. Vasyliiev and O. Verenych, "Modern Approach to the Road Traffic Management in Cities of Ukraine: Case Study of Kyiv Municipal Company "Road Traffic Management Center"", 2020 *IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)*, pp. 1–6, 2020. URL: <https://doi.org/10.1109/E-TEMS46250.2020.9111757>.
4. S. Bezshapkin et al. State-of-the-art Geoinformation Technologies Use in the Road Traffic Management *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. No. 2851. P. 217–227.
5. Haji Mirza Aghasi N. Introducing GIS as legitimate instrument to deal with road accident data: a case study of Iran, Tehran. *Spatial Information Research*. 2017. Vol. 25, no. 1. P. 151–159. URL: <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0083-9>.
6. Gharbi A., Haddadi S. Application of the mobile GIS for the improvement of the knowledge and the management of the road network. *Applied Geomatics*. 2019. Vol. 12, no. 1. P. 23–39. URL: <https://doi.org/10.1007/s12518-019-00279-2>.
7. Derras A., Amara K., Oulha R. Application of the IRAP Method Combined with GIS to Improve Road Safety on New Highway Projects in Algeria. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 2022. URL: <https://doi.org/10.3311/pptr.19026>.
8. Integrating Data | Road Safety Manual - World Road Association (PIARC). *Road Safety Manual – World Road Association (PIARC) | Road Safety Manual A guide for practitioners !*. URL: <https://roadsafety.piarc.org/en/road-safety-management-safety-data/integrating-data> (дата звернення: 07.04.2025).
9. ESRI, "Determine the Most Dangerous Roads for Drivers," *Learn ArcGIS*. URL: <https://learn.arcgis.com/en/projects/determine-the-most-dangerous-roads-for-drivers/> (дата звернення: 07.04.2025).
10. Semchenko N., Nikolaienko I. Road Safety Indicators Benchmarking in the Regions of Ukraine. *Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort*. 2024. No. 2. P. 13–24. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-87379-9_2 (дата звернення: 16.04.2025).
11. MadeinVilnius, "New 'Black Spots' Map: Number of Danger Zones Increased by 82 Percent in One Year," *MadeinVilnius.lt*, 2020. [Online]. Available: <https://madeinvilnius.lt/transportas/naujas-juoduju-demiu-zemelapis-demiu-per-metus-padaugejo-82-proc/>.
12. A. Cherin, M. Onyshchenko, Geoinformation support of spatial planning and urban cadastre for settlements of Ukraine, *Association of Ukrainian Cities*, 2019. [Online]. Available: https://www.auc.org.ua/sites/default/files/cherin_gis_naselenyh_punktiv_ukrayiny.pdf.
13. Vgorode.ua. Зручні місця: в Одесі створили карту ДТП. *Новини Одеси – Vgorode.ua*. URL: <https://od.vgorode.ua/news/sobytyia/409331-hyblje-mesta-v-odesse-sozdaly-kartu-dtp> (дата звернення: 07.04.2025).

14. Аналітика ДТП та рекомендації щодо підвищення безпеки на дорогах Херсон. *Спільно HUB*. URL: <https://spilnohub.org/analitika-dtp-kherson/> (дата звернення: 07.04.2025).
15. Аналітика ДТП та рекомендації щодо підвищення безпеки на дорогах Запоріжжя. *Спільно HUB*. URL: <https://spilnohub.org/analitika-dtp-zaporizhzhya/> (дата звернення: 07.04.2025).
16. Департамент комунікації МВС України. Антон Геращенко: До 2024 року планується встановлення 1,5 тисячі стаціонарних камер фотовідеофіксації порушень ПДР. *Міністерство внутрішніх справ України*. URL: <https://mvs.gov.ua/en/press-center/news/anton-gerashhenko-do-2024-roku-planujetsya-vstanovlennya-15-tisyaci-stacionarnix-kamer-fotovideofiksaciyi-porusen-pdr> (дата звернення: 19.04.2025).
17. Carrillo J. Using GIS Analysis To Achieve Zero Traffic Casualties | Smart Cities Dive. *Smart Cities News | Smart Cities Dive*. URL: <https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/vision-zero-approach-ped-projects-austin-tx/1083781/> (дата звернення: 16.04.2025).
18. Grogan T. Connected Car Data Creates Road Safety Insights. *StreetLight*. URL: <https://www.streetlightdata.com/connected-car-data-creates-road-safety-insights/> (дата звернення: 12.04.2025).
19. Killed or Seriously Injured (KSI) Data. *Toronto Police Service Public Safety Data Portal*. URL: <https://data.torontopolice.on.ca/pages/ksi> (дата звернення: 16.04.2025).

REFERENCES

1. Zaiats O. (2024) HIS dla zabezpechennia bezpeky u misti: analiz zlochynnosti ta rozrobka zakhodiv shchodo yii poperedzhenia [GIS for urban safety: crime analysis and development of preventive measures]. *Ekonomichni horyzonty – Economic Horizons*, no. 4(29), pp. 56–65. Available at: [https://doi.org/10.31499/2616-5236.4\(29\).2024.314561](https://doi.org/10.31499/2616-5236.4(29).2024.314561) (in Ukrainian)
2. Suvorova N. O. (2021) Analiz zastosuvannia HIS v upravlinni transportnymy systemamy [Analysis of GIS application in transport systems management]. *The Scientific Heritage*, no. 60, pp. 55–60. (in Ukrainian)
3. Cherniy V., Bezshapkin S., Sharovara O., Vasyliiev I., Verenych O. (2020) Modern approach to the road traffic management in cities of Ukraine: case study of Kyiv municipal company “Road Traffic Management Center”. In *2020 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)*, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/E-TEMS46250.2020.9111757>
4. Bezshapkin S., Sharovara O., Vasyliiev I., Verenych O. (2021) State-of-the-art geoinformation technologies use in the road traffic management. *CEUR Workshop Proceedings*, no. 2851, pp. 217–227.
5. Haji Mirza Aghasi N. (2017) Introducing GIS as legitimate instrument to deal with road accident data: a case study of Iran, Tehran. *Spatial Information Research*, vol. 25, no. 1, pp. 151–159. <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0083-9>
6. Gharbi A., Haddadi S. (2019) Application of the mobile GIS for the improvement of the knowledge and the management of the road network. *Applied Geomatics*, vol. 12, no. 1, pp. 23–39. <https://doi.org/10.1007/s12518-019-00279-2>
7. Derras A., Amara K., Oulha R. (2022) Application of the IRAP method combined with GIS to improve road safety on new highway projects in Algeria. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. <https://doi.org/10.3311/pptr.19026>
8. World Road Association (PIARC). Integrating data | Road Safety Manual – World Road Association. Available at: <https://roadsafety.piarc.org/en/road-safety-management-safety-data/integrating-data> (accessed April 7, 2025)
9. ESRI. Determine the most dangerous roads for drivers. Learn ArcGIS. Available at: <https://learn.arcgis.com/en/projects/determine-the-most-dangerous-roads-for-drivers/> (accessed April 7, 2025)
10. Semchenko N., Nikolaenko I. (2024) Road safety indicators benchmarking in the regions of Ukraine. *Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort*, no. 2, pp. 13–24. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-87379-9_2 (accessed April 16, 2025)
11. MadeinVilnius. (2020) New ‘black spots’ map: number of danger zones increased by 82 percent in one year. *MadeinVilnius.lt*. Available at: <https://madeinvilnius.lt/transportas/naujas-juoduju-demiuzemelapis-demiupermetus-padaugejo-82-proc/> (accessed April 7, 2025)
12. Cherin A., Onyshchenko M. (2019) Geoinformation support of spatial planning and urban cadastre for settlements of Ukraine. *Association of Ukrainian Cities*. Available at: https://www.auc.org.ua/sites/default/files/cherin_gis_naselenyh_punktiv_ukrayiny.pdf (in Ukrainian)
13. Vgorode.ua. (2019) Zhubni mistia: v Odesi stvoryly kartu DT’P [Dangerous spots: a traffic accident map created in Odesa]. *Vgorode.ua*. Available at: <https://od.vgorode.ua/news/sobytyia/409331-hyblye-mesta-v-odesse-sozdaly-kartu-dtp> (accessed April 7, 2025) (in Ukrainian)

14. Spilno HUB. (2021) Analitika DT'P ta rekomendatsii shchodo pidvyshchennia bezpeky na dorohakh: Kherson [Road traffic accident analytics and safety improvement recommendations – Kherson]. Available at: <https://spilnohub.org/analitika-dtp-kherson/> (accessed April 7, 2025) (in Ukrainian)
15. Spilno HUB. (2021) Analitika DT'P ta rekomendatsii shchodo pidvyshchennia bezpeky na dorohakh: Zaporizhzhia [Road traffic accident analytics and safety improvement recommendations – Zaporizhzhia]. Available at: <https://spilnohub.org/analitika-dtp-zaporizhzhia/> (accessed April 7, 2025) (in Ukrainian)
16. Ministerstvo vnutrishnikh sprav Ukrainy. (2024) Anton Herashchenko: Do 2024 roku planuietsia vstanovlennia 1,5 tysiachi statsionarnykh kamer fotovideofiksatsii porushen PDR [Anton Herashchenko: By 2024, 1,500 stationary traffic violation cameras are planned to be installed]. *Ministry of Internal Affairs of Ukraine*. Available at: <https://mvs.gov.ua/en/press-center/news/anton-gerashhenko-do-2024-roku-planujetsya-vstanovlennya-15-tysyaci-stacionarnix-kamer-fotovideofiksatsiyi-porushen-pdr> (accessed April 19, 2025) (in Ukrainian)
17. Carrillo J. (n.d.) Using GIS analysis to achieve zero traffic casualties. *Smart Cities Dive*. Available at: <https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/vision-zero-approach-ped-projects-austin-tx/1083781> (accessed April 16, 2025)
18. Grogan T. (n.d.) Connected car data creates road safety insights. *StreetLight Data*. Available at: <https://www.streetlightdata.com/connected-car-data-creates-road-safety-insights/> (accessed April 12, 2025)
19. Toronto Police Service. (n.d.) Killed or seriously injured (KSI) data. *Toronto Police Service Public Safety Data Portal*. Available at: <https://data.torontopolice.on.ca/pages/ksi> (accessed April 16, 2025)