

УДК 656.1

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.287-293](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.287-293)**В. О. Дорошук, І. А. Бережняк, Є. Б. Сліпенький***Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна**e-mail: v.o.doroshchuk@nuwm.edu.ua, berezhniak_m21@nuwm.edu.ua,**e.b.slipenkyi@nuwm.edu.ua*

Організація дорожнього руху поза межами населених пунктів

У статті досліджується організація дорожнього руху поза межами населених пунктів. Метою дослідження є вивчення закономірностей впливу характеристик транспортного потоку на рівень безпеки дорожнього руху на міжміських автомобільних дорогах. Для оцінки рівня безпеки дорожнього руху визначено структуру транспортного потоку та коефіцієнти аварійності на ділянці автомобільної дороги поза межами населених пунктів. Дане дослідження спрямоване на підвищення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах поза населеними пунктами. Основним завданням дослідження є визначення та оптимізація швидкісного режиму транспортних засобів.

організація дорожнього руху, безпека руху, дорожньо-транспортні пригоди, транспортний потік, швидкість руху, транспортні засоби

Постановка проблеми. У контексті зростання рівня автомобілізації актуалізується проблема ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі з урахуванням вимог безпеки дорожнього руху. За межами населених пунктів вирішення цієї проблеми досягається шляхом збільшення пропускної здатності доріг та оптимізації їх геометрії.

Висока смертність на дорогах – серйозна проблема, яка вимагає нових підходів до організації руху та розвитку транспортної системи.

Забезпечення безпеки дорожнього руху є пріоритетним завданням міжнародного масштабу, що потребує системного та комплексного підходу. Ефективне вирішення цієї проблеми передбачає інтеграцію стратегічних та оперативних заходів, спрямованих на зниження рівня аварійності та травматизму, а також підвищення стійкості транспортної системи. Для досягнення цих цілей використовуються різноманітні методи та моделі, що дозволяють оптимізувати управління транспортною системою шляхом залучення технічних та інтелектуальних ресурсів. Щоб ефективно керувати рухом транспорту, потрібен інструмент, який допоможе аналізувати ситуацію в реальному часі, прогнозувати розвиток подій, приймати правильні рішення та оцінювати їхні результати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасному світі, де кількість автомобілів на дорогах постійно зростає, проблема безпеки дорожнього руху набуває глобального масштабу. Наслідки дорожньо-транспортних пригод, такі як людські жертви, травми, забруднення навколишнього середовища та економічні втрати, є неприпустимими та потребують негайного вирішення.

Дослідженням питання організації дорожнього руху займалися багато науковців, серед яких В.В. Сильянова, О.Ю. Цибенко, С. Бутник, О.П. Дзюба, М. Лазаренко, В.П. Поліщук, А. Філіппов, І. Горбачева, Б.М. Головкін, А.Б. Вознюк, Д. Козар, В.Б. Кисельова, О. Шумейко, Ганс Келер, Майкл Джонсон та інші. Їхні наукові дослідження охоплюють широкий спектр питань, пов'язаних з цією проблематикою.

У наукових роботах вивчається можливість використання теорії прийняття рішень для вирішення практичних проблем управління дорожнім рухом.

Існуючі наукові результати є важливими для розвитку транспортної системи, але висока смертність на дорогах вимагає нових рішень. Особливо це стосується міст, де інтенсивність руху та складність дорожньої мережі створюють підвищені ризики.

Незважаючи на численні дослідження, проблема визначення місць, де найчастіше трапляються ДТП, залишається актуальною через значні витрати на її вирішення. Тому необхідні подальші дослідження та розробка нових методів для покращення безпеки дорожнього руху.

Статистика аварійності на дорогах України свідчить про серйозну проблему з безпекою дорожнього руху. Кількість дорожньо-транспортних пригод щороку зростає, в тому числі з загиблими і травмованими, і в 2024 році становить 25781, що на 9% більше порівняно з 2023 р.). Рівень смертності в Україні значно перевищує середньоєвропейські показники, а економічні збитки від ДТП становлять значну частку ВВП [11].

Розвиток теорії транспортних потоків досяг значних успіхів, проте її практичне застосування обмежене рядом об'єктивних факторів. Серед них: нестабільність та різноманітність транспортних потоків, суперечливість критеріїв оцінки якості управління рухом, непередбачуваність дорожніх умов та неточність виконання рішень з управління рухом [13].

Дослідження стану автомобільних доріг загального користування в Україні виявило проблему недостатньої пропускної здатності, що призводить до неефективного функціонування транспортної системи. Відсутність раціональної організації дорожнього руху призводить до збільшення часу та вартості перевезень.

Постановка завдання. Перевантаження трафіку – це стан транспортної мережі, що характеризується зниженням швидкості руху, збільшенням часу поїздки та накопиченням транспортних засобів внаслідок перевищення попиту на проїзд над пропускною здатністю.

Зростання інтенсивності транспортних потоків та зміна їх характеристик висувають підвищені вимоги до систем управління та організації дорожнього руху. Для забезпечення необхідного рівня безпеки та ефективності руху необхідна оптимізація параметрів вулично-дорожньої мережі

Рух автомобіля – це складний процес, в якому взаємодіють водій, автомобіль, дорога та навколишнє середовище. Цю взаємодію називають системою "ВАДС". Забезпечення ефективного та безпечного функціонування даної системи вимагає комплексного підходу, що включає в себе вдосконалення підготовки водіїв, підвищення якості транспортних засобів, розвиток дорожньої інфраструктури та оптимізацію організації дорожнього руху [6].

Удосконалення системи оперативного управління безпекою дорожнього руху є важливим кроком у вирішенні проблеми смертності на дорогах.

Вирішення проблеми аварійності на дорогах України вимагає системного підходу, що включає модернізацію дорожньої інфраструктури, вдосконалення системи підготовки водіїв, впровадження інноваційних технологій у сфері безпеки дорожнього руху та посилення відповідальності учасників дорожнього руху.

Структурний склад транспортного потоку є визначальним фактором, що впливає на його параметри. Зростання частки вантажних транспортних засобів та автопоїздів, що характеризуються відмінними динамічними та гальмівними характеристиками, призводить до збільшення диференціації транспортного потоку за швидкістю руху.

Виклад основного матеріалу. У сучасній транспортній галузі широко застосовується метод моделювання для оцінки ефективності різних варіантів організації дорожнього руху. Спеціалізоване програмне забезпечення дозволяє створювати комплексні моделі, що враховують транспортний попит, пропозицію та їх взаємодію. Комп'ютерні програми допомагають фахівцям у транспортній сфері приймати рішення, моделюючи різні сценарії та оцінюючи їх ефективність.

Необхідність адаптації до динамічних змін структури транспортного потоку та локальних умов зумовлює потребу в періодичному перегляді і розширенні переліку коефіцієнтів аварійності на основі аналізу статистичних даних ДТП.

З метою оцінки рівня безпеки дорожнього руху на заданій ділянці автомобільної дороги коефіцієнти аварійності класифіковано за трьома групами відповідно до їхньої сталості. Розподіл коефіцієнтів за групами представлено на схемі (рис. 1).

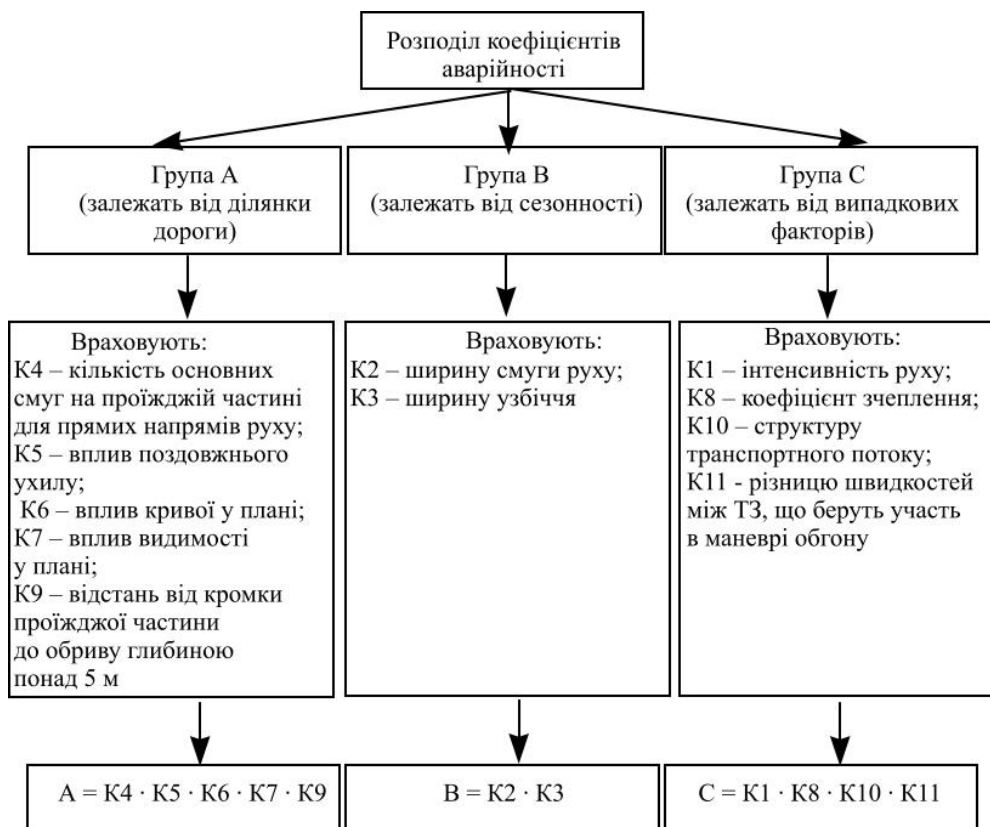


Рисунок 1 – Розподіл коефіцієнтів за групами

Джерело: розроблено авторами

Враховуючи значення коефіцієнтів різних груп цільова функція підсумкового коефіцієнта аварійності прямує до мінімуму і матиме вигляд:

$$K_{\text{підсум}} = A \cdot B \cdot C \rightarrow \min \quad (1)$$

де $K_{\text{підсум}}$ – цільова функція підсумкового коефіцієнта аварійності.

Низький підсумковий коефіцієнт аварійності свідчить про високий рівень безпеки дорожнього руху на конкретній ділянці автомобільної дороги.

З метою врахування структури транспортного потоку всі транспортні засоби були класифіковані на чотири групи відповідно до їхніх категорій: мотоцикли (L), легкові автомобілі (M1), вантажівки та автопоїзди (N2, N3, N+O3,4) та автобуси (M2,3).

Аналіз швидкісних характеристик транспортного потоку виявив високу дисперсію швидкостей руху транспортних засобів, при цьому половина водіїв перевищує встановлені обмеження. Також було встановлено, що транспортний потік характеризується неоднорідністю швидкостей, з диференціацією швидкостей між

транспортними засобами, що здійснюють маневр обгону, в діапазоні від 11 до 70 км/год (рис. 2).

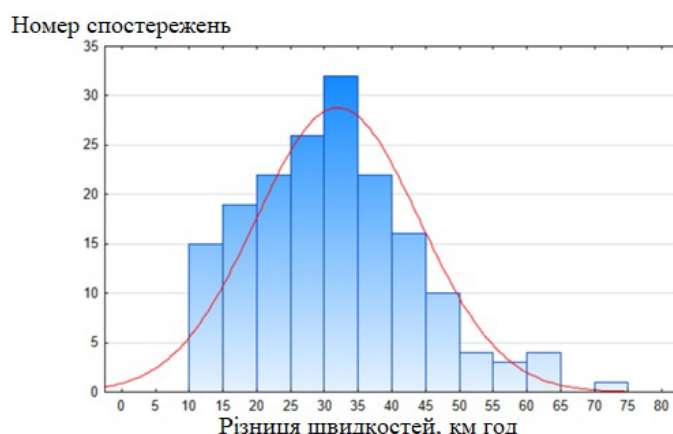


Рисунок 2 – Графічне представлення розподілу величини різниці швидкостей між транспортними засобами, що беруть участь в маневрі обгону

Джерело: розроблено авторами

Гетерогенність транспортного потоку є фактором, що зумовлює підвищення частоти здійснення маневрів обгону, що обумовлено диференціацією динамічних та гальмівних характеристик транспортних засобів різних категорій.

Дослідження показало, що ймовірність обгону на небезпечних ділянках дороги залежить від характеристик транспортного потоку:

$$y = 0,0001 \cdot x_1 + 0,0008 \cdot x_2 - 0,0181 \cdot x_3 + 0,0017 \quad (2)$$

де y – вірогідність здійснення маневру обгону групою транспортних засобів;

x_1 – частка категорій транспортних засобів М2, М3, N2, N3, N+O3,4, %;

x_2 – різниця швидкостей між транспортними засобами, що обганяють і яких обганяють, км/год;

x_3 – коефіцієнт завантаження рухом.

На основі отриманих даних було виведено формулу для визначення безпечної швидкості обгону в умовах гарної видимості та сухого дорожнього покриття. Ця формула враховує кількість вантажних автомобілів, автобусів та автопоїздів у транспортному потоці:

$$V_{\text{без}} = V_{\text{п}} + 18,90 - 0,51 \cdot \alpha \quad (3)$$

де $V_{\text{без}}$ – безпечна швидкість обгону з урахуванням структури транспортного потоку, км/год;

$V_{\text{п}}$ – середня швидкість транспортного потоку, км/год;

$$V_{\text{п}} = V_0 \cdot \theta \cdot \vartheta - \alpha \cdot K_a \cdot N \quad (4)$$

де V_0 – швидкісний режим легкових автомобілів, що спостерігається на прямолінійній горизонтальній ділянці дороги з наступними характеристиками: ширина проїжджої частини – 7,5 м, ширина крайових смуг – 0,75 м, ширина укріплених узбіч – 3,5 м, за умови низького коефіцієнта завантаження;

θ – інтегральний коефіцієнт, що характеризує вплив геометричних параметрів дорожнього полотна, складу транспортного потоку та засобів організації дорожнього руху на швидкість вільного руху транспортних засобів;

ϑ – коефіцієнт, що відображає середній вплив стану дорожнього покриття на швидкість транспортного потоку з урахуванням погодних умов;

α – коефіцієнт, що відображає вплив співвідношення різних типів транспортних засобів на характеристики транспортного потоку;

Ka – коригувальний коефіцієнт, що відображає вплив розмітки, інтенсивності руху, кривих ділянок дороги та поздовжніх ухилів на швидкість руху транспортного потоку;

N – інтенсивність руху, авт/год.

На основі експериментальних даних, після їх обробки та аналізу, була розроблена регресійна модель.

$$K_{11} = 0,05 \cdot \Delta V + 1 \quad (5)$$

де K_{11} – коефіцієнт аварійності;

ΔV – різниця швидкостей між транспортними засобами, що беруть участь в маневрі обгону.

$$\Delta V = V1 - V2 \quad (6)$$

де $V1$ – швидкість автомобіля, який виконує обгін, км/год.;

$V2$ – швидкість автомобіля, якого обганяють, км/год.

Встановлена залежність надає можливість врахування режимів руху транспортних засобів при проведенні оцінки рівня безпеки дорожнього руху (рис. 3).

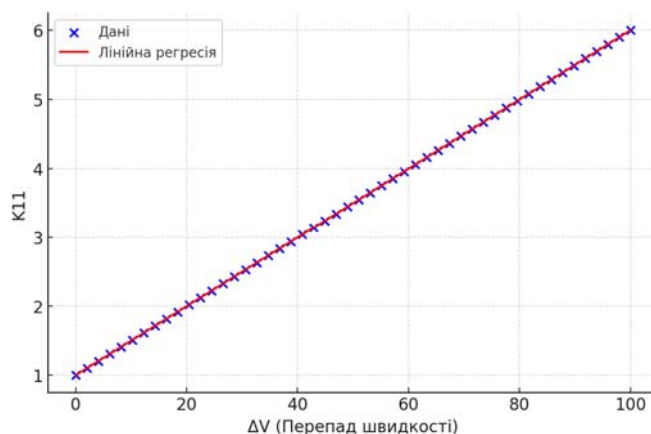


Рисунок 3 – Графічне представлення регресійної моделі.

Джерело: розроблено авторами

За допомогою регресійного аналізу можна: ідентифікувати ключові фактори, які впливають на безпеку, визначити їхній внесок і взаємодію; прогнозувати рівень безпеки, оцінюючи, як зміна параметрів режиму руху (наприклад, збільшення середньої швидкості або зміна інтенсивності потоку) може вплинути на аварійність; оптимізувати організацію руху, розробляючи рекомендації щодо впровадження адаптивних систем контролю (наприклад, систем «розумних світлофорів» або автоматичного контролю швидкості), що враховують специфічні умови руху.

Завдяки отриманим даним можна буде розробити рекомендації щодо покращення інформування водіїв на небезпечних ділянках доріг.

Для підвищення безпеки дорожнього руху на небезпечних ділянках необхідно надавати водіям інформацію про поточну дорожню обстановку, швидкість транспортного потоку та безпечну швидкість обгону з урахуванням складу транспортного потоку. Це може бути реалізовано шляхом встановлення динамічних

інформаційних табло, які оновлюватимуть інформацію в режимі реального часу на основі даних з датчиків інтенсивності руху, швидкості та стану дорожнього покриття.

Висновки. Організація дорожнього руху поза межами населених пунктів – це комплексна задача, що вимагає уваги до деталей та використання сучасних технологій. Встановлено, що ключовими факторами, які впливають на безпеку руху на міжміських дорогах, є склад транспортного потоку та різниця швидкостей між транспортними засобами, що здійснюють маневр обгону. Швидкісні характеристики різних типів транспортних засобів безпосередньо впливають на безпеку обгону, визначаючи необхідну дистанцію, час маневру та рівень ризику виникнення аварійної ситуації. Тому визначення безпечної швидкості обгону на міжміських дорогах дозволить підвищити безпеку руху, зменшенням ризику аварій, пов'язаних із неправильним або ризикованим обгоном, завдяки чітко встановленим параметрам для цього маневру, а також забезпечити гармонійне злиття швидкостей різних типів транспортних засобів, що сприяє зниженню заторів та конфліктів між учасниками дорожнього руху.

Сучасні дослідження підтверджують важливість комплексного підходу до організації дорожнього руху поза містами. Використання інноваційних технологій, підвищення безпеки та екологічна складова є пріоритетними напрямками розвитку. Подальші дослідження необхідні для впровадження ефективних рішень на практиці та вдосконалення існуючих методів контролю й управління дорожнім рухом.

Для покращення організації дорожнього руху поза межами населених пунктів та підвищення безпеки на дорогах необхідно впроваджувати інтелектуальні транспортні системи для моніторингу трафіку та надання водіям актуальної інформації, використовувати адаптивне освітлення та дорожньої розмітки для підвищення безпеки, оптимізувати розташування знаків обмеження швидкості та камер контролю, впроваджувати технології зимового утримання доріг, зокрема підігріву дорожнього покриття, запроваджувати окремі смуги для автономного та громадського транспорту, на ділянках доріг з обмеженою видимістю необхідно облаштовувати смуги для обгону, які дозволять.

Список літератури

1. Горбачева І.М. Зарубіжний досвід боротьби з порушеннями правил безпеки руху та експлуатації транспорту. *Вісник Асоціації кримінального права України*. 2017. № 1(8). С. 203-212.
2. Головкін Б.М. Оцінка дорожньо-транспортної аварійності та тяжкості її наслідків в Україні. Проблеми законності. *Вісник асоціації кримінального права України*. 2022. Вип. 156. С. 52–75.
3. Бутник С. Про вдосконалення законодавства щодо забезпечення безпеки дорожнього руху. *Правова інформатика*. 2013. № 1 (37). С. 86–93.
4. Козар Д.К. Зарубіжний досвід забезпечення патрульною поліцією безпеки дорожнього руху. *Честь і закон*. 2020. № 1 (72). С. 52–58.
5. Шумейко О.А. Зарубіжний досвід забезпечення безпеки дорожнього руху за допомогою автоматизованих систем (на прикладі деяких країн Європи та США). *Науковий вісник публічного та приватного права*. 2016. Вип. 6, Т. 2. С. 77-82.
6. Кашканов, А.А., Кужель В.П. Організація дорожнього руху. Вінниця : ВНТУ, 2017. 125 с.
7. Кишун В. Організація і безпека дорожнього руху: конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.070101 Транспортні технології усіх форм навчання. Луцьк: Луцький НТУ, 2014. 200 с.
8. Дорошук В., Бережнюк І., Організація міжнародного дорожнього руху при перевезенні вантажів. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*: матеріали VI МНПК (м. Кропивницький, 22-24 листоп. 2023 р.). Кропивницький, 2023. С. 119-120.
9. Горбачов П.Ф., Ву Дик Мінь, Штанько І.І. Закономірності розподілу швидкості руху транспортних засобів на міських вулицях. *Сучасні інформаційні системи*. 2020. № 4(2). С. 163–169.
10. Бережнюк І.А., Дорошук В.О. Транспортна безпека в Україні. *Транспорт : наука та практика*: матеріали III МНПК (м. Одеса, 16 травня 2024 р.). Одеса: ОНМУ, 2024. С. 215-219.
11. Бережнюк І.А., Дорошук В.О. Стратегії зменшення аварійності та смертності на дорогах. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції (м. Вінниця, 23-25 жовтня 2023 р.). Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 58-59.
12. Дорошук В.О., Бережнюк І.А., Коваль А.В. Моделювання транспортних потоків. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем*: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції (м. Кропивницький, 19-21 квітня 2023 р.). Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С. 122–123.

13. Hardy, M., Wunderlich K. Traffic Analysis Tools Volume IX. Work Zone Modeling and Simulation – A Guide for Analysts. Report No. FHWA-HOP-09-001. FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC. March 2009. URL: ops.fhwa.dot.gov/wz/traffic_analysis/tatv9_wz/tatvol_9.pdf (дата звернення: 05.01.2025).

References

1. Gorbacheva, I.M. (2017). Foreign experience in combating violations of traffic safety and transport operation rules. *Visnyk Asotsiatsii kryminalnoho prava Ukrainy*, 1(8), 203-212 [in Ukrainian].
2. Golovkin, B.M. (2022). Assessment of road traffic accidents and the severity of their consequences in Ukraine. Problems of legality. *Visnyk Asotsiatsii kryminalnoho prava Ukrainy*, 156, 52-75 [in Ukrainian].
3. Butnyk, S. (2013). On improving legislation on road safety. *Pravova informatyka*, 1 (37), 86-93 [in Ukrainian].
4. Kozar, D.K. (2020). Foreign experience in ensuring road safety by patrol police. *Chest i zakon*, 1 (72), 52-58 [in Ukrainian].
5. Shumeiko, O.A. (2016). Foreign experience of ensuring road safety with the help of automated systems (on the example of some European countries and the USA). *Naukovyi visnyk publichnoho ta pryvatnoho prava*. 6(2), 77-82 [in Ukrainian].
6. Kashkanov, A.A., & Kuzhel, V.P. (2017). *Organisation of road traffic*. Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
7. Kyshchun, V. (2014). *Organisation and safety of road traffic: notes for students of the training direction 6.070101 Transport technologies of all forms of education*. Lutsk: Lutsk NTU [in Ukrainian].
8. Doroshchuk, V., & Berezniak, I. (2023). Organisation of international road traffic in the carriage of goods. *Innovative technologies for the development and efficiency of road transport: materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 119-120). Kropyvnytskyi [in Ukrainian].
9. Gorbachev, P.F., Vu Dik Minh, & Shtanko, I.I. (2020). Regularities of vehicle speed distribution on city streets. *Suchasni informatsiini systemy*. 4(2), 163-169. [in Ukrainian].
10. Berezniak I.A., & Doroshchuk V.O. (2024). Transport security in Ukraine. *Transport: nauka ta praktyka: materialy konferentsii*, (pp. 215-219). Odesa: ONMU [in Ukrainian].
11. Berezniak, I.A., & Doroshchuk, V.O., (2023). Strategies for reducing accidents and mortality on the roads. *Suchasni tekhnologii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu: materialy XVI mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 58-59). Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
12. Doroshchuk, V.O., Bereznyak, I.A., & Koval, A.V. (2023). Modelling of traffic flows. *Pidvyshchennia nadiinosti i efektyvnosti mashyn, protsesiv i system: materialy V mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 122-123). Kropyvnytskyi: CNTU [in Ukrainian].
13. Hardy, M., & Wunderlich K. (2009). Traffic Analysis Tools Volume IX. Work Zone Modeling and Simulation – A Guide for Analysts. (FHWA-HOP-09-001. FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, DC.

Viktoriia Doroshchuk, Ivanna Berezniak, Evgeniy Slipenkyi

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Traffic Management Outside Settlements

The article investigates the organisation of traffic on intercity motorways outside settlements. The main purpose of the research is to study the patterns of influence of traffic flow characteristics on the level of road safety. The organisation of traffic outside settlements has its own characteristics that differ from the conditions of urban roads, so an important task is to ensure the safety and efficiency of vehicle movement at high speeds. Ensuring road safety is an international priority that requires a systematic and comprehensive approach. An effective solution to this problem involves the integration of strategic and operational measures aimed at reducing the level of accidents and injuries, as well as increasing the sustainability of the transport system.

The study assesses the level of road safety by determining the structure of traffic flow and accident rates on a selected section of an intercity road. The key factors affecting traffic safety are analysed: vehicle speed, traffic intensity, vehicle types and road conditions. The results of the study show that optimisation of the speed regime is one of the most important aspects of improving road safety. Particular attention is paid to the analysis of the relationship between traffic intensity and accident rate. It is established that excessive traffic density or excessively high speeds significantly increase the risk of road accidents. Approaches to regulating the speed regime based on traffic flow modelling are proposed, which allows achieving an optimal balance between transport efficiency and road safety.

In addition, the use of intelligent transport systems (ITS) for real-time traffic monitoring and control is investigated. The introduction of such systems increases the adaptability of road infrastructure to changes in traffic flows, which has a positive impact on safety. Thus, the results of the study and the proposed recommendations can be applied to the design of new and reconstruction of existing road networks, which will help reduce accidents and improve road safety outside of settlements.

traffic management, traffic safety, road accidents, traffic flow, traffic speed, vehicles

Одержано (Received) 27.02.2025

Прорецензовано (Reviewed) 04.03.2025

Прийнято до друку (Approved) 14.03.2025