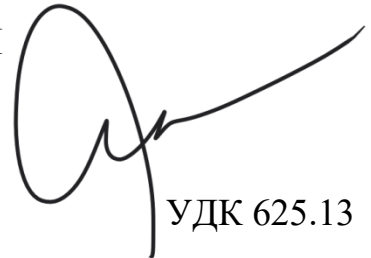


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ВОЗНЮК АНДРІЙ БОРИСОВИЧ



УДК 625.13

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНО-
НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,
Каськів Володимир Іванович,
Державне підприємство «Державний дорожній
науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»,
заступник директора з наукової роботи, м. Київ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Прокудін Георгій Семенович,
Національний транспортний університет Міністерства
освіти і науки України, завідувач кафедри
міжнародних перевезень та митного контролю, м. Київ

кандидат технічних наук,
Могила Ігор Андрійович,
ТОВ «Ежіс-Україна», експерт з міського транспорту та
мобільності, м. Львів

Захист відбудеться 09 квітня 2021 року о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий «09» березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

 О.Ю. Усиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Постійне зростання кількості автомобілів та інтенсивності руху створює низку проблем, що пов'язані із необхідністю забезпечення безпеки дорожнього руху. Та ж тенденція зростання спостерігається при аналізі кількості травмованих і загиблих внаслідок дорожньо-транспортних пригод (ДТП), що призводить до значних матеріальних втрат. Все вищенаведене вказує на те, що проблема безпеки руху є глобальною для країни та потребує негайного розроблення шляхів її вирішення.

Теоретичні і методологічні основи організації та безпеки дорожнього руху представлено в наукових працях Бабкова В.Ф., Вайсмана А.І., Капського Д.В., Клінковштейна Г.І., Гаврилова Е.В. Розкриттям закономірностей роботи системи «Водій-Автомобіль-Дорога-Середовище» та ролі людського фактору в цій системі була приділена увага таких вчених як Афанасьєв Л.Л., Гюлев Н.У., Поліщук В.П. Проведений аналіз існуючих досліджень засвідчив наявність фундаментальних праць у напрямку забезпечення безпеки руху, але також виявив ряд питань, які не були враховані раніше. Аналіз розподілу швидкостей по всій довжині дороги або вулиці у поєднанні з аналізом умов руху надають можливість встановити причини виникнення аварійних ситуацій. Оскільки, наявні методики спрямовані на оброблення та аналізування даних про умови руху вже після настання ДТП, а заходи, які згідно них призначаються, спрямовані на поліпшення дорожніх умов лише на місцях концентрації ДТП, тому питання удосконалення методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок є актуальною задачею.

Мета і завдання дослідження. *Метою дослідження* є удосконалення методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг з урахування впливу дорожніх умов на швидкість руху.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні *завдання*:

- виконати аналіз існуючих методів прогнозування аварійно небезпечних ділянок і визначення показника безпеки на автомобільних дорогах;
- удосконалити метод прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на основі обґрунтування показника невідповідності умов руху вимогам транспорту;
- розробити метод розрахунку просторової видимості на автомобільній дорозі;
- провести натурні та математично-статистичні дослідження швидкостей руху транспортного потоку в різних дорожніх умовах з метою підтвердження адекватності розробленого методу;
- розробити методику та програмний продукт для потреб аудиту безпеки автомобільних доріг з метою превентивного виявлення аварійно-небезпечних ділянок.

Об'єкт дослідження – процес руху транспортних потоків на мережі автомобільних доріг.

Предмет дослідження – прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг з комплексним врахуванням впливу дорожніх умов, інтенсивності руху та складу транспортного потоку.

Методи дослідження – для вирішення поставлених у роботі задач використано наступні методи: натурні спостереження, системний аналіз, математична статистика і методи множинної кореляції, теорія планування експерименту, теорії транспортних потоків. Дослідження виконувались із використанням сучасного програмного забезпечення, а також з використанням прикладних пакетів програм Statistica 12.0, для оптимізації розрахунків була розроблена комп'ютерна програма «Safety Analysis»

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до тематичних планів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України:

- державний реєстраційний номер 0114U004956 – Виконати аналіз досвіду використання та переглянути СОУ 45.2-00018112-038:2009 «Паспорт автомобільної дороги»;

- державний реєстраційний номер 0115U005118 – Виконати аналіз досвіду використання нормативних документів щодо геоінформаційної системи управління автомобільними дорогами та розробити відповідні зміни до них в частині встановлення основних вимог до системи та визначення вартості робіт із її супроводу;

- державний реєстраційний номер 0116U007459 – Виконати аналіз та переглянути СОУ 45.2-00018112-006:2006 «Безпека дорожнього руху. Порядок огороження та організація дорожнього руху в місцях проведення дорожніх робіт з будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг»;

- державний реєстраційний номер 0116U007480 – Розробити методичні рекомендації та відповідний програмно-аналітичний комплекс з оцінки відповідності існуючих дорожніх умов вимогам безпеки руху з урахуванням інтенсивності руху та складу транспортних потоків на підставі даних з паспорту автомобільної дороги та галузевих баз даних;

- державний реєстраційний номер 0117U005120 – Виконати аналіз та розробити зміни до СОУ 42.1-37641918-122:2014 «Автомобільні дороги. Вимоги до комплексу робіт з інформаційного забезпечення» та СОУ 42.1-37641918-038:2016 «Паспорт автомобільної дороги»;

- державний реєстраційний номер 0118U000733 – Провести дослідження та розробити національний стандарт щодо проектування засобів заспокоєння руху на автомобільних дорогах загального користування і альбом типових схем організації дорожнього руху з їх застосуванням.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- обґрунтовано показник невідповідності, який дозволяє оцінити відповідність умов руху вимогам транспорту на підставі величини перепаду швидкостей на суміжних ділянках автомобільної дороги;

- удосконалено метод прогнозування виникнення аварійно-небезпечних ділянок;

- розроблено метод розрахунку просторової видимості на автомобільній дорозі;

- набули подальшого розвитку залежності швидкості руху від дорожніх умов, інтенсивності руху та складу транспортного потоку.

Практичне значення результатів досліджень: полягає в тому, що розроблені методика та програмний продукт дозволяють забезпечити потреби аудиту безпеки автомобільних доріг шляхом гнучкості алгоритму, швидкості виконання розрахунків з метою попередження виникнення аварійно-небезпечних ситуацій та, як наслідок, аварійно-небезпечних ділянок та місць концентрації ДТП.

Розроблені та впроваджені на національному рівні такі нормативні документи: ДСТУ 8749:2017 «Безпека дорожнього руху. Огородження та організація дорожнього руху в місцях проведення дорожніх робіт», ДСТУ 4123:2020 «Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння руху. Загальні технічні вимоги», а також на галузевому рівні в організаціях, які входять у сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор): СОУ 45.2-37641918-038:2016 «Паспорт автомобільної дороги»; СОУ 45.2-37641918-063:2016 «Геоінформаційна система автомобільних доріг. Вимоги до складу, змісту та застосування»; СОУ 42.1-37641918-122:2014 «Автомобільні дороги. Вимоги до комплексу робіт з інформаційного забезпечення»; МР В.2.3-37641918-891:2017 «Методичні рекомендації щодо оцінювання відповідності існуючих дорожніх умов вимогам безпеки руху з урахуванням інтенсивності руху та складу транспортних потоків».

Також результати досліджень було впроваджено в Службах автомобільних доріг в областях під час аналізу аварійності та складання проєктів та схем організації дорожнього руху.

Результати розрахунків, виконаних програмно-аналітичним комплексом, розробленим в процесі виконання дисертаційної роботи, використані під час аудиту безпеки дорожнього руху на міжнародному транспортному коридорі GoHighway (на ділянці Львів – Умань) в жовтні 2019 року.

Матеріали дисертаційної роботи впроваджені у навчальному процесі Національного транспортного університету, а саме при викладанні дисципліни «Експлуатація автомобільних доріг», та в дипломному проєктуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

Апробація основних теоретичних і практичних результатів дисертації на підприємствах та в організаціях підтверджується відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно. Внесок автора в опублікованих зі співавторами наукових працях: проведення натурних випробувань та здійснення аналізу факторів, які чинять вирішальний вплив на настання аварійно-небезпечної ситуації, у тому числі і за допомогою технології Великих даних [1, 3, 6]; актуалізація підходів для готування початкових даних для проведення розрахунків, результати яких застосовуються під час приймання проєктних та керівних рішень [2]; актуалізація підходів до організації дорожнього руху та заспокоєння дорожнього руху в місцях виконання дорожніх робіт [8, 12]; систематизація підходів до запровадження аудиту безпеки автомобільних доріг [5]; розроблення принципів інтерпретації співвідношення обмежень швидкості, безпечної та 85 % забезпечення швидкостей руху [4].

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на:

- 16-й конференції молодих вчених Литви «Наука – майбутнє Литви. Транспорт», 8 травня 2013 року у Вільнюсі – доповідь на тему «An approach to detecting road sections with limited visibility using three-dimensional model of road»;
- Міжнародній науково-технічній конференції «Автомобільні дороги: безпека і надійність», 24-25 листопада 2016 року у Мінську – доповідь на тему «Досвід впровадження геоінформаційної системи автомобільних доріг в Україні»;
- Першому міжнародному Конгресі з питань реформування системи управління безпеки дорожнього руху, 22 червня 2017 року у Києві – доповідь на тему «Організація дорожнього руху в місцях виконання дорожніх робіт»;
- 26-му Світовому дорожньому конгресі, 6-10 жовтня 2020 року в Абу-Дабі – доповідь на тему «Use of the geographic information system of ukrainian roads (GIS) to optimize road management in the lack of financial resource»;
- LXXVI науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, 14 травня 2020 року у Києві, – доповідь на тему «Дослідження параметрів транспортних потоків з використанням даних WIM»;
- 18-му Міжнародному форумі з будівництва, експлуатації і проектування автомобільних доріг і мостів «Автодорекспо», 10 листопада 2020 року у Києві, – доповідь на тему «Системний підхід до заспокоєння дорожнього руху».

Публікації. За результатами досліджень автором опубліковано 12 робіт, зокрема: 3 у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України; 2 статті у зарубіжних періодичних наукових виданнях; 3 у збірниках праць за матеріалами наукових конференцій; 4 статті додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 129 найменувань та шість додатків. Основний текст викладений на 124 сторінках. Текст ілюструється 94 рисунками і містить 34 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, сформульована мета та завдання дослідження, викладена наукова новизна та практична цінність отриманих результатів. У вступі також розкривається особистий внесок автора, питання апробації результатів, публікації за темою дисертаційної роботи, загальний обсяг та структура роботи.

У **першому розділі** проаналізовано стан проблеми безпеки дорожнього руху в Україні та проведено аналіз попередніх праць, що присвячені вивченню питань забезпечення безпеки дорожнього руху, зниження рівня аварійності та існуючих методів прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг.

Формуванню передумов для здійснення даного дослідження сприяли наукові праці Сильянова В.В., Ланового О.Т., Осташевського С.А., Хабутдінова Р.А., Гукова М.І., Осипова В.О., Могили І.А., Форнальчика Є.Ю., Прокудіна Г.С., Лобанова Е.М.,

Дрю Д., Хейта Ф., Раппопорта Х., Шнабеля В., Лозе Д., Соренсена М., Руне Е. та багатьох інших. У цих фундаментальних працях розглянуто питання теорії транспортних процесів і систем, встановлені основні закономірності функціонування транспортних систем, розроблені принципи формування систем і методи управління транспортними процесами.

Значна частина досліджень розглядає питання безпеки дорожнього руху з точки зору досягнення максимальної ефективності роботи транспортних потоків: в найкоротший час, за найкоротшим маршрутом та з максимально можливою безпечною швидкістю.

Зроблено висновок, що найбільш дієвим методом прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг є проведення аудиту безпеки дорожнього руху, що дозволить на різних стадіях технологічної готовності дороги виявити та усунути можливі причини ДТП.

Отримані результати аналізу існуючих методів зниження рівня аварійності визначили подальші напрямки теоретичних і експериментальних досліджень з встановленням факторів, що мають найбільший вплив на безпеку дорожнього руху.

У **другому розділі** наведено теоретичне обґрунтування удосконалення методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на основі отриманого показника невідповідності умов руху вимогам транспорту та метод розрахунку просторової видимості.

Аналіз системи «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище – Інформація» (ВАДСІ) свідчить, що процес руху автомобіля в транспортному потоці є складним та непередбачуваним. Це зумовлено багатьма факторами: дорожніми умовами, кількістю і технічними характеристиками транспортних засобів, психофізіологічним станом, досвідом водія тощо. Саме тому, постає необхідність встановити відповідність умов руху вимогам транспорту (рис. 1).



Рисунок 1 – Взаємодія в системі «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище – Інформація»

Відповідність є сукупністю частково визначених функцій між окремими елементами множин $a \in A$ та $b \in B$. Для скінчених множин A та B широко

застосовуються як матричні, так і графові представлення відповідності.

Забезпечення безпеки дорожнього руху, як динамічного процесу, що об'єднує безліч учасників, технічних засобів, конструктивних елементів і особливостей дорожньої інфраструктури, а також факторів середовища, вимагає багатофакторного системного аналізу надійності цієї системи.

Проаналізувавши існуючі підходи до моделювання, побудовано асиметричний граф запитів транспортного потоку на відповідність дорожніх умов (рис. 2).

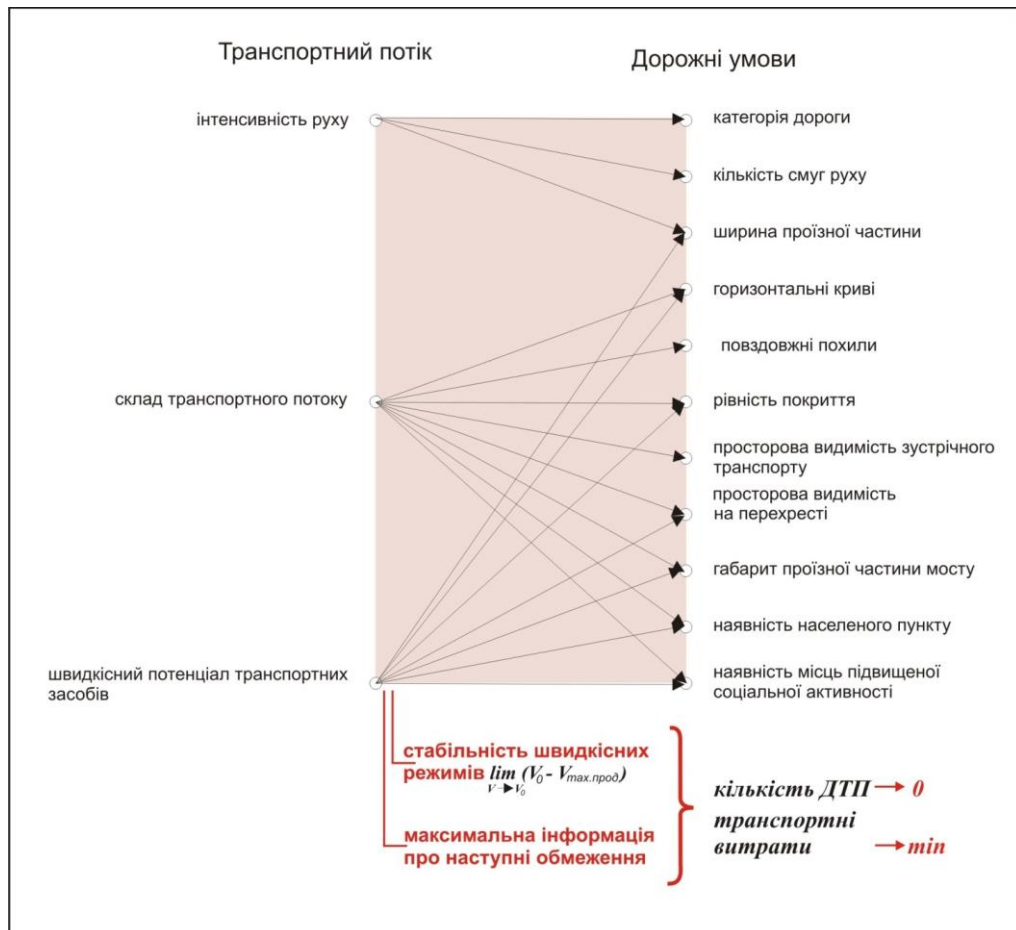


Рисунок 2 – Асиметричний граф запитів транспортного потоку на відповідність дорожніх умов

Прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг неможливе без встановлення ієрархії існуючих факторів, що мають вплив на швидкість руху.

Для оцінки впливу кожного з раніше визначених факторів (рис. 2) на швидкість руху, за результатами натурних спостережень, проведених на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп (на м. Будапешт через міста Львів, Мукачево та Ужгород) був сформований масив початкових даних. У дисертаційній роботі наведені обґрунтування вибору даної автомобільної дороги. Також, згідно сегментативної вибірки, дорогу М-06 було поділено на ділянки довжиною 1000 м з вказуванням їх особливостей.

У результаті обробки даних натурних спостережень методами кластерного аналізу та на основі деревовидної дендрограми було встановлено ієрархію факторів, що мають найбільший вплив на швидкість руху.

Визначено, що для моделювання процесів, які відбуваються на дорожній мережі, необхідно оцінити залежності зміни швидкості руху від визначених факторів.

Для оцінки сукупного впливу всіх визначених факторів була розроблена багатфакторна модель зміни швидкості руху:

$$V_{\text{вільна}} = 40,3762 + 0,09273X_1 - 0,09436X_2 + 0,01239X_3 - 0,01341X_4 - 0,01209X_5 - 0,00268X_6 + 139,1297X_7, \quad (1)$$

де $V_{\text{вільна}}$ – швидкість вільного руху;

X_1 – поздовжній похил;

X_2 – індекс рівності дороги;

X_3 – середньорічна добова інтенсивність руху;

X_4 – кількість легкових автомобілів у транспортному потоці;

X_5 – кількість вантажних автомобілів у транспортному потоці;

X_6 – кількість автопоїздів у транспортному потоці;

X_7 – коефіцієнт зчеплення.

Для даної моделі притаманні наступні статистичні характеристики: значення множинного коефіцієнта кореляції $R = 0,85$; значення помилки апроксимації $A = 9,89 \%$.

Одним із завдань дисертаційної роботи було обґрунтування показника невідповідності умов руху вимогам транспорту. З огляду на чинні підходи до встановлення обмежень руху, введемо критерій «стабільності» режиму руху транспортного потоку певною ділянкою дороги і він може розглядатись як зміна середньої швидкості руху потоку в межах 20 км/год. Таким чином, межа між сусідніми ділянками, середні швидкості руху якими відрізняються щонайменше на 10 км/год, є межею між ділянками зі «стабільними» умовами руху і відповідно – потенційно небезпечною.

Зважаючи на багатфакторність залежності (1) швидкості руху транспортних потоків у конкретних умовах, метод прогнозування аварійно-небезпечних ділянок набуде наступного вигляду:

На першому етапі – визначають межі ділянок зі стабільними умовами руху за кожним з параметрів:

- склад транспортного потоку:

$$|V_{\text{вільна}}(i+1) - V_{\text{вільна}}(i)| > 10 \text{ км/год}; \quad (2)$$

- інтенсивність руху:

$$|V_i f(N_{i+1}) - V_i f(N_i)| > 10 \text{ км/год}; \quad (3)$$

- категорія дороги та кількість смуг руху:

$$|V_i f(K_{i+1}) - V_i f(K_i)| > 10 \text{ км/год}; \quad (4)$$

- ширина проїзної частини:

$$|V_i f(B_{i+1}) - V_i f(B_i)| > 10 \text{ км/год}; \quad (5)$$

- поздовжній похил та його напрямки:

$$|V_i f(I_{i+1}) - V_i f(I_i)| > 10 \text{ км/год}; \quad (6)$$

- наявність горизонтальних кривих певних радіусів:

$$|V_i f(R_{i+1}) - V_i f(R_i=\infty)| > 10 \text{ км/год або } |V_i f(R_{i+1}) - V_i f(R_i)| > 10 \text{ км/год}; \quad (7)$$

- наявність мостів:

$$|V_i f(\Gamma_{i+1}) - V_{\text{вільна (i)}}| > 10 \text{ км/год}; \quad (8)$$

- рівність:

$$|V_i f(R_{i+1}) - V_i f(R_i)| > 10 \text{ км/год}; \quad (9)$$

- наявність ділянок з обмеженням швидкості руху, у зв'язку з незабезпеченою боковою видимістю на перехрестях із залізничними коліями та автомобільними дорогами в одному рівні:

$$|V_i f(\text{видимість перехрестя}) - V_{\text{вільна (i)}}| > 10 \text{ км/год}; \quad (10)$$

- наявність ділянок з обмеженням швидкості руху, у зв'язку з незабезпеченою просторовою видимістю зустрічного автомобіля:

$$|V_i f(\text{пряма видимість}) - V_{\text{вільна (i)}}| > 10 \text{ км/год}; \quad (11)$$

- наявність ділянок з обмеженням швидкості руху, у зв'язку з проходженням населеними пунктами:

$$|V_i f(\text{населений пункт}) - V_{\text{вільна (i)}}| > 10 \text{ км/год}; \quad (12)$$

- наявність ділянок з обмеженням швидкості руху, у зв'язку з підвищеною соціальною активністю:

$$|V_i f(\text{соціальна активність}) - V_{\text{вільна (i)}}| > 10 \text{ км/год}. \quad (13)$$

На другому етапі будують ранжируваний ряд значень меж усіх ділянок стабільних умов руху, розрахованих за окремими параметрами.

При цьому вважається, що найбільш несприятливою є мінімальна (з усіх розрахованих для даної ділянки) швидкість руху.

Проте зміна швидкості руху на 10 км/год не може розглядатись в якості адекватної оцінки ступеня небезпеки, оскільки він не розрізняє, наприклад, перепади у швидкості між 20 км/год і 30 км/год та між 120 км/год і 110 км/год.

Розроблено порівняльний показник невідповідності, який ураховує як перепад швидкостей на суміжних ділянках, так і абсолютні значення швидкостей руху на цих суміжних ділянках:

$$П_{ni+1} = (V_i - V_{i+1}) \frac{V_i}{V_{i+1}}, \quad (14)$$

де $П_{ni+1}$ – показник невідповідності умов на межі i -ї та $(i+1)$ -ї ділянок.

Якщо $П_{ni+1} < (V_i - V_{i+1}) \frac{V_i}{V_{i+1}}$, то така межа між суміжними ділянками є безпечною.

Якщо $П_{ni+1} > (V_i - V_{i+1}) \frac{V_i}{V_{i+1}}$, то чим більша різниця між середніми швидкостями на суміжних ділянках і чим вищі абсолютні значення швидкостей – тим вища небезпека і тим більшим є показник невідповідності.

Таким чином, *показник невідповідності* – це показник, який дозволяє оцінити відповідність умов руху вимогам транспорту на підставі величини перепаду швидкостей на суміжних ділянках автомобільної дороги або вулиці з урахуванням абсолютних значень швидкостей руху на цих суміжних ділянках.

Встановлено, що граничним значенням показника невідповідності, при якому ділянку автомобільної дороги можна вважати безпечною, є 15 км/год.

У **третьому розділі** встановлено, що дослідження системи ВАДСІ та прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг можливе на основі моніторингу та оброблення великих масивів даних в умовах реального часу, що можливо на основі використання технології Великих даних.

Визначено, що за допомогою технології Великих даних та на основі просторової моделі автомобільної дороги можна здійснити аналізування та прийняття відповідних рішень щодо прогнозування аварійно-небезпечних ситуацій, спричинених геометричними параметрами автомобільної дороги.

Встановлено підходи до визначення швидкості руху транспортних потоків на ділянках з різними дорожніми умовами. Для подальшої оцінки відповідності існуючих дорожніх умов вимогам транспортних потоків має бути забезпечена безпечна швидкість.

З асиметричного графа (рис. 2) встановлено, що безпечна швидкість руху транспортного потоку визначається як мінімальна із швидкостей, що зумовлюються наступними факторами: категорією дороги; параметрами дороги в плані (радіуси горизонтальних кривих); параметрами дороги в поздовжньому профілі (поздовжні похили); рівністю покриття; інтенсивністю руху; складом транспортного потоку.

Середню швидкість руху залежно від категорії дороги та радіуса горизонтальної кривої визначають за формулою:

$$V_{г.к.} = 12,5 \cdot R^a, \quad (15)$$

де $V_{г.к.}$ – середня швидкість руху по горизонтальній кривій, км/год;

R – радіус горизонтальної кривої, якщо вона менше за суттєвий радіус для даної категорії, м;

a – параметр залежності радіуса горизонтальної кривої від категорії дороги, числові значення якого отримані в дисертаційній роботі і змінюються від 0,265 до 0,296.

Середню швидкість руху на підйомі, незалежно від категорії дороги визначають за формулою:

$$V_{підйом} = V_{вільна} \cdot \frac{0,02^{25/V_{вільна}}}{i^{25/V_{вільна}}}, \quad (16)$$

де $V_{підйом}$ – середня швидкість руху на підйомі, км/год;

i – поздовжній похил, %.

Середню швидкість руху на спуску, незалежно від категорії дороги визначають за формулою:

$$V_{спуск} = V_{вільна} \cdot \frac{0,036^{70/V_{вільна}}}{i^{70/V_{вільна}}}, \quad (17)$$

де $V_{спуск}$ – середня швидкість руху на спуску, км/год.

Середню швидкість руху на ділянці з незадовільною рівністю, незалежно від категорії дороги визначають за формулою:

$$V_{\text{рівн}} = V_{\text{вільна}} \cdot \frac{50^{25/V_{\text{вільна}}}}{(13,457 \cdot IRI^{2,0469})^{25/V_{\text{вільна}}}}, \quad (18)$$

де $V_{\text{рівн}}$ – середня швидкість руху на ділянці з незабезпеченою рівністю, км/год;
 IRI – міжнародний індекс рівності, м/км.

Середню швидкість руху на мосту або шляхопроводі визначають за формулою:

$$V_{\text{мосту}} = V_{\text{вільна}} \cdot \frac{\Gamma_{\text{існуючий}}}{\Gamma_{\text{нормативний}}}, \quad (19)$$

де $\Gamma_{\text{існуючий}}$ – існуюча ширина проїзної частини моста, м;
 $\Gamma_{\text{нормативний}}$ – нормативний габарит проїзної частини моста, м.

Середню швидкість руху, що залежить від інтенсивності руху визначають за формулою:

$$V_N = \frac{C - \frac{N}{q_{\text{max}}}}{0,09}, \quad (20)$$

де V_N – швидкість руху, в залежності від інтенсивності руху, км/год;

C – параметр, що залежить від категорії дороги, числові значення якого отримані в дисертаційній роботі і змінюються від 7,39 до 13,47;

N – середньодобова інтенсивність руху в одному напрямі по одній смузі, авто/год;

q_{max} – максимальна щільність транспортного потоку авто/км, яку визначають за формулою:

$$q_{\text{max}} = \frac{1000}{1 + (3,6 \cdot C_L + 6,2 \cdot C_B + 11,9 \cdot C_A + 14,4 \cdot C_P)}. \quad (20)$$

Комбінуючи дані про розподіл швидкостей з іншими даними про автомобільну дорогу та аварійність, встановлено залежності поєднання небезпечних факторів, що чинять вирішальний вплив на виникнення кожного окремого ДТП або утворення аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг і місць концентрації ДТП (рис. 3).

Для подальшої оцінки відповідності існуючих дорожніх умов вимогам транспорту, на ділянках з незабезпеченою просторовою видимістю зустрічних транспортних засобів або тих транспортних засобів, які мають перетинати дорогу в одному рівні, має бути забезпечена безпечна швидкість. Безпечною швидкістю в цьому випадку є така швидкість, що задовольняє умови своєчасного гальмування та запобігання ДТП.

У дисертаційній роботі розроблено метод визначення просторової видимості. Його суть полягає в тому, що просторова видимість забезпечена, якщо в жодній з площин поперечних профілів відсутня перешкода променю зору водія на зустрічний транспорт (рис. 4).

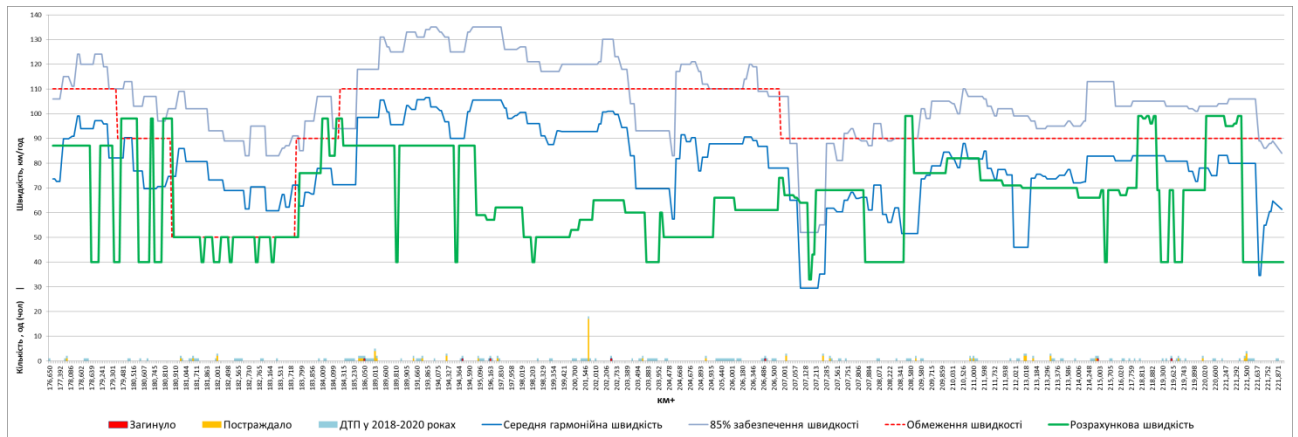
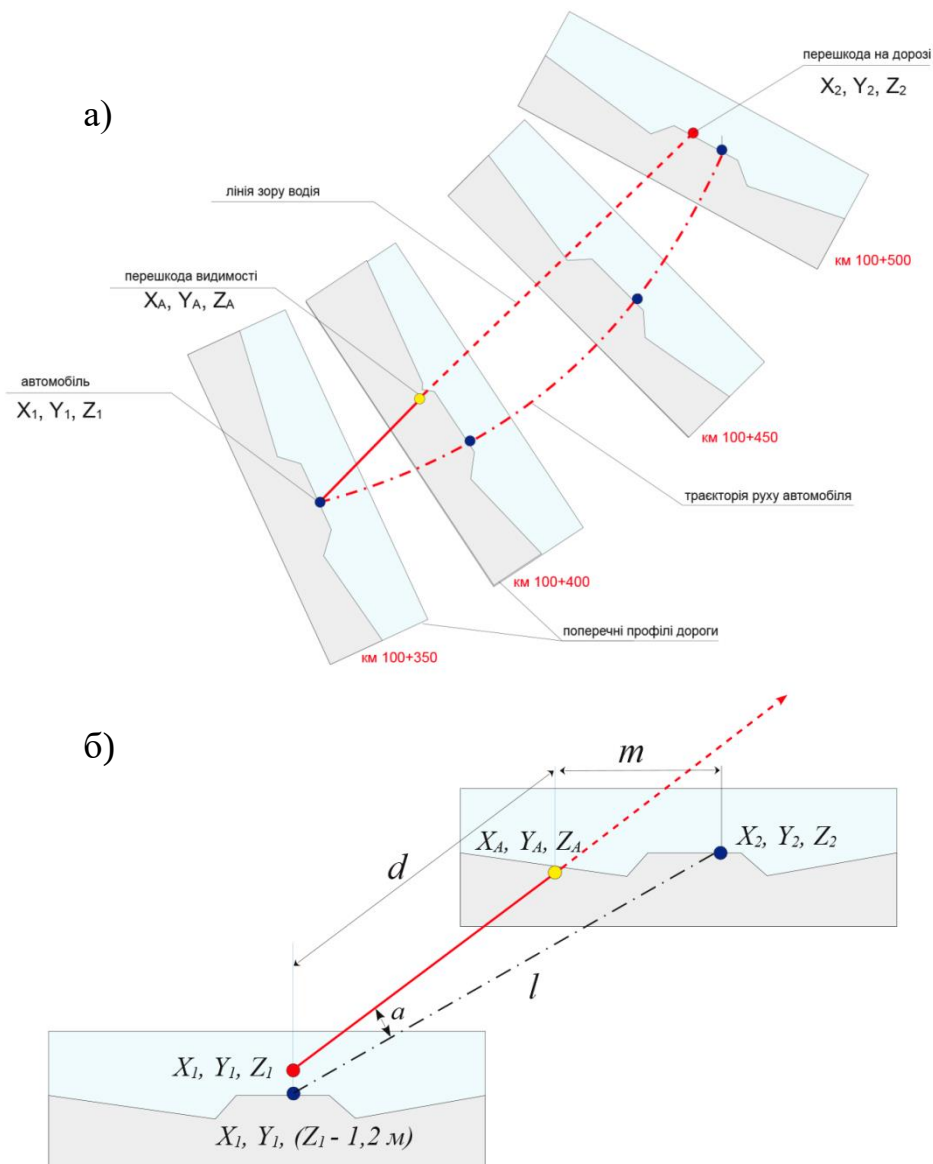


Рисунок 3 – Графік встановлених обмежень швидкості та швидкостей руху (безпечної, середньої гармонійної та 85 % забезпечення) у прямому напрямку руху на дорозі М-14 на ділянці від км 177+366 до км 221+883



1,2 м – відстань від лінії зору до поверхні покриття,
 α – кут між траєкторією руху автомобіля та напрямком зору водія.

Рисунок 4 – Принципова схема визначення просторової видимості

Умова забезпечення видимості – неперервність лінії зору водія в кожному з поперечних профілів між автомобілем та гіпотетичною перешкодою на дорозі.

Відстані m та d у площині наступного поперечного профілю (рис. 4, б) визначають за формулами:

$$m = l \cdot \tan \left(\arcsin \frac{l}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}} \right), \quad (21)$$

$$d = \frac{1}{l} \cdot \cos \left(\arcsin \frac{l}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}} \right), \quad (22)$$

де l – відстань між сусідніми поперечними профілями;

X_1, Y_1, Z_1 – координати очей водія;

X_A, Y_A, Z_A – координати точки A , де переривається лінія зору водія;

Координати точки A , у якій переривається промінь зору водія, визначають за формулами:

$$X_A = \frac{d((X_2 - X_1) + L \cdot X_1)}{L}, Y_A = \frac{d((Y_2 - Y_1) + L \cdot Y_1)}{L}, Z_A = \frac{d((Z_2 - Z_1) + L \cdot Z_1)}{L}, \quad (23)$$

де L – заданий гальмівний шлях, м;

Розв'язання системи рівнянь здійснюють методом ітераційного перебору відрізків, які з'єднують опорні точки поперечного профілю:

$$\begin{cases} X_{1i} \leq X_A \leq X_{2i} \\ Y_{1i} \leq Y_A \leq Y_{2i} \end{cases}. \quad (24)$$

Просторова видимість буде забезпечена при умові:

$$Z_A > Z_{2i}. \quad (25)$$

Отже, прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг можливе на основі аналізу всіх параметричних характеристик кожного елемента системи ВАДСІ з використанням наведених вище залежностей, що дасть змогу зменшити кількість цих ділянок.

У **четвертому розділі** проведено моделювання процесу визначення показника невідповідності. З цією метою був розроблений програмний комплекс «Safety Analysis».

Загальна послідовність розрахунків та дій, які поетапно реалізують поставлену задачу з визначення показника невідповідності наведена на рис. 5.

Перевірку теоретичних положень та отриманих залежностей, а також порівняння отриманих результатів з іншими методиками оцінки безпеки ділянок автомобільних доріг було здійснено на прикладі ділянки автомобільної дороги М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на м. Таганрог) від км 177+366 до км 221+883.

Порівняльний аналіз результатів розрахунку показника невідповідності швидкостей Π_n з результатами застосування інших методів виявлення аварійно-небезпечних ділянок був здійснений шляхом візуалізації на картографічній підставі.

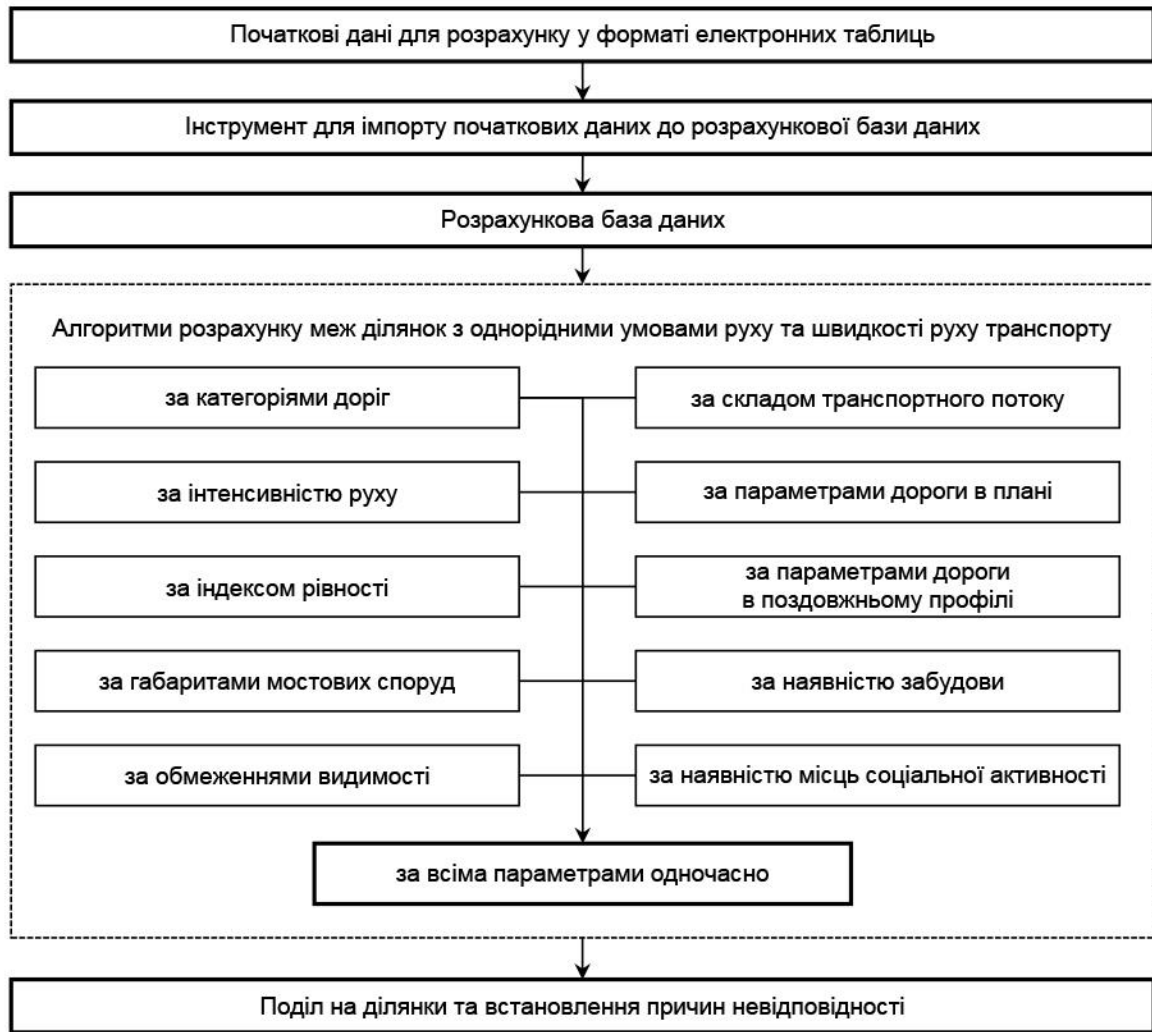


Рисунок 5 – Загальна блок-схема алгоритмів розрахунку показника невідповідності

Ліворуч розраховані аварійно-небезпечні ділянки за розробленим методом, праворуч фактичні місця концентрації ДТП (рис. 6).

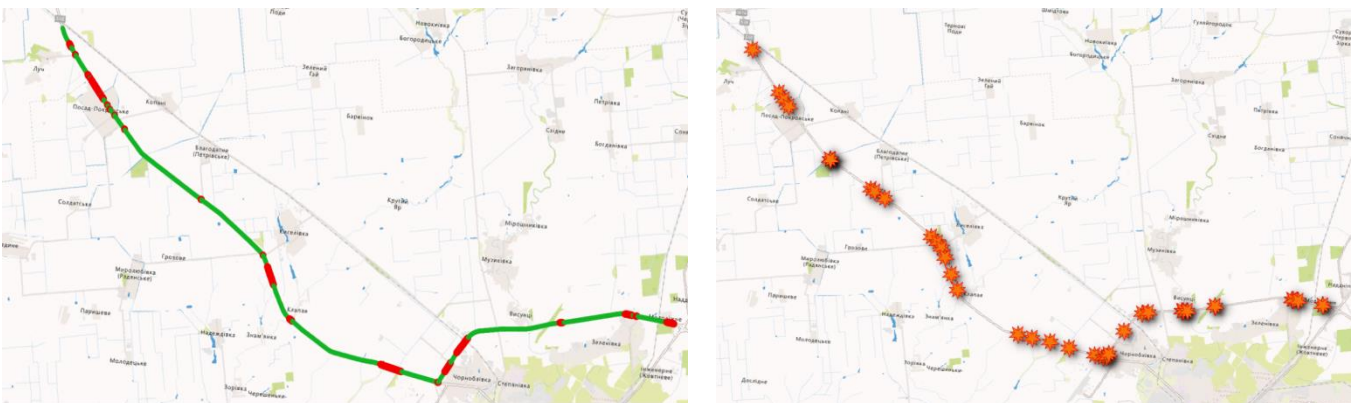


Рисунок 6 – Встановлення аварійно-небезпечних ділянок за показником невідповідності з розподілом 39 ДТП з постраждалими та загиблими, які стались у 2018 – 2019 роках на дорозі М-14 на ділянці від км 177+366 до км 221+883

Встановлено, що показник невідповідності Π_n (в абсолютному значенні) може бути використаний для ранжування ділянок дороги за пріоритетністю дій з усунення небезпечних факторів, обґрунтування планів виконання робіт тощо.

Основні принципи інтерпретації співвідношення обмежень швидкості ($V_{\text{ПДР}}$), безпечної ($V_{\text{мін}}$) та 85 % забезпечення (V_{85}) швидкостей руху в прямому та зворотному напрямках руху на графікові швидкостей наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Інтерпретація співвідношення швидкостей

Ч.ч.	Отримані результати	Трактування
1	$V_{\text{ПДР}} \approx V_{\text{мін}} \approx V_{85}$	Умови руху та обмеження швидкості задовольняють вимогам транспортного потоку та належним чином сприймаються учасниками дорожнього руху.
2	$V_{\text{ПДР}} < V_{\text{мін}} < V_{85}$	1. Для ділянок за межами населених пунктів означає потребу у перегляді встановлених обмежень швидкості руху. 2. Для ділянок у межах населених пунктів означає потребу у заспокоєнні дорожнього руху.
3	$V_{\text{мін}} < V_{\text{ПДР}} < V_{85}$ або $V_{\text{мін}} < V_{85} < V_{\text{ПДР}}$	Означає потребу у виконанні комплексу робіт з реконструкції, ремонту або експлуатаційного утримання для усунення факторів, які призводять до невідповідності.
4	$V_{\text{ПДР}} > V_{\text{мін}} \approx V_{85}$	Означає потребу у перегляді встановлених обмежень швидкості руху на цій ділянці дороги.
5	$V_{\text{мін}} > V_{85}$ або $V_{\text{мін}} < V_{\text{ПДР}} \approx V_{85}$	1. Означає відсутність впливу причини невідповідності на учасників дорожнього руху або покращення характеристик транспортних засобів. 2. Суттєве перевищення свідчить про помилку в початкових даних або втрату ними актуальності.
6	$V_{\text{ПДР}} \leq V_{\text{мін}} < V_{85}$ та $V_{85} - V_{\text{ПДР}} \approx 20 \text{ км/год}$	1. Вказує на пристосування водіїв до чинних обмежень швидкості. 2. Означає потребу у заспокоєнні дорожнього руху.

Удосконалений метод прогнозування аварійно-небезпечних ділянок та метод визначення просторової видимості можуть бути використані для оцінки безпеки руху при виконанні робіт з аудиту безпеки дороги, реконструкції чи капітального ремонту ділянок автомобільних доріг.

Результати дослідження отримали практичне застосування під час створення цифрових моделей автомобільних доріг, моделювання транспортних потоків та умов руху, проведення аудиту безпеки автомобільних доріг, моніторингу дорожньо-транспортних пригод на автомобільних дорогах загального користування державного значення України та при розробленні заходів з підвищення безпеки дорожнього руху, що підтверджено відповідними довідками.

Також результати наукових досліджень впроваджені на галузевому рівні в організаціях, які входять у сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) у вигляді пропозицій щодо оцінювання відповідності існуючих дорожніх умов вимогам сучасного транспорту з безпеки руху.

Матеріали досліджень були впроваджені у навчальний процес, а саме при викладанні дисципліни «Експлуатація автомобільних доріг» та в дипломному проектуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія,

ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, що полягає в удосконаленні методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг.

Основні наукові та практичні результати полягають в наступному:

1. Виконаний аналіз наукових робіт та існуючих методів визначення показників безпеки дорожнього руху та прогнозування аварійно-небезпечних ділянок показав, що переважна їх більшість спрямована на оброблення й аналіз даних про умови руху вже після настання ДТП, а заходи, які згідно них призначаються, спрямовані на поліпшення дорожніх умов лише на місцях концентрації ДТП. Крім того, для прийняття ефективних рішень математичні моделі, на яких базуються чинні методи, потребують удосконалення з метою врахування актуальних і фактичних даних про транспортний потік, його склад та умови руху.

Встановлено, що аудит безпеки автомобільної дороги дозволяє ще на стадії її проектування виявити та усунути можливі причини ДТП, які пов'язані, зокрема, з параметрами дороги і дорожніми умовами. Однак, фундаментальні теоретичні дослідження у напрямку аудиту безпеки автомобільної дороги відсутні, що вказує на актуальність дослідження.

2. Удосконалено метод прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг на основі обґрунтування показника невідповідності умов руху вимогам транспорту, що дозволяє виконувати превентивні розрахунки розташування таких ділянок.

Комбінуючи дані про розподіл швидкостей з іншими даними системи ВАДСІ та аварійністю встановлено поєднання небезпечних факторів, які чинять вирішальний вплив на виникнення кожного окремого ДТП або утворення аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг та місць концентрації ДТП. Моделювання із визначенням показника невідповідності дозволило, на досліджуваній дорозі М-14, встановити 27 аварійно-небезпечних ділянок, порівняно з однією з використанням «класичного» підходу.

3. Розроблено метод розрахунку просторової видимості на автомобільній дорозі, який дозволяє, зокрема при проведенні аудиту безпеки, встановити межі зон видимості в прямому напрямку руху, видимість зустрічного автомобіля, трикутник видимості на перехресті.

4. Проведені натурні та аналітичні, методами математичної статистики, дослідження швидкостей руху транспортного потоку в різних дорожніх умовах не тільки надали підтвердження адекватності розробленого методу, а й дозволили накопичити базу актуальних даних про геометричні параметри автомобільних доріг, склад транспортного потоку, швидкості руху, навантаження від транспортних засобів. Крім того, були запропоновані підходи до оброблення та інтерпретації таких даних, подальшого удосконалення підходів до формування проектних рішень з будівництва, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування.

Визначено, що на досліджуваних ділянках, зокрема автомобільної дороги М-06, швидкість відрізняється у 2,5 рази залежно від дорожніх умов. Встановлено закономірності зміни швидкості руху від факторів, що на неї впливають. Отримана точність цих закономірностей (коефіцієнт кореляції $R = 0,85$) дозволяє використовувати їх у практичних розрахунках.

5. Розроблені методика та програмний продукт дозволяють забезпечити потреби аудиту безпеки автомобільних доріг шляхом гнучкості алгоритму, швидкості виконання розрахунків з метою попередження виникнення аварійно-небезпечних ситуацій та, як наслідок, аварійно-небезпечних ділянок і місць концентрації ДТП. Встановлено, що превентивне виявлення аварійно-небезпечних ділянок надає можливість у подальшому розробляти рішення з усунення небезпечних факторів шляхом проведення робіт з реконструкції, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування.

6. На основі розробленої методики в рамках проведення аудиту безпеки дорожнього руху на транспортному коридорі GO Highway на ділянці Львів – Умань було встановлено 169 ділянок, на яких не забезпечена видимість (обмежена видимість у місцях поєднання горизонтальних та вертикальних кривих, а також внаслідок встановленого бар'єрного та пішохідного огородження).

Використання розробленої методики під час проєктування організації дорожнього руху на автомобільній дорозі М-13 «Кіровоград – Платонове (на Кишинів)», км 76+432 – км 157+067, дозволило встановити 22 ділянки з обмеженою видимістю, загальною довжиною 10742 м.

Результати дисертаційного дослідження знайшли своє відображення у двох нормативних документах національного рівня і у чотирьох – галузевого рівня.

Матеріали досліджень були впроваджені у навчальний процес, а саме при викладанні дисципліни «Експлуатація автомобільних доріг» та в дипломному проєктуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1) Vozniuk A, Kaskiv V. Use of Big Data for actualization of approaches to road accident analysis. *Technology audit and production reserves*. 2020. №3/2(53) P. 23-37. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.205354>.

2) Vozniuk A., Kaskiv V. Towards traffic flow modelling approaches updating. *World Science*. 2020. Vol. 9(61). DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122020/7340.

Статті у фахових виданнях:

3) Вознюк А.Б., Нагребельна Л.П., Міненко Є.В. Недоліки в дорожніх умовах та їх вплив на виникнення дорожньо-транспортних пригод. *Дороги і мости*. 2019. Вип. 19-20. С. 163-172. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.170>.

4) Каськів В.І., Шапенко Є.М., Гуков М.І., Вознюк А.Б. Практичне застосування показника невідповідності для оцінювання безпеки руху *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 106. С. 31-39.

5) Каськів В.І., Вознюк А.Б., Нагребельна Л.П. До питання аудиту безпеки автомобільних доріг України. *Автошляховик України*. 2020. № 1 (261). С. 32-39. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-1-261-32-39.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6) Andrii Vozniuk, Mykola Gukov. An approach to detecting road sections with limited visibility using three-dimensional model of road. *Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers «Science – Future of Lithuania»*. Transport engineering and management. 8 May 2013. Vilnius. Lithuania. P. 81-84.

7) Вознюк А.Б. Системний підхід до заспокоєння дорожнього руху. Зважування-в-русі: результати пілотного проекту та перспективи розвитку. *Сучасні інноваційні рішення для реалізації національної програми «ВЕЛИКЕ БУДІВНИЦТВО»*: міжнародна наук.-практ. конфер. 10-11 листопада 2020. Київ. URL: <https://bit.ly/3kvK0EJ>.

8) Каськів В.І., Вознюк А.Б. Дослідження параметрів транспортних потоків з використанням даних WIM. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2020. С. 141. <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-76.pdf>.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

9) Вознюк А.Б. Мережа доріг України та сучасні транспортні потоки. *Дороги і мости*. 2014. Вип. 14. С. 111-124.

10) Вознюк А.Б. Швидкісні режими на автомобільних дорогах. *Дороги і мости*. 2016. Вип. 16. С. 86-99.

11) Вознюк А.Б. Использование геопространственных данных для аудита безопасности дорожного движения. *Автомобильные дороги и мосты*. РДУП «БелдорНИИ», Минск. 2019 . № 1 (23). С. 63-71.

12) Bezuglyi A.O., Kontseva V.V., Vozniuk A.B., Stasiuk B.O. The necessity for organisation of road traffic to increase safety on roads after road works. *News of science and education*. 2019. №5 (66). P. 75-94.

АНОТАЦІЯ

Вознюк А.Б. Удосконалення методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 «Транспортні системи» (275 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)). – Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача, що полягає в удосконаленні методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг. Встановлено, що відомі методики, у переважній більшості, спрямовані на обробку та аналіз даних про умови руху вже після настання ДТП, а

заходи, які згідно них призначаються, спрямовані на поліпшення дорожніх умов лише на місцях концентрації ДТП.

Обґрунтовано показник невідповідності умов руху вимогам транспорту, що дозволяє виконувати превентивні розрахунки розташування аварійно-небезпечних ділянок. Встановлено, що граничним значенням показника невідповідності, при якому ділянку автомобільної дороги можна вважати безпечною, є 15 км/год.

Розроблено метод розрахунку просторової видимості на автомобільній дорозі, який дозволяє встановити межі зон видимості в прямому напрямку руху, видимість зустрічного автомобіля, трикутник видимості на перехресті.

Проведені натурні та аналітичні, методами математичної статистики, дослідження швидкостей руху транспортного потоку в різних дорожніх умовах не тільки надали підтвердження адекватності розробленого методу, а й дозволили накопичити базу актуальних даних про геометричні параметри автомобільних доріг, склад транспортного потоку, швидкості руху, навантаження від транспортних засобів. Крім того, були запропоновані підходи до оброблення та інтерпретації таких даних, подальшого удосконалення підходів до формування проектних рішень з будівництва, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування.

Розроблені методика та програмний продукт дозволяють забезпечити потреби аудиту безпеки автомобільних доріг.

Ключові слова: аварійно-небезпечна ділянка, автомобільна дорога, аудит безпеки, безпека руху, дорожньо-транспортна пригода, інтенсивність руху, показник невідповідності, рух, транспортний потік, швидкість.

АННОТАЦИЯ

Вознюк А.Б. Совершенствование метода прогнозирования аварийно-опасных участков на сети автомобильных дорог. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 «Транспортные системы» (275 – Транспортные технологии (на автомобильном транспорте)). – Национальный транспортный университет Министерства образования и науки Украины, Киев, 2021.

В диссертационной работе решена научно-практическая задача, которая заключается в совершенствовании метода прогнозирования аварийно-опасных участков на сети автомобильных дорог. Установлено, что известные методики, в подавляющем большинстве, направлены на обработку и анализ данных об условиях движения уже после наступления ДТП, а согласно им назначенные меры направлены на улучшение дорожных условий только на местах концентрации ДТП.

Обосновано показатель несоответствия условий движения требованиям транспорта, который позволяет выполнять превентивные расчеты расположения аварийно-опасных участков. Установлено, что предельным значением показателя несоответствия, при котором участок автомобильной дороги можно считать безопасным, является 15 км/ч.

Разработан метод расчета пространственной видимости на автомобильной дороге, который позволяет установить границы зон видимости в прямом

направлении движения, видимость встречного автомобиля, треугольник видимости на перекрестке.

Проведенные натурные и аналитические, методами математической статистики, исследования скоростей движения транспортного потока в различных дорожных условиях, не только предоставили подтверждение адекватности разработанного метода, но и позволили установить накопить базу актуальных данных геометрических параметров автомобильных дорог, состава транспортного потока, скорости движения, нагрузки от транспортных средств. Кроме того, были предложены подходы к обработке и интерпретации таких данных, дальнейшего совершенствования подходов к формированию проектных решений по строительству, ремонту и эксплуатационному содержанию автомобильных дорог общего пользования.

Разработанные методика и программный продукт позволяют обеспечить потребности аудита безопасности автомобильных дорог.

Ключевые слова: аварийно-опасный участок, автомобильная дорога аудит безопасности, безопасность движения, дорожно-транспортное происшествие, интенсивность движения, показатель несоответствия, движение, транспортный поток, скорость.

ABSTRACT

Vozniuk A.B. Improving the method of forecasting hazardous locations on the road network. – As a manuscript.

The dissertation for a degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.22.01 «Transport systems» (275 Transport technologies (on motor transport)) National transport university of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation solves theoretical and practical task on improving the method of forecasting hazardous locations on the road network. Analysis of normative and scientific-practical literature showed up that traffic safety problems are global for Ukraine. Road traffic injuries and deaths in Ukraine are among the highest in Europe. Overwhelming majority of known techniques are aimed at processing and analyzing data on traffic conditions after the accident, and the assigned measures are aimed at improving road conditions at black spots only.

It is noted at the design stage that the road safety audit allows identifying and eliminating possible causes of accidents, which are related, in particular, to the road parameters and road conditions.

The paper improves the method of forecasting hazardous locations on the road network on the basis of substantiation of non-compliance index of road conditions with the traffic requirements, which allows to preventive determination of such locations. It is established that the boundary value of the non-compliance index is 15 kmph, until this value the road section can be considered safe.

A method for calculating spatial visibility on the highway has been developed, which allows establishing the boundaries of visibility zones in the forward direction of traffic, visibility of the oncoming car, visibility triangle at the intersection.

Combining speed data with other data of the « Driver - Car - Road - Environment - Information» system and accident data, a combination of hazardous factors that have a decisive influence on the occurrence of each accident or the formation of hazardous locations and black spots on the road network. Modeling using non-compliance index on the studied M-14 road allowed establishing 27 hazardous locations, unlike only one location using the «classical» approach.

Conducted full-scale and analytical, methods of mathematical statistics assigned, studies of traffic speeds in different road conditions not only confirmed the adequacy of the developed method, but also allowed to establish up-to-date data on road geometric parameters, traffic flow, traffic speeds, vehicle loads. In addition, approaches to the processing and interpretation of such data, further improvement of approaches to the formation of design solutions for the road construction, road repair and road maintenance were proposed.

Regularities of speed change from the influencing factors are established. The obtained accuracy of these regularities (correlation coefficient $R = 0.85$) allows to use them in practical calculations.

The results of experimental studies indicated the need to develop algorithms for calculating the boundaries of road sections with homogeneous traffic conditions and the constant velocities. For each road section, the reason for the decrease in speed compared to the free flow speed and the traffic flow speed, which in certain conditions will be considered equally acceptable and safe for all vehicles of the traffic flow.

The conducted comparative analysis of the obtained research results with the statistical data on road accidents allowed establishing the distribution of hazardous locations on the studied roads.

The developed methodology and software allow meeting the needs of road safety audit by flexibility of the algorithm, speeding of calculations to prevent accidents and, as a consequence, black spots. It is established that the preventive detection of hazardous locations provides an opportunity to further develop solutions to eliminate hazards by carrying out construction works, repair works and road maintenance.

Keywords: hazardous location, movement, non-compliance index, road accident, road safety audit, road safety, road, speed, traffic flow, traffic volume.