

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ПТИЦЯ ГЕННАДІЙ ГРИГОРОВИЧ



УДК 656.13

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Спеціальність 05.22.01 – «Транспортні системи»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент
Абрамова Людмила Сергіївна,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри організації та безпеки дорожнього руху.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,
Лаврухін Олександр Валерійович,
Український державний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри управління вантажною і комерційною роботою;

кандидат технічних наук, доцент,
Бакуліч Олена Олександрівна, Національний транспортний університет, професор кафедри менеджменту, декан факультету економіки, менеджменту і права.

Захист відбудеться «09» березня 2016 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25.

Із текстом дисертації можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25.

Автореферат розіслано

«05» лютого 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Павленко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Рівень розвитку транспортної системи держави – одна з найважливіших ознак її технологічного прогресу. Потреба у високо розвинутій транспортній системі ще більше посилюється у разі інтеграції України в Європейську та світову економіку. А також, геостратегічне розташування України дозволяє її транспортній системі бути вигідним елементом транзитних перевезень між державами Європи, Азії, Близького Сходу. До транспортної системи в ринкових умовах висуваються високі вимоги щодо якості, регулярності і надійності транспортних зв'язків, термінів і вартості доставки. З огляду на вказане стан транспортних комунікацій України має відповідати умовам європейської інтеграції. Розвиток економіки України в період 1998–2013 рр. характеризується стрімким зростанням автомобільного парку. В ці роки автомобільний ринок України ставав одним з найбільших у Європі. В свою чергу збільшення інтенсивності дорожнього руху призвело до збільшення навантаження на мережу автомобільних доріг, і, як наслідок – зростає кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП) і заторових ситуацій.

ДТП завдають економіці України значних збитків. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) та Світового банку, щорічні втрати економіки України від ДТП сягають 5 млрд. дол. США, що складає 3–6% ВВП країни. За 24 роки внаслідок ДТП на дорогах України загинуло більше 150 тис. осіб і більше 1 млн. отримали тілесні ушкодження, 500 тис. залишилися інвалідами. Тому вирішення проблеми забезпечення безпеки дорожнього руху (БДР) відноситься до найбільш пріоритетних завдань розвитку країни.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до положень «Державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року» від 25 березня 2013 р. №294, проекту «Плану дій з безпеки дорожнього руху на період до 2020 року», «Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2015 року», розпорядження Кабінету міністрів України від 25 травня 2011 р. № 480-р, «Транспортної стратегії України на період до 2020 року» розпорядження Кабінету міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р, відповідно до резолюції Генеральної Асамблеї ООН № 64/255 від 4 квітня 2012 р. «Десятиліття дій із забезпечення безпеки дорожнього руху 2011–2020 роки», положення роботи використані для виконання комплексного проекту прикладного дослідження Т-18-53-15 «Науково-практичний підхід підвищення безпеки дорожнього руху на залізничних переїздах» 2015 р., а також для виконання основних пропозицій III міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту і культури дорожнього руху» від 17 квітня 2013 р.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є удосконалення методу визначення рівня безпеки дорожнього руху шляхом урахування взаємозв'язку параметрів умов руху на автомобільних дорогах загального користування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз методів визначення рівня безпеки дорожнього руху;
- формалізувати процес дорожнього руху з урахуванням взаємозв'язку параметрів умов руху для визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних

дорогах різних технічних категорій;

- удосконалити метод визначення підсумкового коефіцієнта аварійності на основі редукції часткових коефіцієнтів аварійності;
- провести експериментальну перевірку запропонованих моделей визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах;
- розробити методику оцінювання безпеки дорожнього руху на основі вдосконаленого методу визначення підсумкового коефіцієнта аварійності.

Об’єктом дослідження є дорожній рух на автомобільних дорогах загального користування.

Предметом дослідження є взаємозв’язок параметрів умов руху та їхній вплив на безпеку дорожнього руху на автомобільних дорогах.

Методи дослідження. На основі системного підходу визначено вплив окремих параметрів системи водій-автомобіль-дорога-середовище (В-А-Д-С) на рівень БДР. Методами багатовимірної статистичної аналізу вирішено завдання впорядкування та редукції сукупності коефіцієнтів аварійності, що враховують вплив окремих параметрів умов руху на рівень БДР. Методом факторного аналізу, а саме методом головних компонент, вирішено завдання редукції, а кластерним аналізом – завдання впорядкування. Методи математичного моделювання, регресійного аналізу та натурних спостережень застосовано для визначення рівня БДР.

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі вирішено науково-прикладну задачу визначення рівня безпеки дорожнього руху на ділянках автомобільних доріг загального користування, при цьому *вперше*:

- виявлені стійкі групи показників аварійності за ознакою однорідності їх впливу на рівень безпеки дорожнього руху для автомобільних доріг різних технічних категорій, що підвищує оперативність визначення безпеки дорожнього руху;
- розроблено моделі латентних факторів умов руху на автомобільних дорогах для встановлення взаємозв’язку часткових коефіцієнтів аварійності в методі визначення підсумкового коефіцієнта аварійності.

Удосконалено метод визначення підсумкового коефіцієнта аварійності шляхом редукції часткових коефіцієнтів аварійності без втрати точності та введення середньозваженого коефіцієнта аварійності на кілометровій ділянці дороги.

Отримало подальший розвиток визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах із розробкою класифікації методів за типом вхідних параметрів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці методики експрес-аналізу БДР на автомобільних дорогах загального користування під час проведення аудиту БДР. Результати виконаних досліджень можуть бути використані службами державної автомобільної інспекції, проектними та науково-дослідними організаціями задля вирішення завдань оцінювання та аналізу рівня БДР на автомобільних дорогах різних технічних категорій. Практичне значення результатів роботи підтверджується відповідними актами впровадження на таких підприємствах: філія «Коростенська ДЕД» ДП «Житомирський облавтодор» ПАТ «ДАК «Автомобільні дороги України», філія «Шевченківський автодор» ДП «Харківський облавтодор» ПАТ «ДАК «Автомобільні дороги України» та ВДАІ Київського району при ГУМВС України в Харківській області. Результати дисертаційного дослідження за-

діяно в організації навчального процесу студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 7(8).07010104 «Організація і регулювання дорожнього руху», зокрема у викладанні дисциплін «Аудит безпеки дорожнього руху», «Методи наукових досліджень», «Технічні засоби регулювання дорожнього руху», що підтверджується відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати, що виносяться на захист, подано у роботах [1–18]. У наукових роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в такому: побудовано складний дендрит параметрів умов руху (УР) за ознакою однорідності впливу на БДР і обґрунтовано можливість скорочення кількості параметрів УР [1]; згруповано основні показники надійності системи В-А-Д-С із позиції БДР, що формують ризик події [2;11]; обґрунтовано застосування методів багатовимірної статистичної аналізи і розроблено послідовність кластеризації, в результаті застосування якої отримані стійкі класи часткових коефіцієнтів аварійності (K_i), для автомобільних доріг (АД) різних технічних категорій [3]; приведено результати редукції K_i та отримано моделі латентних факторів УР [4]; обґрунтовано вибір ознак кластеризації K_i для їхнього об'єднання за однорідністю впливу на БДР [5]; розроблено математичну модель підсумкового коефіцієнта аварійності, як функцію латентних факторів умов руху, що отримані на основі аналізу взаємозв'язку повної сукупності K_i [7]; описано основні етапи вдосконалення методу визначення рівня БДР [12]; виявлено переваги та особливості практичного застосування розглянутих методів визначення рівня БДР [13].

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідалися на науково-технічних конференціях Харківського національного автомобільно-дорожнього університету протягом 2008–2015 рр.; на міжнародній науково-практичній конференції «Логістичні проблеми управління транспортним комплексом» (1–4 квітня 2009 р., м. Донецьк, ДІАТ); на міжнародній науково-практичній конференції «Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов» (23–24 жовтня 2009 р., м. Мінськ, БНТУ); на міжнародній науково-технічній конференції за участі молодих вчених і студентів «Безпека руху та автомобільні дороги. Проблеми, перспективи» (26–28 листопада 2009 р., м. Харків, ХНАДУ); на міжнародній науково-практичній конференції «Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов» (22–26 жовтня 2012 р., м. Мінськ, БНТУ); на VII міжнародній науково-практичній конференції «Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти» (15–16 листопада 2012 р., м. Донецьк, ДААТ); на III міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху» (16–17 квітня 2013 р., м. Харків, ХНАДУ); на міжнародній науково-практичній конференції «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (25–27 квітня 2013 р., м. Перм, Пермський національний дослідницький політехнічний університет); на III міжнародній науковій конференції молодих учених «Інженерна механіка та транспорт 2013» (21–23 листопада 2013 р., м. Львів, Львівська політехніка); на всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології і мехатроніка» (15 квітня 2014 р., м. Харків, ХНАДУ); на IV міжнародній науково-практичній конференції «Академічна наука – проблеми та досягнення»

(7–8 липня 2014 р., Москва, North Charleston, SC, USA); на всеукраїнській науково-методичній конференції «Актуальні проблеми викладання фундаментальної і прикладної математики в сучасному вищому навчальному закладі» (19–20 травня 2015 р., м. Харків, ХНАДУ); на міжнародній науково-практичній конференції «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2015» (16–28 червня 2015 р., м. Одеса); на міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті» (15–16 жовтня 2015 р., м. Харків, ХНАДУ). У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на семінарі випускових кафедр організації та безпеки дорожнього руху, транспортних систем і логістики та транспортних технологій факультету транспортних систем (29 жовтня 2015 р., Харків, ХНАДУ).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 18 наукових праць: 5 статей у спеціалізованих наукових виданнях, що входять до переліку МОН України; 7 статей – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз; дві статті у закордонних виданнях; 8 тез доповідей на конференціях; отримано 2 авторських свідоцтва.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг роботи складає 244 сторінок, 32 рисунки, 35 таблиць, список використаних джерел із 134 найменувань на 14 сторінках, 10 додатків на 82 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** викладено актуальність обраної теми, висвітлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет дослідження; розкрито застосування методів наукових досліджень, що використано у роботі; викладено наукову новизну роботи; визначено особистий внесок здобувача, дані про апробацію результатів роботи та публікації, подано дані про наукове і практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** дисертаційної роботи розглядається проблема оцінювання рівня БДР і методів його визначення, переваг і особливостей практичного застосування з урахуванням ризиків в дорожньому русі.

БДР є одним з найважливіших напрямків підвищення ефективності функціонування транспортної системи держави. Проблемам визначення показників БДР присвячені роботи таких вчених: В.Ф. Бабкова, В.В. Амбарцумяна, М.Б. Афанасьєва, В.М. Луканіна, В.К. Долі, О.О. Дівочкіна, В.В. Чванова, В.М. Сіденка, В.О. Лукіна, В.В. Шештокаса, В.П. Поліщука, В.В. Сільянова, Є.В. Гаврилова, Г.І. Клинковштейна, Руне Ельвіка, Д. Клеббельсберга, А.І. Рябчинського, Є.М. Лобанова, В.Г. Живоглядова, Н. Farah, В.В. Лук'янова, Я.В. Хом'яка, Ф.П. Гончаренка, О.С. Забишного та ін.

На сьогодні в Україні діє низка нормативних документів, спрямованих на підвищення рівня БДР, завданням яких є підвищення надійності системи управління БДР. Встановлено, що в умовах обмеженості матеріальних ресурсів проблему підвищення рівня БДР та підвищення надійності системи управління БДР необхідно вирішувати, в першу чергу, шляхом удосконалення існуючих і розробки нових методів

визначення рівня безпеки на АД, для реалізації вибору необхідних заходів щодо ліквідації аварійних ділянок. Для оцінювання БДР застосовуються методи, засновані на визначенні показників, що характеризують захищеність учасників руху. На підставі проведеного аналізу існуючих методів запропоновано їх класифікацію (рис.1).



Рисунок 1 – Класифікація методів визначення рівня БДР

Аналіз поданих методів дозволив виділити метод підсумкового коефіцієнта аварійності ($K_{\text{під}}$), що має пріоритет серед відомих методів оцінювання БДР, оскільки він отримав найбільше практичне застосування, є найбільш повним за кількістю аналізованих факторів і статистичної забезпеченості та є основою нормативної документації України. Аналіз практичного застосування указанного методу дозволив виявити особливості, пов'язані зі складністю та неоднозначністю визначення значень параметрів УР, що ускладнює його застосування для експрес-аналізу рівня БДР.

У результаті аналізу робіт вітчизняних і зарубіжних учених виявлено тенденції розвитку методу підсумкового коефіцієнта аварійності, що полягають у побудові уточнених або спрощених моделей за рахунок виділення значущих параметрів УР. Установлено, що застосування методів багатовимірної статистичного аналізу є перспективним напрямком підвищення точності визначення рівня БДР, що дозволило обґрунтовано вибрати основні методи дослідження та сформулювати вимоги до багатовимірної моделі визначення рівня БДР. У результаті проведеного аналізу запропоновано послідовність удосконалення діючого методу визначення рівня БДР (рис. 2), що заснована на припущенні існування взаємозв'язку між частковими коефіцієнтами аварійності та спільного їхнього впливу на підсумковий коефіцієнт.

У **другому розділі** проведено формалізацію процесу дорожнього руху (ДР) на АД, що дозволило надати опис дорожньо-транспортної ситуації (ДТС) з позиції БДР як функції часткових коефіцієнтів аварійності (K_i); також визначено етапи кластеризації K_i з обґрунтуванням вибору міри близькості та критеріїв якості розбиття; визначено кількість та склад кластерів K_i для АД різних технічних категорій.

Організація безпечного ДР із позиції захищеності учасників руху від ДТП залежить від безлічі факторів, що входять у систему В-А-Д-С та від оптимальної взаємодії ланок і елементів всієї системи, збій у функціонуванні якої провокує виникнення складних ДТС, що призводять до ДТП.

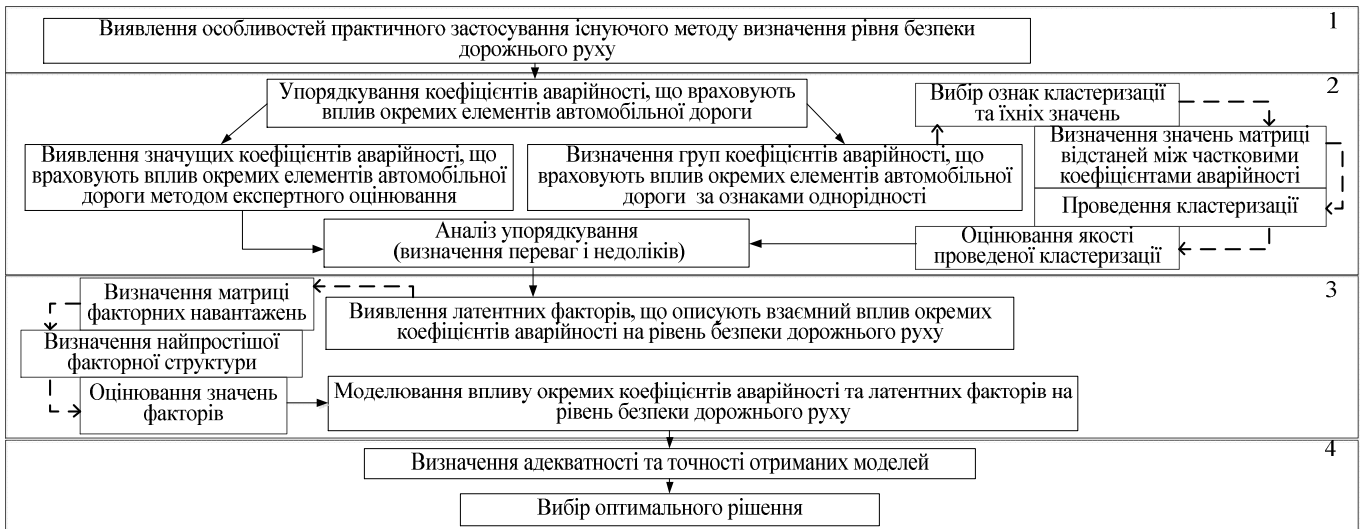


Рисунок 2 – Етапи вдосконалення методу визначення рівня БДР

На основі застосування методу підсумкового коефіцієнта аварійності для визначення рівня БДР ДТС (A_j) описана сукупністю K_{ji} (1), а процес ДР, з позиції безпеки, подано за сукупністю ДТС

$$A_j = (K_{j1}, K_{j2}, \dots, K_{ji}, \dots, K_{jn}) , \quad (1)$$

де K_{ji} – значення i -го ($i=\overline{1;n}$) коефіцієнта аварійності для A_j ($j=\overline{1;m}$);

n – кількість часткових коефіцієнтів аварійності;

m – кількість дорожньо-транспортних ситуацій.

Параметри, що визначають K_i , відносяться до УР (інтенсивність, ширина узбіч і проїзної частини (ПЧ), радіус кривих у плані, тощо), проте кожен з K_i розглянуто як окремий елемент, що має свої ознаки кластеризації, тобто для їх упорядкування сформовано групи показників безпеки за однорідністю ознак. Для цієї процедури застосовано кластерний аналіз, послідовність етапів якого вказано на рис. 3. Особливістю кластерного аналізу є відсутність чітких меж класу на початковому етапі і невідома доцільна кількість класів. Результатом проведення кластерного аналізу є утворення класів K_i з урахуванням усіх ознак кластеризації одночасно.

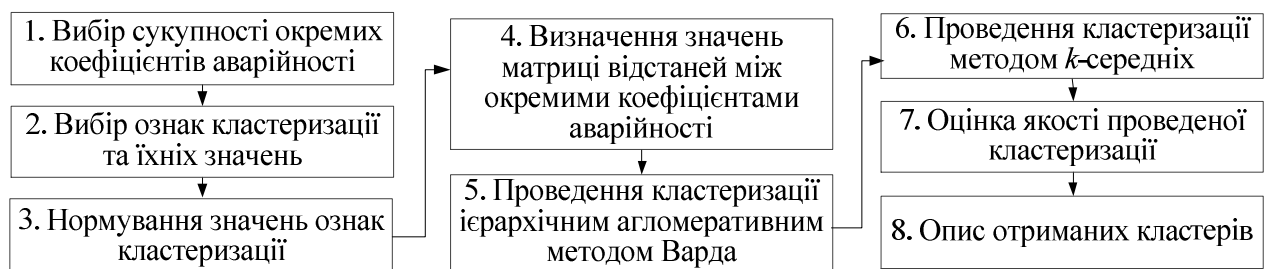


Рисунок 3 – Етапи кластеризації коефіцієнтів аварійності

За кластеризації K_i , що подані для різних УР, такі як K_1 – коефіцієнт, що враховує вплив на рівень БДР інтенсивності руху транспортних потоків (ТП) на дво-, три-, чотирисмуговій АД, враховані як окремі елементи сукупності. Так само K_2, K_3, K_6, K_{18} указані для різних УР. На підставі цього загальна сукупність вихідних даних для упорядкування складається з 25 елементів. Разом з аналізом повної сукупності K_i у

роботі запропоновано сформувати сукупності K_i для АД різних технічних категорій, класифікація яких ґрунтується на величині інтенсивності руху і визначає мінімально необхідні параметри умов безпечного руху. За оцінювання параметрів УР на АД, згідно з ДБН-В.2.3-4:2007, проведено вибір K_i для кожної категорії доріг окремо. Сформовані сукупності K_i прийняті як початкові дані кластеризації.

Як ознаки кластеризації K_i було виділено тільки такі, що враховують ступінь їхнього впливу на рівень БДР. Простір ознак кластеризації елементів сукупності репрезентовано у вигляді матриці X (2), елементами якої є змінні: x_{i1} – мінімальний ступінь впливу X_i на рівень БДР; x_{i2} – максимальний ступінь впливу X_i на рівень БДР; x_{i3} – арифметичне середнє зміни ступеня впливу X_i на рівень БДР. Значення ознак кластеризації для всіх X_i визначені за державним стандартом України.

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ \dots \\ X_i \\ \dots \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1k} & \dots & x_{1N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & \dots & x_{ik} & \dots & x_{iN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & \dots & x_{nk} & \dots & x_{nN} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де x_{ik} – k -а ознака кластеризації K_i ($k = \overline{1, N}; i = \overline{1, n}$);

X_i – відносно-кодована змінна, що введена для подання K_i у різних УР;

N – кількість ознак кластеризації ($N = 3$).

Як міра відстані для ознак кластеризації обрана евклідова метрика, оскільки ця метрика є геометричною відстанню в багатовимірному просторі. В роботі враховано, що якість кластеризації залежить від вибору міри відстані та від самого методу кластеризації. Для побудови ієрархічної структури X_i застосовано метод Варда, що дозволяє формувати окремі один від одного кластери близько розташованих елементів сукупності з найменшим внутрішньокласовим середньоквадратичним відхиленням на кожному кроці кластеризації. Це означає, що оптимізація складу кластерів проведена на кожному кроці, що є перевагою вказаного методу. Однак результати ієрархічної кластеризації (рис. 4) дозволили отримати лише уявлення про структуру впорядкування.

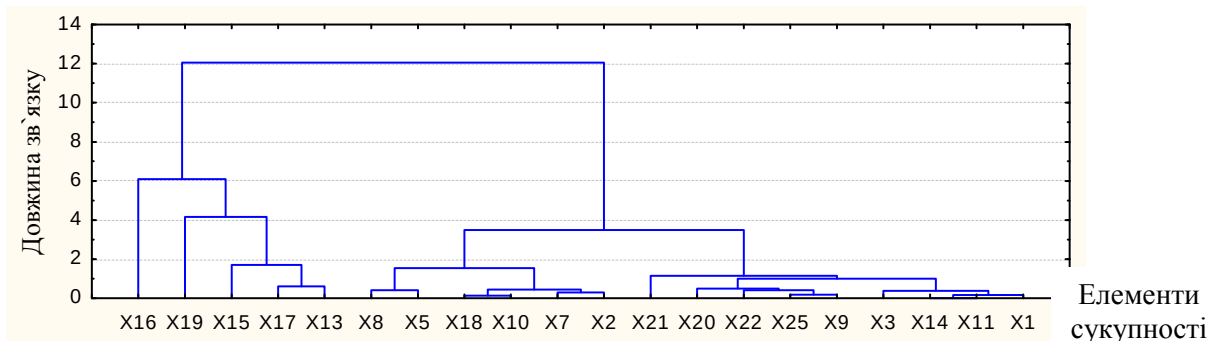


Рисунок 4 – Дендрограма кластеризації X_i для АД II технічної категорії

Для перевірки коректності ієрархічної кластеризації застосовано ітераційний метод « k -середніх», оскільки результати, отримані цим методом в кластерному аналізі вважаються стійкими. Кластеризація починається зі завдання підсумкової

кількості кластерів. Можливу кількість кластерів визначено за дендрограмою, на якій обрано діапазон зміни кількості кластерів за принципом наочності кластеризації. Під час застосування методу « k -середніх» вибрано першу його модифікацію, за якою отримано найменше значення середньоквадратичного внутрішньокластерного відхилення та найбільшу щільність X_i у кластері.

Для обробки статистичних даних були розглянуті різні програмні пакети математичних розрахунків: STATISTICA, SPSS, STADIA, NCSS. Однак для ефективного їх використання необхідно мати ліцензійний доступ, що, з точки зору фінансових витрат, робить їхнє одноразове застосування для проведення наукових досліджень економічно не вигідним. Тому виникла необхідність у створенні програмного інструментального засобу, спрямованого на автоматизацію етапів кластеризації сукупності K_i , що дозволяє користувачу проводити коригування. Для реалізації алгоритму кластеризації (рис. 3) побудовано блок-схему алгоритму, що реалізована в програмному забезпеченні (ПЗ) із використанням мови програмування C# на підставі технології .Net, яка об'єднує переваги інших мов (C++, C, Java, Visual Basic). Робоче вікно та приклад отримання результатів кластеризації вказаним ПЗ представлені на рис. 5.

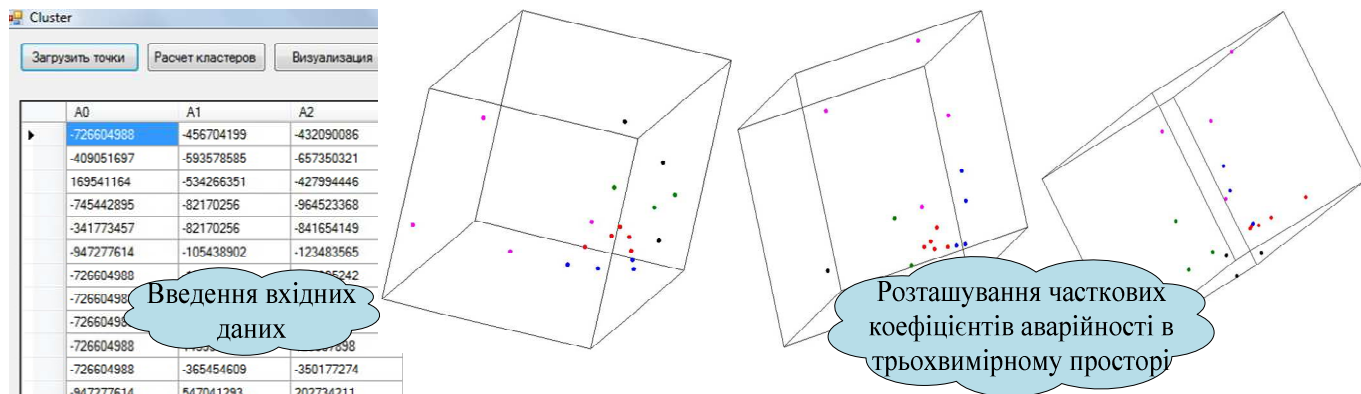


Рисунок 5 – Робоче вікно ПЗ з результатами кластеризації коефіцієнтів аварійності

Дослідження функціоналів якості кластеризації для вибору «оптимальної» сукупності кластерів дозволило обрати критерій середньої відстані між центроїдами кластерів (максимальне віддалення центроїдів кластерів у просторі). Решта розглянутих критеріїв у своїх екстремумах призводить до руйнування згрупованої структури, що не дає можливості визначити оптимальну кількість кластерів. У результаті обрано такі найкращі розбиття: 3 кластери – для АД Іа категорії; 5 кластерів – для АД Іб категорії; 3 кластери – ІІ категорії; 4 кластери – ІІІ категорії; 4 кластери – ІV категорії; 4 кластери – V категорії. При цьому в кожній кластерній структурі виявлено найбільший кластер за кількістю та щільністю розміщення елементів сукупності, що важливо для подальшого вдосконалення методу визначення підсумкового коефіцієнта аварійності. Склад кластерів для АД ІІ категорії подано у табл. 1.

У третьому розділі, із застосуванням методів факторного аналізу, ДТС формалізовано за допомогою латентних факторів, які враховують взаємозв'язок K_i , що дозволило скоротити кількість досліджуваних параметрів для визначення рівня БДР без втрати точності. Виявлено етапи редукції K_i з обґрунтуванням вибору кінцевої кількості факторів. Визначено модель підсумкового коефіцієнта аварійності як функції латентних факторів.

Таблиця 1 – Результати кластеризації K_i для АД II технічної категорії

Кластер	Склад кластера за досліджуваними параметрами УР
1	інтенсивність на 2-х смуговій АД; інтенсивність на 3-х смуговій АД; інтенсивність на 3-х смуговій АД за розмітки осьюовою; ширина ПЧ при укріплених узбіччях; ширина узбіччя на 2-х смуговій АД; ширина узбіччя на 3-х смуговій АД; повздовжній ухил; криві малого радіусу; видимість в плані; довжина прямих ділянок; тип перетину; кількість смуг руху; довжина населеного пункту; довжина ділянок на підході до населеного пункту; коефіцієнт зчеплення; відстань від кромки ПЧ до обриву з огорожею
2	перетин в одному рівні
3	різниця ширини ПЧ мостів і дороги; видимість перетину з другорядної дороги; відстань від забудови до ПЧ

Для визначення взаємозв'язку показників безпеки та причин, що пояснюють цей взаємозв'язок, застосовано методи факторного аналізу. Визначено, що найбільш доцільним інструментом редукції K_i є метод головних компонент, який дозволяє: формувати оптимальний простір нових ортогональних факторів без втрати змістовної інформації K_i ; створювати модель з основних факторів без виділення «специфічних»; визначати простір факторів найменшої можливої розмірності, який описує сукупність K_i та дозволяє не уточнювати отримані наближені оцінки. На підставі цього отримано можливість формувати ДТС (A_j) за допомогою латентних факторів (F_f)

$$A_j = (F_{j1}, F_{j2}, \dots, F_{jf}, \dots, F_{jp}) , \quad (3)$$

за умови, що кількість F_f набагато менше кількості K_i ($p \ll n$). Перехід від K_i до F_f здійснено за допомогою виявлення лінійної залежності між ними, тобто:

$$K_i = \sum_{f=1}^p a_{if} \cdot F_{if} ; \quad (4)$$

$$F_f = \frac{\sum_{i=1}^n a_{fi} \cdot K_{fi}}{\lambda_f} , \quad (5)$$

де a_{if} , a_{fi} – факторне навантаження i -го часткового коефіцієнта аварійності на f -й фактор ($f = 1, p$, $i = 1, n$);

F_{if} – f -й фактор i -го часткового коефіцієнта аварійності;

K_{fi} – i -й частковий коефіцієнт аварійності f -го фактора;

λ_f – власне значення f -го фактора ($\lambda_f = \sum_{i=1}^n a_{if}^2$).

Згідно з виявленими умовами застосування методу головних компонент для редукції кількості K_i , необхідним є встановлення лінійної залежності між $K_{\text{під}}$ і K_i . Для цього застосовано методи регресійного аналізу з подальшою побудовою лінійної функції на підставі отриманих експериментальним шляхом статистичних даних значень K_i . Регресійний аналіз проведено зі застосуванням методу найменших квадратів при визначенні коефіцієнтів моделі і отримано лінійну модель (6) залежності $K_{\text{під}}$ від K_i із помилкою моделі 1,6%, що підтверджує її адекватність. Репрезентовані

результати розрахунків відповідають УР по АД II технічної категорії.

$$K_{\text{під}} = -112,2359 + 3,0846 \cdot K_1 + 1,801 \cdot K_2 - 5,5297 \cdot K_3 + 5,8239 \cdot K_4 + 3,5976 \cdot K_5 + \\ + 0,4971 \cdot K_6 + 1,1127 \cdot K_7 + 2,8412 \cdot K_8 + 24,9969 \cdot K_9 - 1,3154 \cdot K_{10} + 7,78912 \cdot K_{11} + . \quad (6) \\ + 37,9551 \cdot K_{12} + 5,2213 \cdot K_{13} + 3,71031 \cdot K_{14} + 2,47356 \cdot K_{15} + 17,32422 \cdot K_{18}$$

У перебізі дослідження визначено етапи проведення редукції K_i методом головних компонент (рис. 6). Вхідною інформацією для редукції є матриця початкових даних значень K_i , вихідною – матриця факторних навантажень.

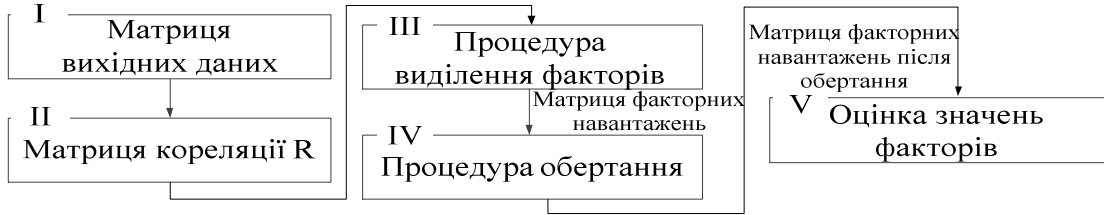


Рисунок 6 – Етапи проведення редукції коефіцієнтів аварійності

Елементи кореляційної матриці K_i визначено на підставі значень матриці коваріації. З урахуванням попереднього нормування значень вихідних даних, коефіцієнт кореляції між елементами сукупності визначено за спрощеною формулою

$$r_{K_i / K_q} = \sum_{j=1}^m K_{ij} \cdot K_{qj} / m, \quad (7)$$

де m – кількість розглянутих дорожньо-транспортних ситуацій;

K_{ij} – значення i -го коефіцієнта аварійності для j -ї ситуації;

K_{qj} – значення q -го коефіцієнта аварійності, відмінного від i -го для j -ї ДТС.

На третьому етапі редукції – «Процедура виділення факторів», проведено ортогональне перетворення кореляційної матриці K_i , тобто послідовно отримані нові фактори. Перший фактор F_1 досліджуваної сукупності K_i визначено як центровано-нормовану лінійну комбінацію K_i , що серед інших F_f має найбільшу дисперсію. За наступний фактор F_f ($f = 1, p$) визначено центровано-нормовану комбінацію K_i , що: не корельована з попередніми факторами та серед усіх можливих комбінацій K_i , не корельованих із попередніми факторами, має найбільшу дисперсію. Результатом перетворення є матриця факторних навантажень a , що описується коефіцієнтами парної кореляції між K_i та F_f ($a_{if} = r_{K_i F_f}$ або $a_{fi} = r_{F_f K_i}$). За отриманою матрицею a (8) визначено власні значення факторів (λ_f).

$$a = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1f} & \dots & a_{1p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{if} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nf} & \dots & a_{np} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

З урахуванням вимог методу головних компонент визначено оптимальну кількість латентних факторів, що формується за критеріями Кайзера і Кеттеля та є достатньою для опису сукупності K_i . За критерієм Кайзера обираються тільки фактори з власними значеннями, що дорівнюють або є більші 1 (табл. 2). Критерій Кеттеля передбачає визначення кількості факторів графічним методом, де зміну власних значень факторів відображаємо у формі графіка, на якому фіксуємо місце, де спадання власних значень факторів зліва направо максимально сповільнюється (рис. 7). Праворуч від цієї точки перебуває тільки «факторний осип», що не впливає на результат досліджень.

Таблиця 2 – Визначення кількості F_f за критерієм Кайзера

Власні значення факторів							
F_1	2,959374	F_5	1,280787	F_9	0,811337	F_{13}	0,407716
F_2	2,153536	F_6	1,048811	F_{10}	0,639872	F_{14}	0,293738
F_3	1,831212	F_7	1,016681	F_{11}	0,514837	F_{15}	0,208423
F_4	1,412223	F_8	0,856600	F_{12}	0,497584	F_{16}	0,067269

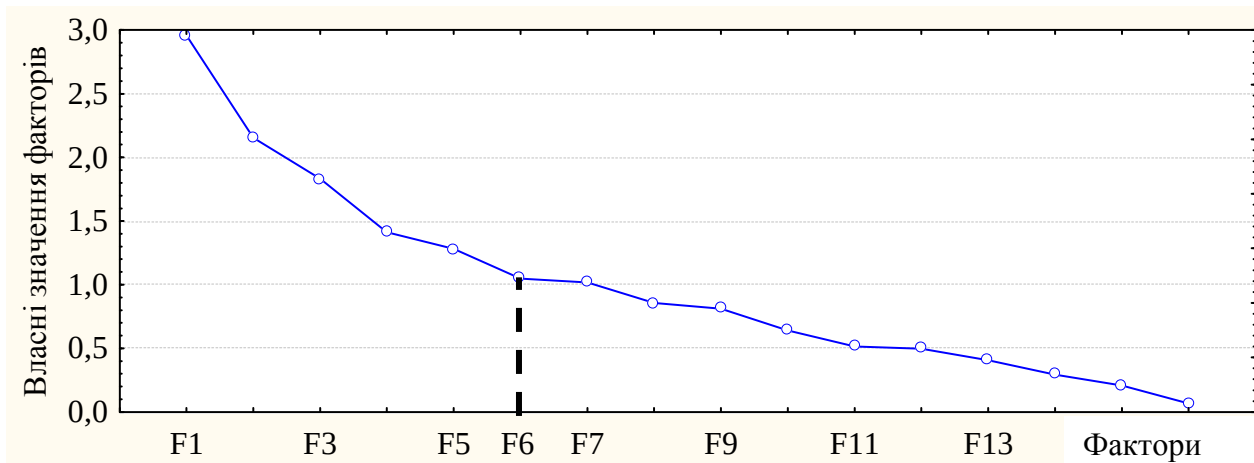


Рисунок 7 – Графік «кам'янистого осипу» Кеттеля

Під час вибору кількості факторів, нами враховано такі чинники: обсяг описаної дисперсії вихідних показників (6 факторів описують 67% дисперсії K_i , 7 факторів – 73%); кількість показників, описаних виділеними факторами (6 факторів включають 14 K_i , 7 факторів – 15 K_i); статистичну обґрунтованість критеріїв (критерій Кайзера має статистичну обґрунтованість). Отже, кількість виділених факторів дорівнює 7.

На четвертому етапі редукції – «Процедура обертання», здійснено пошук «простої» факторної структури. Обираючи метод обертання факторної структури, розглянуто методи: варімакс, квартімакс, еквімакс та проведено їхній аналіз, на підставі якого обрано метод варімакс. Результатом факторного аналізу є простий факторний опис для кожної змінної, що характеризується переважним впливом одного фактора, і навпаки, один фактор пов'язаний тільки з однією групою змінних і не пов'язаний з іншими. В результаті обертання визначено підсумкові власні значення факторів та відповідні їм факторні навантаження, що дозволило сформулювати кінцеві моделі F_f (табл. 3).

Таблиця 3 – Моделі визначених латентних факторів параметрів УР

Фактор	Модель	Фактор	Модель
F_1	$(0,9274 \cdot K_9 + 0,9283 \cdot K_{10} + 0,562 \cdot K_{11} + 0,6193 \cdot K_{14}) / 2,6423$		
F_2	$\frac{0,7566 \cdot K_2 + 0,7067 \cdot K_3 + 0,8144 \cdot K_{12}}{1,90446}$	F_5	$\frac{0,7373 \cdot K_8 + 0,5435 \cdot K_{11}}{1,32552}$
F_3	$0,8614 \cdot K_5 + 0,8429 \cdot K_6 / 1,74526$	F_6	$0,8867 \cdot K_4 / 1,14604$
F_4	$0,8516 \cdot K_7 + 0,8736 \cdot K_{18} / 1,66903$	F_7	$0,5624 \cdot K_1 - 0,7913 \cdot K_{13} / 1,26993$

На основі встановлення лінійного зв'язку між K_i та F_f здійснено перехід від K_i (кількість 18 одиниць) до виявлених F_f (кількість 7 одиниць) для визначення підсумкового коефіцієнта аварійності. Регресійну модель (9) отримано на підставі визначення латентних факторів (табл. 3).

$$K_{\text{під}}^* = -57,08647 + 10,97025 \cdot F_1 + 16,33585 \cdot F_2 + 0,7457 \cdot F_3 + \\ + 13,3447 \cdot F_4 + 2,15645 \cdot F_5 + 10,5099 \cdot F_6 - 5,39739 \cdot F_7 \quad (9)$$

У перебізі дослідження запропоновано, за сформованою послідовністю (рис. 6), визначити латентні фактори та модель підсумкового коефіцієнта аварійності на основі аналізу взаємозв'язку K_i , що згруповані у найбільший за кількістю та щільністю розташування елементів сукупності кластер із найменшим внутрішньокласовим середньоквадратичним відхиленням. Для АД II технічної категорії найбільший кластер об'єднав 12 K_i . Аналіз взаємозв'язку даних 12-ти K_i дозволив визначити латентні фактори УР і розробити модель, що складається з п'яти факторів та має вигляд

$$K_{\text{під}}^{**} = -36,517 + 8,818 \cdot F_1 - 11,749 \cdot F_2 - 1,209 \cdot F_3 + 10,573 \cdot F_4 - 4,784 \cdot F_5. \quad (10)$$

Тобто, проведені дослідження дозволили скоротити кількість часткових коефіцієнтів аварійності у разі визначення підсумкового коефіцієнта для АД II технічної категорії з 18 одиниць до 11, а кількість змінних в моделі підсумкового коефіцієнта з 18 до 5. Розроблені теоретичні моделі (9) та (10) визначення підсумкового коефіцієнта аварійності базуються на взаємозв'язку окремих параметрів УР та дозволяють у короткий термін визначити рівень БДР на ділянках АД.

У **четвертому розділі** проведено експериментальні дослідження практичного застосування розроблених моделей для визначення рівня БДР на АД різних технічних категорій. Визначено адекватність та точність запропонованих моделей, запропоновано методику експрес-аналізу рівня БДР на АД загального користування.

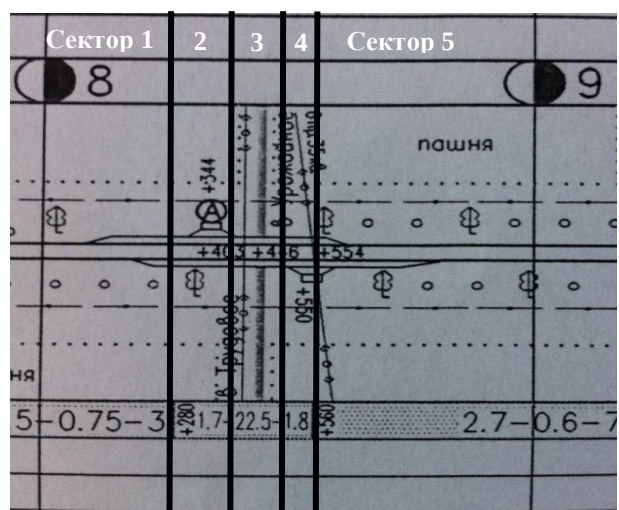
Для експериментальної перевірки розроблених моделей визначення рівня БДР на ділянках АД загального користування обов'язковими умовами є: максимізація збігу значень реальної аварійності та значень $K_{\text{під}}$ за моделлю; мінімізація кількості параметрів, необхідних для відображення стану БДР; мінімізація витрат (трудових, часових і фінансових) на реалізацію моделі. Процедура проведення експериментальної перевірки теоретичних моделей визначення рівня БДР складається з 4-х основних етапів: вибір об'єкта експериментального дослідження (місце і параметри проведення експерименту); формування бази вихідних даних (система обмежень та припущень, схема проведення дослідів); визначення $K_{\text{під}}$ за існуючою і запропоно-

ваними теоретичними моделями; аналіз отриманих результатів.

Під час проведення експериментальних досліджень були виділені ділянки доріг з підвищеною аварійністю, що характеризуються протяжністю, аварійністю і параметрами УР. Довжина кожної ділянки складає 1 км, оскільки аналізу підлягають показники безпеки, підпорядковані нормальному закону розподілу. Нормальність розподілу показників безпеки, зокрема аналізу кілометрових ділянок, підтверджено в роботах вітчизняних та зарубіжних учених. Для експерименту обрані ділянки доріг з кількістю ДТП із потерпілими (не менше двох) або за кількістю ДТП за останні три роки (не менше п'яти). До досліджень не включені ділянки АД, що проходять через населені пункти протяжністю більше 6 км, оскільки УР на АД і в населених пунктах не є тотожними. Отже, до аналізу залучено ділянки АД II-ї технічної категорії, а саме: Р-23 – ділянка 100 км, Р-25 – ділянка 40 км, М-17 – ділянка 155 км, Н-15 – ділянка 70 км. Указаний вибір заснований на аналізі статистики ДТП і тяжкості їхніх наслідків, який доводить, що за цим критерієм АД II технічної категорії є найбільш небезпечними. Загальна протяжність доріг склала 365 км. На обраних ділянках аналізу підлягають параметри УР, що впливають на безпеку і враховані в моделях $K_{\text{під}}$, а саме: інтенсивність руху ТП (дво-, трисмугові АД), тис.авт./добу; ширина ПЧ, м; ширина узбіччя, м; поздовжній ухил, ‰; радіус кривих у плані, м; видимість у плані, м; відмінність у ширині ПЧ мостів і доріг, м; довжина прямих ділянок, км; тип перехрестя; перетин в одному рівні за інтенсивності по головній дорозі, авт./добу; видимість перетину в одному рівні з дороги, що примикає, м; кількість основних смуг руху на ПЧ, од.; відстань від забудови до ПЧ, м; довжина населеного пункту, км; довжина ділянок на підходах до населеного пункту, м; відстань від кромки ПЧ до обриву, глибиною більше 5 метрів, м. Значення параметрів у повному обсязі подано в паспорті АД та офіційних звітах ДАІ. Фрагмент паспорта АД репрезентовано на рис. 8а. Під час визначення параметрів УР дотримано системи обмежень, що заснована на вимогах ДБН В.2.3-4-2007 до допустимих значень параметрів УР на АД певної технічної категорії. Припущенням для експерименту є ствердження про нормальні погодні умови під час його проведення, які забезпечують мінімізацію впливу зовнішнього середовища на УР.



а)



б)

Рисунок 8 – Фрагмент паспорта автомобільної дороги

Схема проведення експериментів полягає у виконанні наступних дій: досліджувану ділянку АД розділено на сектори з незмінними значеннями параметрів УР (рис. 8б); для кожного сектора, згідно з введеною системою обмежень та припущень, визначено необхідні параметри УР; значення параметрів УР виражені через K_i , відповідно до М218-03450778-652:2008. За цією схемою проведено 385 експериментів визначення часткових коефіцієнтів аварійності.

Визначення рівня БДР проведено за різними моделями: базовою (11) та запропонованими – (9) та (10)

$$K_{\text{під}} = \prod_{i=1}^n K_i. \quad (11)$$

Особливістю визначення рівня БДР за базовою моделлю є вимога врахування «пікового» значення на кілометровій ділянці. Ця вимога базується на припущенні, що сектор ділянки з «гіршими» УР формує найбільший ризик виникнення ДТП. У межах дослідження запропоновано визначати середньозважене значення рівня БДР на кілометровій ділянці, залежно від довжини її секторів, за формулами (12) і (13).

$$K_{\text{під}}^{3B} = \prod_{i=1}^n K_i^{3B}; \quad (12)$$

$$K_i^{3B} = \sum_{s=1}^w K_{is} \cdot l_s, \quad (13)$$

де $K_{\text{під}}^{3B}$ – середньозважене значення підсумкового коефіцієнта аварійності на кілометровій ділянці АД;

K_i^{3B} – середньозважене значення i -го часткового коефіцієнта аварійності на кілометровій ділянці АД;

K_{is} – значення i -го коефіцієнта аварійності на секторі кілометрової ділянки АД;

l_s – довжина сектора кілометрової ділянки АД, км.;

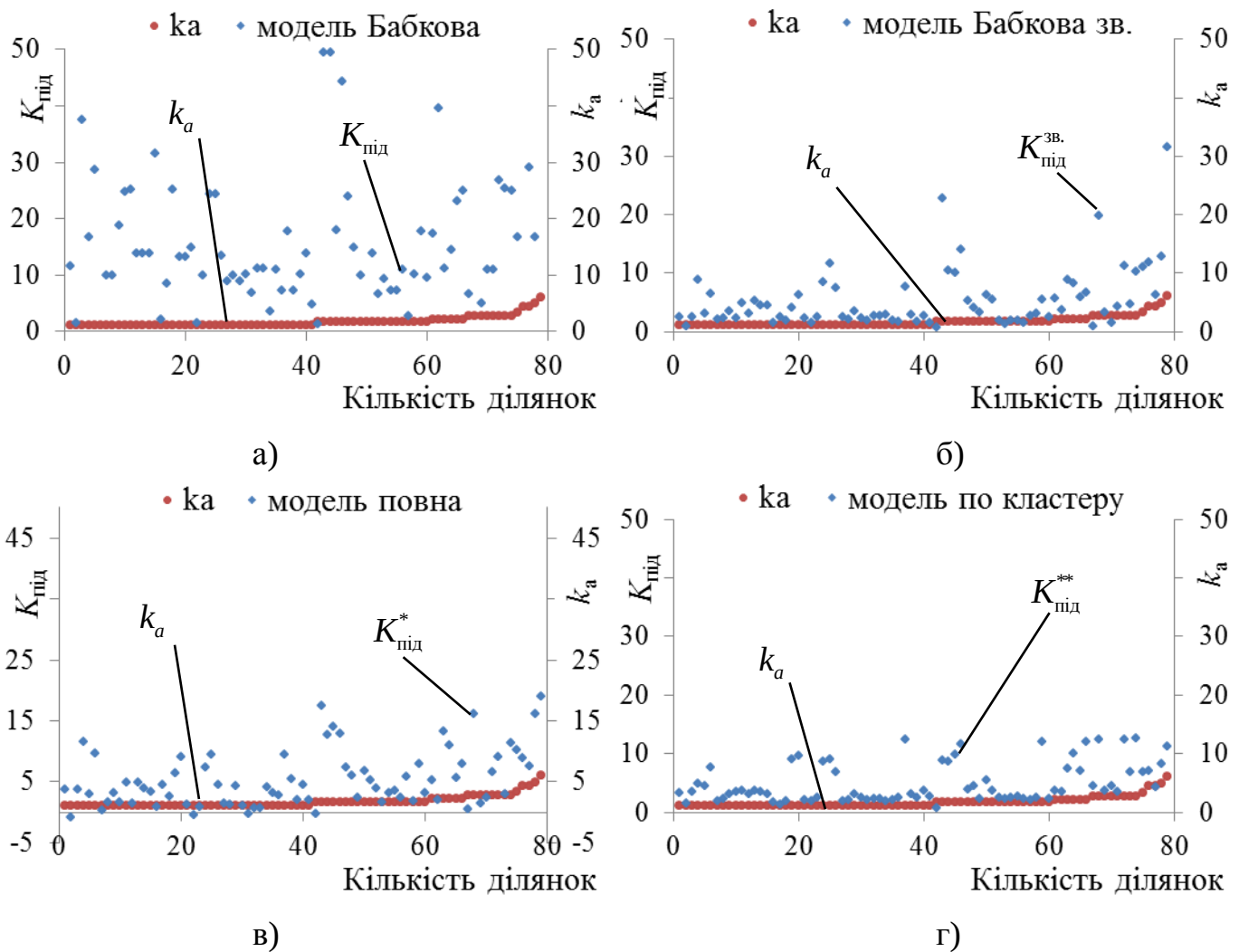
s – номер сектора кілометрової ділянки АД, $s = \overline{1, w}$.

Такий підхід дозволив врахувати вплив прилеглих секторів кілометрової ділянки один на одного.

Особливостями застосування моделей (9) і (10) для визначення підсумкового коефіцієнта аварійності є такі: модель (9) має 7 змінних, що на 11 змінних менше, ніж у базовій моделі (11) та (12) (указаний факт скорочує часові і трудові витрати на визначення $K_{\text{під}}$); модель (10) має 5 змінних, що спрощує збір вихідних даних для визначення $K_{\text{під}}$ у порівнянні з моделями (9), (11), (12); за малих значень K_i ($K_i \leq 1$), $K_{\text{під}}$ за моделлю (9) набуває від'ємного значення, що суперечить фізичному змісту показника – рівень БДР ($K_{\text{під}}$ за моделлю (10) набуває тільки додатних значень); під час дослідження ділянки АД для розрахунку моделі (9) обов'язковим є визначення F_2 та F_7 , оскільки саме ці фактори враховують основні параметри ТП і ДУ (інтенсивність руху ТП, ширину ПЧ, ширину узбіччя, кількість смуг руху). Решта F_f є факторами, що описують небезпеку ділянок АД з особливими умовами, визначення яких для

оцінки БДР на всіх ділянках не доцільно. Для розрахунку моделі (10) обов'язковим є визначення F_1 та F_5 , решта факторів враховують особливі УР. Визначені особливості уможливають застосування моделі (10) для експрес-аналізу БДР під час аудиту БДР на ділянках АД загального користування.

На наступному етапі експериментальних досліджень визначено точність і адекватність розроблених математичних моделей. Адекватність запропонованих моделей підтверджується ступенем узгодженості значень із базовою моделлю, а також значеннями коефіцієнта детермінації ($R_{K_{\text{під}}}^2 = 0,77$, $R_{K_{\text{під}}}^{2**} = 0,7$) і критерієм Фішера ($F_{\text{р для } K_{\text{під}}^*} = 34,62$ при $F_{\text{кр для } K_{\text{під}}^*} = 1,88$, $F_{\text{р для } K_{\text{під}}^{**}} = 34,37$ при $F_{\text{кр для } K_{\text{під}}^{**}} = 1,88$). Точність оцінено сумарними і середніми значеннями абсолютної помилки моделі від значень відносного коефіцієнта аварійності на ділянках АД (модель Бабкова В.Ф. – $\bar{E}_{K_{\text{під}}} = 18,61$; за моделлю по кластеру – $\bar{E}_{K_{\text{під}}}^{**} = 3,22$). Графічну інтерпретацію репрезентовано на рис. 9.



(«а» і «б» – за базовою моделлю; «в», «г» – за запропонованими моделями)

Рисунок 9 – Порівняльна діаграма значень підсумкового коефіцієнта аварійності і відносного коефіцієнта аварійності

Аналіз результатів експериментальних досліджень різних моделей визначення рівня БДР доводить таке: визначення середньозваженого показника рівня БДР на кілометровій ділянці АД істотно зменшує відхилення $K_{\text{під}}$ від реальних значень аварійності (рис. 9а, рис. 9б); перевірка адекватності і точності розглянутих моделей підтвердила можливість їх застосування на практиці, оскільки відмінності між абсолютною і відносною помилкою повної моделі ($\bar{E}_{K_{\text{під}}}^* = 3,96$) і моделі по кластеру ($\bar{E}_{K_{\text{під}}}^{**} = 3,22$) мінімальні; визначення підсумкового коефіцієнта аварійності за запропонованими моделями в 6 разів скорочує відхилення відносного коефіцієнта аварійності від значень підсумкового коефіцієнта аварійності. Однак найбільш ефективною для застосування на практиці під час експрес-аналізу БДР на АД з погляду мінімізації часових і трудових витрат, є модель по кластеру (10), що має найменшу кількість змінних (5 змінних).

Модель (10) запропоновано використовувати в методиці експрес-аналізу рівня БДР на АД загального користування. Ця методика укладена відповідно до вимог нормативних документів України і складається з етапів, що подано на рис. 10. Для визначення рівня БДР на практиці необхідно чітко дотримуватися послідовності застосування удосконаленої моделі $K_{\text{під}}^{**}$. Основний зміст методики з роз'ясненням кожного етапу викладено у 4-му розділі дисертації.

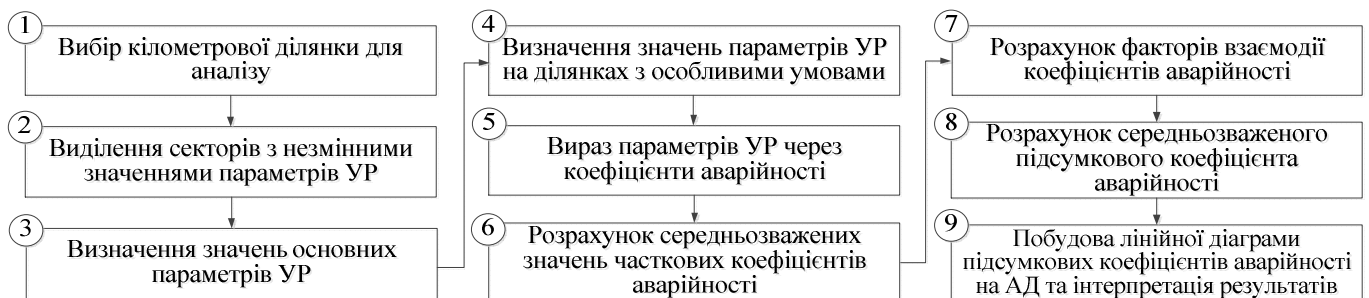


Рисунок 10 – Етапи визначення рівня БДР

Розрахунок факторів взаємозв'язку окремих коефіцієнтів аварійності проведено за моделями (табл. 4) на основі середньозважених значень K_i^{3B} .

Таблиця 4 – Функції латентних факторів для АД II технічної категорії

Фактор	Модель
F_1	$(0,77839 \cdot K_2^{3B} + 0,70217 \cdot K_3^{3B} + 0,79791 \cdot K_{12}^{3B})/1,9371$
F_2	$(-0,80791 \cdot K_9^{3B} - 0,87163 \cdot K_{14}^{3B})/1,8029$
F_3	$(0,87524 \cdot K_5^{3B} + 0,8174 \cdot K_6^{3B})/1,7512$
F_4	$(0,81989 \cdot K_4^{3B} + 0,68222 \cdot K_{18}^{3B})/1,2122$
F_5	$(-0,48343 \cdot K_8^{3B} - 0,75671 \cdot K_{15}^{3B})/1,1532$

У разі практичного застосування запропонованої моделі для визначення потенційно небезпечних ділянок необхідно побудувати лінійну діаграму зміни значень підсумкового коефіцієнта аварійності. Для вибору пріоритету розробки заходів з підвищення БДР необхідно керуватись такими значеннями: якщо $K_{\text{під}}^{**} < 3$ – ділянка

безпечна, якщо $3 \leq K_{\text{під}}^{**} < 5$ – ділянка малобезпечна, якщо $5 \leq K_{\text{під}}^{**} < 10$ – ділянка небезпечна, якщо $K_{\text{під}}^{**} > 10$ – ділянка дуже небезпечна.

Запропонована методика необхідна для підрозділів Укравтодору, ДАІ, наукових, проектних і громадських організацій, а також незалежних аудиторських комісій із БДР, як інструмент визначення небезпечних ділянок АД і встановлення пріоритетності реалізації заходів щодо підвищення БДР.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз наслідків ДТП дозволив виявити, що рівень безпеки дорожнього руху в Україні нижчий ніж у розвинених країнах світу: рівень соціального ризику вищий в 2 рази, а рівень транспортного ризику – у 4-10 разів, що призводить до втрат близько 5% ВВП щорічно. У результаті аналізу існуючих методів визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування встановлено, що метод підсумкового коефіцієнта аварійності має переваги серед інших методів, оскільки є найбільш повним за кількістю аналізованих параметрів, за статистичною забезпеченістю і входить до нормативно-правової документації України, але при цьому особливості його застосування пов'язані зі складністю і неоднозначністю визначення значень параметрів умов руху, що ускладнює його практичне застосування.

2. Дорожній рух формалізовано як сукупність множини дорожньо-транспортних ситуацій на підставі часткових коефіцієнтів аварійності, у вигляді матриці «об'єкт – властивість», що репрезентована сукупністю латентних факторів часткових коефіцієнтів аварійності. Шляхом упорядкування часткових коефіцієнтів аварійності за ступенем впливу відповідних параметрів умов руху на рівень безпеки дорожнього руху отримано оптимальну кількість кластерів та їхній склад для автомобільних доріг різних технічних категорій: для категорії дороги Ia – 3 кластери; для категорії дороги Ib – 5 кластерів; для категорії дороги II – 3 кластери; для категорії дороги III – 4 кластери; для категорії дороги IV – 4 кластери; для категорії дороги V – 4 кластери. Отримання результатів автоматизовано.

3. Удосконалено метод підсумкового коефіцієнта аварійності на основі редукції змінних із мінімальною втратою інформативності та точності. Встановлено і визначено лінійну залежність між частковими коефіцієнтами аварійності та латентними факторами умов руху. При цьому кількість часткових коефіцієнтів аварійності повної моделі підсумкового коефіцієнта аварійності для автомобільних доріг II-ї технічної категорії скорочено з 18 до 15, а за обробки найбільшого кластера часткових коефіцієнтів аварійності – з 18 до 11, взаємозв'язок яких відображено в 5 латентних факторах, отриманих при дослідженні, що впливає на оперативність визначення рівня безпеки дорожнього руху.

4. Отримані результати експерименту підтверджують розробку адекватної моделі підсумкового коефіцієнта аварійності для визначення рівня безпеки на ділянках автомобільних доріг II-ї технічної категорії. Указана модель має найменше відхилення від коефіцієнта аварійності на мільйон автомобілекілометрів, що підтверджується критеріями адекватності (критерій Фішера $F_{\text{р для } K_{\text{під}}^{**}} = 34,37$ при

$F_{кр \text{ для } K_{під}^{**}} = 1,88$, коефіцієнт детермінації $R_{K_{під}^{**}}^2 = 0,77$) і точності (відхилення від моделі Бабкова В.Ф. складає – $\bar{E}_{K_{під}} = 18,61$; від моделі по кластеру – $\bar{E}_{K_{під}^{**}} = 3,22$). Відхилення підсумкового коефіцієнта аварійності від значень відносного коефіцієнта аварійності в 6 разів менше в порівнянні з базовою моделлю проф. Бабкова В.Ф.

5. Розроблено методику визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування на основі вдосконаленої моделі підсумкового коефіцієнта аварійності зі зменшенням кількості часткових коефіцієнтів аварійності (з 18 до 11), що дозволяє знизити часові та трудові витрати (в 1,6 рази). Цю методику доцільно застосовувати у разі проведення експрес-аналізу безпеки дорожнього руху для визначення показника потенційної небезпеки ділянок автомобільних доріг, що підтверджується відповідними актами впровадження в підрозділах Укравтодору та ДАІ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Абрамова Л.С. Дослідження показників безпеки руху на дорогах / Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту: науковий журнал. – 2009. – №1. – С. 20 – 26.

2. Абрамова Л.С. К вопросу надежности транспортных систем / Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. – 2009. – Вып. 47. – С. 139 – 142.

3. Абрамова Л.С. Метод классификации частных коэффициентов аварийности для автомобильных дорог различных технических категорий / Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збірка наукових праць. – 2012. – Випуск 44'2012. – С. 41 – 55.

4. Абрамова Л.С. Выявление латентных факторов частных коэффициентов аварийности / Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – «5/4 (59)». – С. 32 – 37.

5. Абрамова Л.С. Влияние параметров дорожных условий на безопасность дорожного движения / Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця // Белорусский национальный технический университет: рецензируемый сб. науч. тр. – Беларусь, Минск, 2013. – С. 29 – 36.

6. Птиця Г.Г. Теоретические исследования параметров безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах / Г.Г. Птиця // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 61–62. – С. 64 – 70.

7. Абрамова Л.С. Результаты редукции частных коэффициентов аварийности при определении уровня безопасности дорожного движения / Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця // Академическая наука – проблемы и достижения: сб. статей. – 2014. Москва-North Charleston, CreateSpace, SC, USA. – С. 165 – 169.

8. Птиця Г.Г. Результаты экспериментальной проверки метода определения уровня безопасности дорожного движения / Г.Г. Птиця // Сборник научных трудов SWorld. – 2015. – Вып. 2 (39), Т.1. – С. 24 – 36.

9. А.с. Твір наук.-практ. характеру «Метод классификации частных коэффициентов аварийности для автомобильных дорог различных технических категорий» / Г.Г. Птиця, Л.С. Абрамова (Україна). – № 49010; опубл. 29.04.2013 р.

10. А.с. Твір наук.-практ. характеру «Теоретические исследования параметров безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах» / Г.Г. Птиця (Україна). – № 53588; опубл. 10.02.2014 р.

11. Птиця Г.Г. Риск возникновения ДТП как фактор надежности транспортных систем / Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: межд. науч.-практ. конф., 23–24 октября 2009 г.: материалы. – Минск, 2009. – С. 85 – 90.

12. Птиця Г.Г. Подход к усовершенствованию оценки уровня безопасности дорожного движения / Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця // Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти: VII міжнародна науково-практична конференція, 15–16 листопада 2012 р.: матеріали. – Донецьк, 2012. – С. 168 – 172.

13. Птиця Г.Г. Классификация методов определения показателей безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах / Л.С. Абрамова, Г.Г. Птиця // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: международная научно-практическая конф., 25–27 апреля 2013 г.: материалы. – Пермь, 2012. – Т.2. – С. 8 – 16.

14. Птиця Г.Г. Удосконалення методики визначення рівня безпеки на автомобільних дорогах / Г.Г. Птиця // Інженерна механіка та транспорт (ЕМТ-2013): III Міжнародна конференція молодих вчених, 21–23 листопада 2013 р.: матеріали. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – С. 20 – 21.

15. Птиця Г.Г. Формализация взаимодействия частных коэффициентов аварийности / Г.Г. Птиця // Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху: III міжнародна науково-практична конференція, 16–17 квітня 2013 р.: матеріали. – Харків, 2013. – С. 81 – 85.

16. Птиця Г.Г. Результаты экспериментальных исследований безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах / Г.Г. Птиця // Інформаційні технології і мехатроніка: Всеукраїнська науково-практична конференція, 15 квітня 2014 р.: матеріали. – Харків, 2014. – С. 118 – 119.

17. Птиця Г.Г. Програмне середовище упорядкування показників безпеки дорожнього руху / Г.Г. Птиця // Актуальні проблеми викладання фундаментальної і прикладної математики в сучасному вищому навчальному закладі: всеукраїнська науково-методична конференція, 19–20 травня 2015р.: матеріали. – Харків, 2015. Електронний збірник. – С. 55 – 59.

18. Птиця Г.Г. Сравнительный анализ моделей определения уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах / Г.Г. Птиця // Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті: міжнародна науково-практична конференція, 15–16 жовтня 2015 р.: матеріали. – Харків, 2015. – С. 91-93.

АНОТАЦІЯ

Птиця Г.Г. Визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – «Транспортні системи». – Харківський національний автомобільно-дорожній університет МОН України, Харків, 2016.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладного завдання визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування. Удосконалено метод визначення рівня безпеки дорожнього руху шляхом урахування взаємозв'язку параметрів умов руху та взаємного впливу суміжних ділянок автомобільних доріг на рівень безпеки. Проведено редукцію параметрів умов руху. Кількість часткових коефіцієнтів аварійності скорочено з 18 до 5 латентних факторів. Розроблено методичку експрес-аналізу безпеки дорожнього руху на ділянках доріг, що заснована на визначенні факторів безпеки для кілометрових ділянок автомобільних доріг з особливими умовами руху, наслідком чого стало зниження часових та трудових затрати на визначення рівня безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах без втрати точності.

Ключові слова: рівень безпеки дорожнього руху, параметри умов руху, коефіцієнти аварійності, латентні фактори умов руху, ДТП, аудит безпеки дорожнього руху.

АННОТАЦИЯ

Птица Г.Г. Определение уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах общего пользования. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – «Транспортные системы». – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет МОН Украины, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи определения уровня безопасности дорожного движения на участках автомобильных дорог общего пользования. В работе усовершенствован метод определения уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах, учитывающий взаимосвязь параметров условий движения и взаимное влияние смежных участков автомобильных дорог на уровень безопасности дорожного движения. Упорядочены параметры условий движения с учетом всех классификационных признаков одновременно на основании применения методов кластерного анализа. В качестве признаков кластеризации выделены: минимальное, максимальное и среднее значение диапазона изменения степени влияния частных коэффициентов аварийности на уровень безопасности дорожного движения. Иерархическим методом Варда получена дендрограмма последовательной группировки частных коэффициентов аварийности в кластеры, анализ корректности которой проведен методом «*k*-средних». Критерием качества кластеризации выбрана максимизация среднего расстояния между центроидами кластеров, что обеспечивает максимальное удаление кластеров друг от друга. Процедура кластеризации автоматизирована за счет разработанной программы «Cluster». Для повышения оперативности определения уровня безопасности дорожного движения сформированы совокупности частных коэффициентов для автомобильных дорог различных технических категорий.

На основании применения метода итогового коэффициента аварийности дорожно-транспортная ситуация с позиции безопасности дорожного движения описана совокупностью частных коэффициентов аварийности, а дорожное движение в целом, которое является набором различных дорожно-транспортных ситуаций, формализовано пространством частных коэффициентов аварийности и представлено в виде матрицы «объект-свойство». Проведена редукция совокупности исследуемых параметров

условий движения методом главных компонент, что позволило выявить латентные факторы частных коэффициентов аварийности, которые учитывают их взаимосвязь и взаимное влияние на итоговый коэффициент аварийности. Оптимальное количество латентных факторов определено на основании критериев Кайзера и Меттеля. Предложено определение средневзвешенных значений частных коэффициентов аварийности на каждом километровом участке для учета взаимодействия секторов автомобильной дороги с неизменными значениями параметров условий движения. Количество частных коэффициентов аварийности в модели итогового коэффициента аварийности для автомобильных дорог II-й технической категории сокращено с 18 до 11, взаимосвязь которых отражена в 5 латентных факторах, полученных при исследовании.

Разработана методика экспресс-анализа безопасности дорожного движения на участках автомобильных дорог общего пользования, которая основана на определении факторов безопасности на отдельных километровых участках автомобильных дорог с особыми условиями движения, что позволило снизить временные и трудовые затраты на определение уровня безопасности дорожного движения при проведении экспресс-анализа безопасности на разных стадиях «жизненного цикла» автомобильной дороги без потери точности. Практическая значимость результатов работы подтверждается полученными актами внедрения разработанной в диссертационной работе методики определения уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах различных технических категорий при экспресс-анализе безопасности дорожного движения в «Коростенский ДЭУ» ДП «Житомирский облавтодор», Филиал «Шевченковский автодор» ДП «Харьковский облавтодор» и ОГАИ Киевского района при ГУМВД Украины в Харьковской области.

Ключевые слова: уровень безопасности дорожного движения, параметры условий движения, коэффициенты аварийности, латентные факторы условий движения, ДТП, аудит безопасности дорожного движения.

ABSTRACT

G. Pitysa. Determining the level of road safety on public motor roads. – Manuscript.

Thesis for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences on specialty 05.22.01 – “Transport Systems”. – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The thesis deals with solving of scientific and applied problems of determining the level of road safety on public motor roads. The method for determining the level of road safety by taking into account the relationship of parameters of traffic conditions and the mutual influence of adjacent road sections on the level of traffic safety is improved. Reduction of settings of traffic conditions is carried out. The number of private accident rates has been reduced from 18 to 5 latent factors. The method for rapid analysis of traffic safety on road sections that is based on the definition of safety factors for kilometer road sections with special driving conditions, which made it possible to reduce the time and labor costs for determining the level of traffic safety on motor roads without any loss of accuracy is developed.

Key words: level of traffic safety, parameters of traffic conditions, accident rates, latent factors of driving conditions, road accident, road safety audit.