

Міністерство освіти і науки України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

СМІРНОВА НАТАЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 625.7./8

**МЕТОДОЛОГІЯ ЦІЛЬОВОГО ПОШУКУ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ
ДВОСМУГОВИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО
КОРИСТУВАННЯ**

05.22.11 – Автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України на кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Жданюк Валерій Кузьмович,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет, завідувач кафедри будівництва
та експлуатації автомобільних доріг.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Павлюк Дмитро Олександрович,
завідувач кафедри проектування доріг, геодезії
та землеустрою, Національний транспортний
університет, м. Київ;

доктор технічних наук, професор
Гук Валерій Іванович,
завідувач кафедри урбаністики та містобудування
Харківського національного університету
будівництва та архітектури, м. Харків;

доктор технічних наук, професор,
Солодкий Сергій Йосифович,
завідувач кафедри автомобільних шляхів Інституту
будівництва та інженерії доквілля Національного
університету «Львівська політехніка», м. Львів.

Захист дисертації відбудеться «___» _____ 2016 р. о 12³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.01 Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25.

Автореферат розісланий «_____» _____ 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., доцент



Р.В. Смолянук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Пошук найкращого, серед багатьох варіантів проектних рішень автомобільної дороги, є багатокритеріальною задачею. Обґрунтування проектного рішення автомобільної дороги на сьогодні виконують шляхом порівняння варіантів між собою за рядом критеріїв згідно з ДБН В 2.3-4. При цьому розрахункова швидкість приймається як швидкість руху одиночного легкового автомобіля. Фактично ж по дорозі рухається неоднорідний за складом і нерівномірний в часі і в просторі транспортний потік. Неоднорідність складу транспортного потоку обумовлює необхідність детальної оцінки швидкостей як усього потоку, так і основних його груп і підгруп, та їх використання як критеріїв при обґрунтуванні проектних рішень.

Існуючі методи оцінки динамічного габариту за зупинковим шляхом не відтворюють реальні ситуації які можуть виникати при русі автомобілів у потоці. На сьогодні залишаються недостатньо дослідженими ймовірності розподілу інтервалів між транспортними засобами.

Згідно з чинною методикою комплексної оцінки проектів будівництва та реконструкції автомобільних доріг середню швидкість транспортного потоку, як основний показник транспортно-експлуатаційного стану дороги, обчислюють істотно спрощуючи середньорічну інтенсивність руху, розрахунки середньої швидкості недостатньо деталізовані. При порівнянні варіантів, ігнорується, по-перше, зміна транспортно-експлуатаційного стану дороги по періодах року в розрізі одного року експлуатації, по-друге, ігнорується періодичне відновлення транспортно-експлуатаційних характеристик дороги через серію ремонтів протягом її життєвого циклу. У результаті таких розрахунків транспортні витрати містять суттєві помилки, обґрунтування вибору варіанта проектного рішення є недостатньо об'єктивним, при цьому цілком ймовірні вагомні ризики втрати дійсно оптимального рішення.

Таким чином, вирішення висвітлених проблем є актуальною науково-практичною задачею народногосподарського значення яка полягає в розробці методології цільового пошуку проектних рішень двосмугових автомобільних доріг загального користування з урахуванням мінливості їх транспортно-експлуатаційного стану протягом життєвого циклу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до основних положень «Транспортної стратегії України на період до 2020 року» (розпорядження Кабінету міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р), «Концепції Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013–2018 роки» (розпорядження Кабінету міністрів України від 03.09.2012 р. № 719-р). Основні дослідження дисертаційної роботи виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт Харківського національного автомобільно-дорожнього університету та планами науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор», в рамках виконання госпдоговірних науково-дослідних

робіт № 14-05/35-25-05 «Розробити та запровадити експертно-моніторингову систему обґрунтування робіт на мережі доріг місцевого значення» (державний реєстраційний № 0105U002694), № 205/35-32-06 «Розробити методику оцінки екологічного впливу автомобільної дороги загального користування на навколишнє середовище» (державний реєстраційний № 0106U013134), № 117/35-81-12 «Провести наукове дослідження щодо обґрунтування нормативних показників поздовжньої рівності дорожніх покриттів» (державний реєстраційний № 0112U004735), № 14/37-54-14 «Провести дослідження та обґрунтувати вимоги до сполучень поздовжнього профілю за показниками плавності руху та початкової нерівності» (державний реєстраційний № 0114U002829).

Мета роботи полягає в розробці методології цільового пошуку проектних рішень автомобільних доріг з урахуванням закономірностей змінності показників транспортно-експлуатаційних характеристик протягом їх життєвого циклу.

Задачі дослідження.

1. Провести аналіз існуючих методів пошуку найкращих проектних рішень двосмугових автомобільних доріг загального користування.

2. Провести аналіз та обґрунтувати критерії оцінки проектних рішень автомобільної дороги.

3. Вдосконалити математичну модель руху автомобілів і транспортних потоків з урахуванням змінності параметрів автомобільної дороги.

4. Вдосконалити модель розподілу ймовірностей інтервалів і дистанцій між автомобілями та провести експериментальні дослідження діапазону тривалості маневру обгону на двосмугових дорогах загального користування.

5. Розробити математичну модель функціонування автомобільної дороги з урахуванням закономірностей руху автомобілів і транспортних потоків на двосмугових дорогах та зміни їх транспортно-експлуатаційних характеристик протягом життєвого циклу.

6. Розробити методологію цільового пошуку проектних рішень з урахуванням закономірностей змінності показників транспортно-експлуатаційних характеристик дороги протягом життєвого циклу.

7. Розробити програмний продукт для моделювання функціонування дороги протягом життєвого циклу.

Об'єкт дослідження – проектні рішення двосмугових автомобільних доріг.

Предмет дослідження – параметри технічного рівня автомобільної дороги, закономірності змінності показників її експлуатаційного стану протягом життєвого циклу та критерії оцінки варіантів проектних рішень.

Методи дослідження. Для спрямованого пошуку проектного рішення використані основні положення системи *CREDO*, як основи *САПР* автомобільних доріг. Для дослідження режимів руху автомобілів застосований метод імітаційного моделювання процесів взаємодії елементів системи «дорога – водій – автомобіль» та метод динамічного програмування. В основу створення математичної моделі транспортного потоку покладені положення теорії

марковських процесів. Для дослідження швидкостей руху автомобілів і транспортних потоків, як випадкових величин, застосовані методи теорії ймовірності. Для цільового пошуку проектного рішення використовували метод математичного моделювання. Достовірність математичних моделей оцінена методами математичної статистики і впровадженням проектними організаціями.

Наукова новизна отриманих результатів.

В результаті дослідження отримали подальший розвиток теоретичні основи математичного моделювання руху автомобілів і транспортних потоків на двосмугових дорогах загального користування та вперше розроблена методологія спрямованого пошуку проектних рішень в САПР з урахуванням динаміки експлуатаційного стану дороги протягом життєвого циклу.

Вперше досліджено закономірності руху транспортного потоку в дорожніх умовах, що визначаються показниками технічного рівня та змінного експлуатаційного стану дороги, як основи моделювання режимів руху транспортного потоку на двосмугових автомобільних дорогах загального користування.

Дістала подальшого розвитку модель розподілу ймовірностей інтервалів між автомобілями в потоці з урахуванням зміщеного розподілу ймовірностей інтервалів, яка дозволяє оцінити режими руху транспортних потоків.

Дістала подальшого розвитку математична модель визначення швидкості вільного руху на двосмугових дорогах загального користування шляхом узагальнення рівнянь силового балансу автомобіля за різних режимів руху, складено алгоритм та розроблена відповідна комп'ютерна програма.

Вперше для вирішення задач організації дорожнього руху запропоновано враховувати змінність транспортно-експлуатаційних характеристик дороги протягом життєвого циклу при побудові транспортних діаграм та оцінці характеристик руху транспортних потоків.

Вперше розроблено метод оцінки можливих швидкостей 85-% забезпеченості, як критерію вибору найкращого проектного рішення, в основу якого покладено закономірності розподілення імовірнісних характеристик руху автомобілів у потоці.

Вперше розроблено програмний продукт для оцінки проектного рішення з урахуванням змінності транспортно-експлуатаційних характеристик дороги протягом життєвого циклу.

Практичне значення одержаних результатів полягає:

- у розробці програмного модуля *Dynamica* та його включенні складовою частиною в спеціалізовану комп'ютерну програму моделювання руху автомобілів та транспортних потоків *Road_1* комплексу програмних продуктів *CREDO*, який використовується проектними організаціями дорожньої галузі для автоматизованого порівняння варіантів проектних рішень автомобільних доріг загального користування;

- у впровадженні результатів дослідження при розробці спеціалізованого програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання впливу сполучень

поздовжнього профілю на коливальну систему автомобіля з оцінкою плавності руху в проектах реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг;

– у впровадженні результатів дисертаційного дослідження в експертно-моніторингову систему, розроблену на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України, яка знаходить практичне застосування в дорожніх організаціях для обґрунтування об'ємів робіт на мережі автомобільних доріг місцевого значення;

– у впровадженні результатів дослідження в розроблені нормативно-технічні документи М В.2.3-218-626:2007 «Методика оцінки екологічного впливу автомобільної дороги загального користування на навколишнє середовище» та Р В.2.3-02071168/02070915-819:2013 «Рекомендації щодо застосування різних методів вимірювання, оцінки та нормування поздовжньої рівності дорожніх покриттів за критерієм впливу нерівностей поверхні покриттів на споживачів дорожніх послуг», якими поповнено Фонд галузевих будівельних норм та нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України;

– у використанні модернізованої спеціалізованої комп'ютерної програми *Road_1* ДП «Український державний інститут з проектування об'єктів дорожнього господарства» при розробці проектів реконструкції автомобільних доріг державного значення: М-01 «Київ – Чернігів – Нові Яриловичі» на ділянці км.18+000 – км. 99+000; М-03 «Київ – Харків – Довжанський» на ділянках км.164+500 – км. 170+500, км.210+000 – км.300+550, км.323+000 – км.329+050, км.333+800 – км. 347+200; М-05 «Київ – Одеса» на ділянці км.36+500 – км.42+000; М-06 «Київ – Чоп» на ділянках км.14+080 – км.128+000, км.129+600 – км.151+730, км.154+400 – км.177+400; Н-01 «Київ – Знам'янка» на ділянці км.14+740 – км.43+435, а також інших доріг державного і місцевого значення загальною протяжністю понад 1000 км;

– у використанні результатів дисертаційної роботи в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті в навчальному процесі при підготовці студентів за напрямом «Будівництво» спеціальності «Автомобільні дороги та аеродроми» в лекційних курсах, практичних заняттях та в дипломному проектуванні при підготовці дипломних робіт спеціалістів та магістрів.

Особистий внесок здобувача. Дисертація містить наукові результати теоретичних та експериментальних досліджень що отримані особисто дисертантом або за його безпосередньою участю. Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні напрямку, мети і завдань дослідження, розробці математичних моделей, виконанні теоретичних та експериментальних досліджень, узагальненні отриманих результатів, а також у впровадженні результатів дослідження в практику проектування автомобільних доріг. Основні положення дисертаційного дослідження опубліковані в наукових працях особисто дисертантом [10, 13, 14, 16–19, 21, 25–27, 29–31, 34, 35, 38, 39, 41–43], а також у співавторстві [1–9, 11, 12, 15, 20, 22–24, 28, 32, 33, 36, 37, 40]. У наукових публікаціях зі співавторами особистий внесок здобувача полягає в розробці цифрових моделей проектних рішень, розробці математичних моделей руху автомобілів і транспортних потоків, застосуванні методів імітаційного

модельовання для аналізу режимів руху транспортних потоків [12, 28, 32, 33]; в обґрунтуванні та уточненні методики визначення витрати палива у залежності від дорожніх умов для деталізованих розрахунків складових собівартості перевезень, проведенні чисельного модельовання руху транспортних потоків [15, 20, 22–24, 36, 40]; дослідженні перехідних кривих змінної швидкості руху, аналізі впливу нерівностей на безпеку руху, автоматизованій оцінці варіантів проектних рішень [1, 2, 4–6, 8, 9, 11, 37]; в дослідженні впливу показників експлуатаційного стану покриттів на споживчі властивості автомобільних доріг [3, 7].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались й обговорювались: на науково-технічній конференції «Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог» (м. Харків, 2007 р.); науково-практичній конференції за участю студентів та молодих учених «Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов» (Харків, 2012 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management: 16th Conference for Lithuania Junior Researches» (Vilnius (Lithuania), May 8–9, 2013 р.); 77-й науково-методичній конференції ХНАДУ (Харків, 2013 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений» (Белгород, 2013 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг» (Харків, 2013 р.); міжнародному науково-практичному конгресі «Міське середовище – ХХІ сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн.» (Київ, 2014 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management» (Vilnius (Lithuania), May 8–9, 2014 р.), міжнародній науково-практичній конференції з нагоди Дня автомобіліста і дорожника «Новейшие технологии развития конструкции, производства, эксплуатации, ремонта и экспертизы автомобиля» (Харків, 2014 р.), міжнародних науково-практичних конференціях «Scientific and Practical Results»: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (October 20–22, 2014, December 22–24, 2014, May 20–21, 2015, Dubai, UAE)», міжнародній науковій конференції «Transport Problems 2015»: VII International Scientific Conference, Katowice, Poland (22–24 червня 2015 р.), а також на щорічних науково-методичних конференціях викладачів і наукових співробітників Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (2007–2015 рр.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 1 монографію та 43 наукові праці, з них 26 – у наукових фахових виданнях України (в тому числі 5 входять в міжнародні наукометричні бази), 8 – у наукових періодичних виданнях інших держав, 9 – апробаційного характеру.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, шести розділів, загальних висновків, бібліографії з 280 найменувань і 2 додатків.

Загальний обсяг роботи складає 350 сторінок, в тому числі 310 сторінок основного тексту, 116 рисунків, 71 таблиця.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність обраного напрямку роботи, сформульовано мету й задачі дослідження, визначено предмет та об'єкт дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення роботи, методи дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, зазначено особистий внесок здобувача. Подано відомості про апробацію та публікації результатів дослідження.

У першому розділі наведено огляд і аналіз результатів існуючих досліджень та нормативних документів, що відображають сучасні методики техніко-економічного порівняння варіантів проектів будівництва, реконструкції та ремонтів автомобільних доріг. Огляд літературних джерел вказує на те, що визначення раціонального варіанту проектного рішення є однією з найважливіших задач проектування автомобільних доріг. В різні періоди дослідженню цієї задачі були присвячені роботи О.А. Білятинського, В.М. Бойкова, Г.В. Величка, В.І. Пуркіна, А.М. Пальчика, В.І. Федорова, В.В. Філіппова, та інших вчених.

Проектування автомобільних доріг в сучасний період розвитку дорожньої галузі України ведеться в умовах жорстких обмежень на різні ресурси: фінансові, матеріальні, енергетичні, пов'язані з часом тощо. На підставі проведеного аналізу встановлено, що проблема оптимізації проектів обумовлена недоліками сучасних методик обґрунтування найкращих проектних рішень автомобільних доріг. Для узагальнення недоліків сучасних методик необхідно звернути увагу на їх наступні особливості.

В першій частині ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. ч. I Проектування. ч. II Будівництво» декларується, що «Для прийняття оптимальних проектних рішень щодо прокладання дороги необхідно розробляти альтернативні варіанти траси дороги з порівнянням за такими техніко-економічними показниками: ...» до яких входять як технічні показники (план траси, поздовжній профіль, коефіцієнт розвитку траси тощо), так і ті, що вимагають спеціальних техніко-економічних розрахунків (показники безпеки та аварійності, час проїзду, загальна вартість будівництва, термін окупності інвестицій тощо). Перша група показників – це параметри дороги, що формують одноразові витрати на її будівництво, реконструкцію або капітальні ремонти. Друга група показників формує змінні в часі витрати, до яких входять: поточні витрати експлуатаційних дорожніх організацій, витрати на перевезення вантажів і пасажирів і різного роду витрати у грошовому еквіваленті із-за негативних наслідків (втрати від ДТП, збиток навколишньому середовищу, час на перебування в дорозі пасажирів тощо.). Згідно чинної методики комплексної оцінки будівництва та реконструкції автомобільних доріг економічну ефективність проектного рішення визначають зіставленням цих двох груп

витрат. Недоліки розрахунку витрат на здійснення транспортного процесу можна звести до наступного.

При розрахунках більшості показників другої групи враховується середня технічна швидкість руху. Відомо, що середня технічна швидкість використовується також для аналізу економічної ефективності автотранспортних підприємств. При цьому середня технічна швидкість не може служити одним із критеріїв вибору найкращого варіанту серед багатьох проектних рішень автомобільної дороги, оскільки її приймають незмінною в часі по всій довжині дороги. Фактично швидкість автомобіля в потоці є змінною величиною у залежності від зовнішніх факторів. При порівнянні варіантів проектних рішень не враховується, що водій встановлює швидкість автомобіля залежно від мінливості дорожніх умов та параметрів технічного рівня автомобільної дороги. При цьому недостатньо дослідженими є режими руху транспортних потоків в темний час доби. Узагальнення проаналізованої інформації свідчить також про те, що швидкість автомобіля істотно залежить від показників експлуатаційного стану дороги, які змінюються як за періодами року, так і протягом міжремонтних строків.

Час проїзду можна віднести до одного з важливих показників за яким виконують техніко-економічне порівняння проектних рішень. Проте в розрахунках часу проїзду використовується середня швидкість автомобіля та не враховується вплив різних періодів експлуатації дороги на значення цього часу.

Транспортно-експлуатаційні показники автомобільної дороги погіршуються в процесі експлуатації і відновлюються шляхом капітальних і поточних ремонтів, що не враховується в існуючих підходах при обґрунтуванні проектних рішень.

Дослідженню транспортно-експлуатаційних характеристик автомобільних доріг присвячені праці О.К. Біруля, О.А. Білятинського, О.П. Васильєва, І.П. Гамеляка, Г.Д. Дубеліра, В.К. Жданюка, М.М. Іванова, І.В. Кіяшка, С.С. Кизими, С.Г. Міховича, В.В. Мозгового, В.К. Некрасова, Д.О. Павлюка, Є.Д. Прусенка, В.Я. Савенка, В.М. Сіденка, С.Й. Солодкого, М.С. Стороженка, та інших дослідників.

Аналіз сучасних методик обґрунтування проектних рішень автомобільних доріг показав, що на сьогоднішній день існуючі математичні моделі та комп'ютерні програми для імітаційного моделювання транспортних потоків не повною мірою описують реальну структуру транспортних потоків на двосмугових дорогах. В існуючих моделях руху транспортних потоків досі не враховується динаміка експлуатаційного стану автомобільної дороги протягом життєвого циклу. В існуючих математичних моделях імітації руху транспортних потоків недостатньо досліджені ймовірності розподілу інтервалів в потоці на двосмугових автомобільних дорогах, що впливає на можливість здійснення обгонів і внаслідок цього скорочення часу перебування в дорозі.

Розробці математичних моделей, алгоритмів і спеціалізованих програмних продуктів, а також рішенням задач моделювання руху автомобілів і транспортних потоків присвячені дослідження наукових шкіл ХАДІ, КАДІ, МАДІ, СіБАДІ та вчених В.Ф. Бабкова, А.Г. Батракової, Г.Б. Безбородова, А.О. Беятинського,

О.К. Біруля, В.М. Бойкова, О.П. Васильєва, Г.В. Величка, В.Г. Галушка, В.М. Глущенко, В.І. Гука, В.М. Єрємін, Я.А. Калузького, В.М. Кіслякова, Є.М. Лобанова, К.А. Мchedlishvili, А.Ф. Нефедова, А.М. Пальчика, В.П. Поліщука, П.І. Поспелова, В.В. Сільянова, Ю.М. Ситнікова, О.С. Славінської, Є.Б. Угненко, В.А. Федотова, В.В. Філіппова, Я.В. Хом'яка та інших вчених.

Моделювання руху автомобілів потребує використання закономірностей теорії автомобілів, тягово-швидкісних властивостей автомобіля, його експлуатаційних властивостей і характеристик роботи різних типів двигунів. Цьому напрямку присвячені роботи багатьох вчених, зокрема Ф.І. Абрамчука, В.О. Богомоллова, Н.Р. Бріллінга, В.П. Волкова, О.М. Врублевського, М.Я. Говорущенка, А.Ф. Головчука, В.І. Гриневецького, А.М. Іванова, А.С. Літвінова, Є.К. Мазінга, В.Д. Мигалья, А.С. Орліна, А.М. Пойди, Б.С. Стечкіна, А.М. Туренка, Я.Є. Фаробіна, Є.О. Чудакова, А.Ф. Шеховцова та інших дослідників.

Узагальнення проаналізованих робіт та нормативних документів вказує на те, що на сьогодні відсутня методологія цільового пошуку проектних рішень двосмугових автомобільних доріг загального користування, яка б одночасно враховувала показники технічного рівня автомобільної дороги та транспортно-експлуатаційного стану, які є мінливими протягом життєвого циклу, і дозволяла здійснити кількісну оцінку якості об'єкта.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню найбільш значущих критеріїв для оцінки проектних рішень автомобільної дороги, а також обґрунтуванню та визначенню поля параметрів технічного рівня та експлуатаційного стану, мінливість яких протягом життєвого циклу впливає на критерії, за якими доцільно здійснювати пошук проектних рішень.

Традиційно при розробці проектних рішень автомобільних доріг порівнюють їх варіанти за рядом критеріїв, серед яких одним з основних є безпека руху. Результатами численних досліджень встановлено, що швидкість 85-% забезпеченості транспортного потоку є найбільш безпечною швидкістю, яка приймається постійною протягом життєвого циклу автомобільної дороги. Метод оцінки відповідності проекту автомобільної дороги вимогам за критерієм швидкості 85-% забезпеченості ускладнений цілим рядом обставин. По-перше, неоднорідністю складу транспортного потоку, внаслідок чого значення швидкості 85-% забезпеченості різних типів автомобілів істотно відрізняються навіть в одному і тому ж створі дороги. По-друге, для повної і достовірної оцінки необхідна інформація щодо швидкостей руху по всій дорозі, параметри якої (ухили, радіуси, видимість тощо) можуть істотно відрізнятися на різних ділянках. По-третє, для повноцінної оцінки проекту автомобільної дороги протягом життєвого циклу, необхідно враховувати залежності цієї швидкості від мінливих по роках інтенсивності руху і показників експлуатаційного стану за періодами року.

В умовах високої вартості енергоносіїв одним з найважливіших критеріїв порівняння варіантів проектних рішень автомобільних доріг є також витрата пального, яка сягає більше 60 % автотransпортної складової собівартості

перевезень. Витрата пального залежить як від параметрів автомобіля, так і від параметрів дороги. В залежностях витрат пального від дорожніх умов беруть участь такі характеристики дороги як швидкість руху автомобіля, поздовжній ухил, коефіцієнт опору коченню і характеристика рівності проїзної частини, що визначають сили опору руху та витрати потужності на рух на даній ділянці дороги.

Параметри технічного рівня і показники експлуатаційного стану дороги також суттєво впливають на інші складові собівартості перевезень. Тому для цільового пошуку проектного рішення необхідно спиратись на критерій собівартості перевезень, який дозволить досить повно описати техніко-економічні особливості проекту. На будь-якій дорозі ці складові на різних ділянках можуть істотно відрізнятися від середнього значення, що дозволяє знаходити проблемні за критерієм транспортних витрат ділянки дороги при цільовому пошуку найкращого варіанту. Для такого спрямованого пошуку в роботі вирішена задача диференціації складових собівартості перевезень по різних ділянках дороги, що істотно підвищує надійність обґрунтування капітальних вкладень за критерієм транспортних витрат.

Визначено закономірності формування поля параметрів експлуатаційних показників протягом життєвого циклу дороги. В поле параметрів транспортно-експлуатаційних показників дороги включені показники нерівності проїзної частини, коефіцієнти опору коченню, коефіцієнти зчеплення, видимість поверхні дороги і автомобілів, метеорологічна видимість, видимість у світлі фар.

У темний час доби значна частина потоку (від 50 % в зимовий період до 29 % в літній) рухається у світлі фар. Видимість у світлі фар обмежується не тільки дальністю світлового потоку фари, але й формами поверхні проїзної частини в плані і поздовжньому профілі та впливає на швидкість і, відповідно, на час перебування в дорозі.

Особливості освітлення проїзної частини враховані в розробленому алгоритмі та комп'ютерній програмі розрахунку максимально можливих відстаней видимості у світлі фар за даними конкретного рішення плану та профілю дороги.

На рис. 1 наведено приклад діаграми видимості у світлі фар для прямого напрямку руху на певній ділянці дороги.

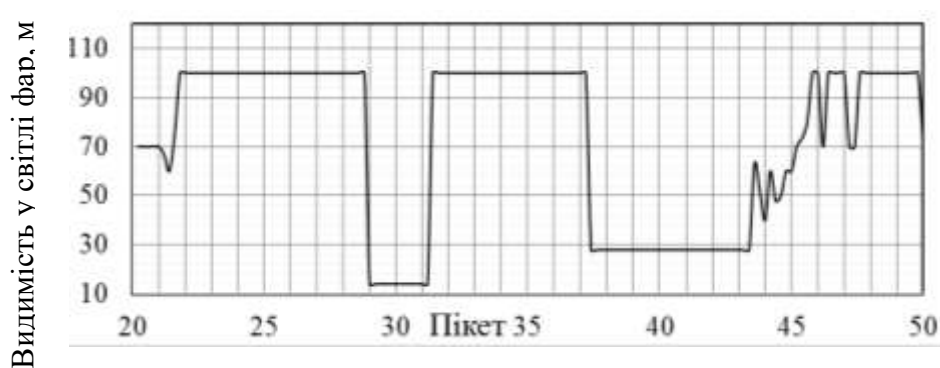


Рисунок 1 – Діаграма видимості у світлі фар

Довгі полиці на діаграмі зі значеннями видимості поверхні дороги в нічний час 14 м і 29 м відповідають кривим в плані: першій з радіусом 200 м з поворотом праворуч, і другій з радіусом 400 м з поворотом ліворуч. У світлий час доби ці криві забезпечують достатню видимість і високі безпечні швидкості руху, але в темний час доби потребують зниження швидкості руху та підвищеної уваги водія.

Третій розділ присвячений вдосконаленню математичної моделі руху автомобілів і транспортних потоків шляхом урахування змінності параметрів автомобільної дороги.

Виконано аналіз та узагальнення відомих математичних моделей руху автомобілів і транспортних потоків. Показано, що до найбільш відомих в теорії експлуатації автомобілів режимів руху належать тяговий режим, накат, гальмівний режим, гальмування двигуном, комбіноване гальмування. Кожен режим характеризується власним рівнянням руху, рішення якого дозволяє знайти основні характеристики руху: швидкість, прискорення, уповільнення, витрату палива тощо. Ці найважливіші характеристики, що необхідні для обґрунтування проектних рішень або експлуатаційних заходів, відрізняються на різних ділянках дороги та в різні періоди її експлуатації.

У рівняннях режимів руху автомобілів сили дорожніх опорів і гальмівна сила двигуна залежать, в першу чергу, від параметрів дороги: поздовжнього ухилу, коефіцієнта опору коченню та коефіцієнта зчеплення.

Виконане вдосконалення відомих математичних моделей включало ряд послідовних операцій які полягають в наближенні їх функціональних залежностей до таких, що найближче описують реальні умови руху транспортних потоків на двосмугових автомобільних дорогах.

Для побудови епюри швидкості як основи для моделювання руху автомобілів при проїзді конкретної ділянки дороги (проектної або тієї, що експлуатується) необхідні результати рішення рівнянь руху. При цьому епюрою швидкості проїзду конкретної ділянки є залежність швидкості від відстані вздовж дороги. На основі виконаного аналізу режимів руху запропоновано будувати епюри швидкості за схемою Ейлера. Розроблений та прийнятий алгоритм ітераційного розрахунку епюри швидкості наведено на рис. 2.

При цьому, використання схеми Ейлера для розрахунку епюри швидкості ускладнюється тим, що відомою величиною є тільки швидкість v_1 , а швидкість v_2 є невідомою величиною, а також тим, що середня швидкість v на ділянці Δs , впливає на величину прискорення, яка на початку розрахунку на кожній ділянці невідома.

Згідно запропонованого алгоритму середню величину прискорення необхідно обчислювати залежно від параметрів дороги і вибраного водієм режиму руху на кожній ділянці. У подальшому послідовно знаходять значення v_2 і будують діаграму швидкості для всієї дороги.

Встановлюють коефіцієнти a , b , c на кожній ділянці (c – пов'язаний з поздовжнім ухилом та коефіцієнтом опору коченню, b – пов'язаний з силами

тертя деталей автомобіля, a – пов'язаний з силою тяги, з обтічністю автомобіля і втратою енергії на нерівностях проїзної частини).

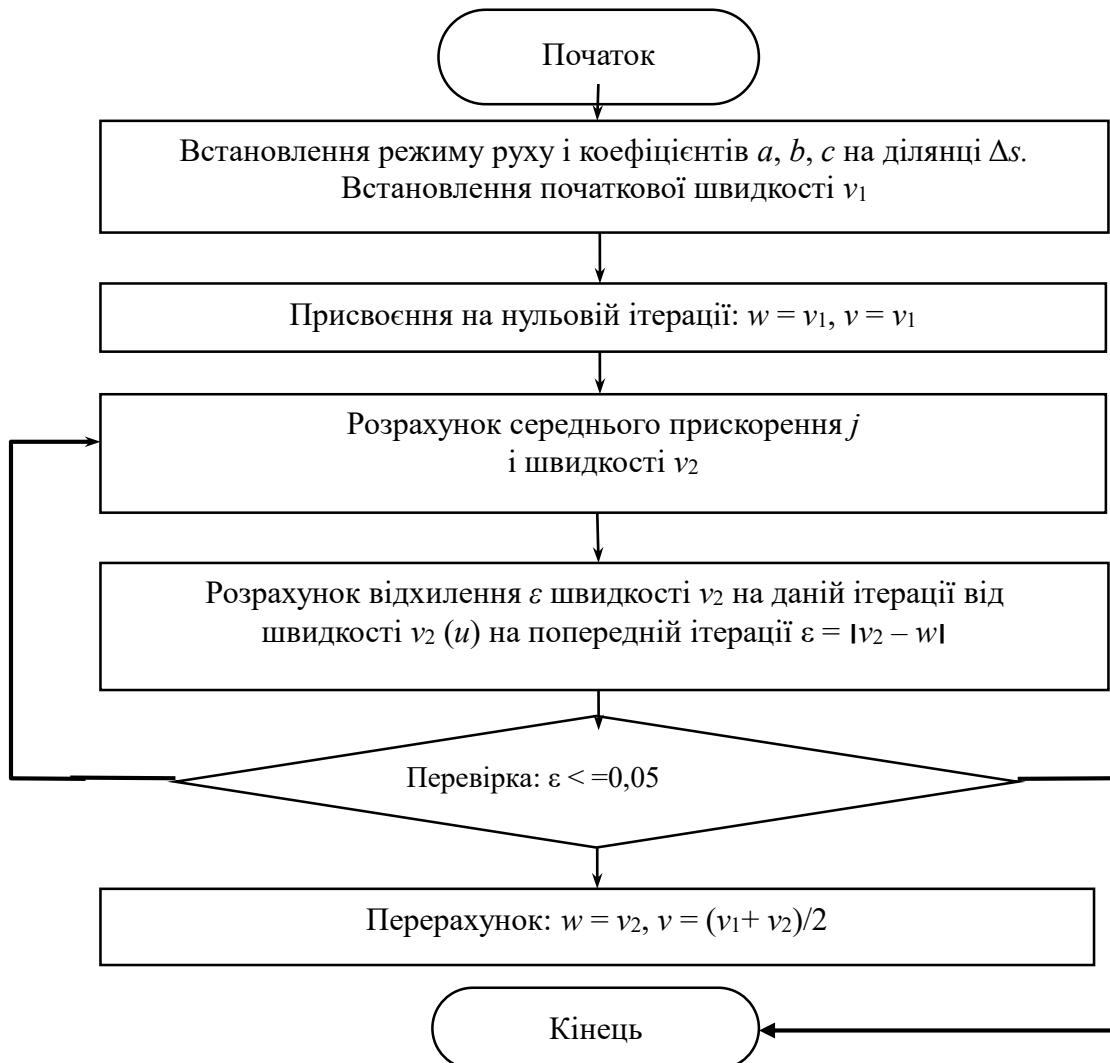


Рисунок 2 – Алгоритм ітераційного розрахунку епюри швидкості за схемою Ейлера

Отримані результати є вихідними даними для подальшого дослідження режимів руху транспортних потоків.

На двосмугових дорогах відомі наступні режими руху транспортних потоків: стаціонарний, перехідний без обгонів, перехідний з обгонами. Кожен із зазначених режимів описується диференційно – ймовірнісними рівняннями. Вихідними даними для їх рішення є (для кожного створу дороги) розподіл швидкостей під час вільного руху всіх автомобілів. Результатом рішення є розподіл швидкостей автомобілів при різних інтенсивностях транспортного потоку, за якими оцінюють рух транспортного потоку в часі і в просторі з узагальненням характеристик потоку в транспортній діаграмі.

Традиційно при рішенні рівнянь руху транспортних потоків параметри технічного рівня дороги приймають постійними, а параметри експлуатаційного стану такими, що властиві відповідному розрахунковому періоду моделювання.

Завдання моделювання режимів руху потоків і розрахунку швидкості при змінних дорожніх умовах досить складне і вирішується ітераційним способом з використанням емпіричних співвідношень.

При визначенні швидкості при змінних дорожніх умовах на кожній ділянці і для кожної моделі автомобіля швидкість є випадковою величиною з розрахованим середнім значенням v_{jcp} і дисперсією D_j або середньо-квадратичним відхиленням σ_j ($\sigma^2 = D$). При описанні ймовірнісних характеристик транспортного потоку запропоновано приймати, що розподіл швидкості в кожній групі j підпорядковано нормальному закону Гауса.

При відомому складі потоку загальна щільність розподілу ймовірностей швидкості $f(v)$ – це середньозважена щільність часткових щільностей $f_j(v)$:

$$f(v) = \sum_{j=1}^n s_j f_j(v), \quad (1)$$

де s_j – частина автомобілів j -ої групи у складі потоку,

n – кількість груп автомобілів.

Саме такі несиметричні неодномодальні загальні щільності ймовірностей прийняті в якості вихідних даних вільного руху для моделювання режимів транспортного потоку (рис. 3).

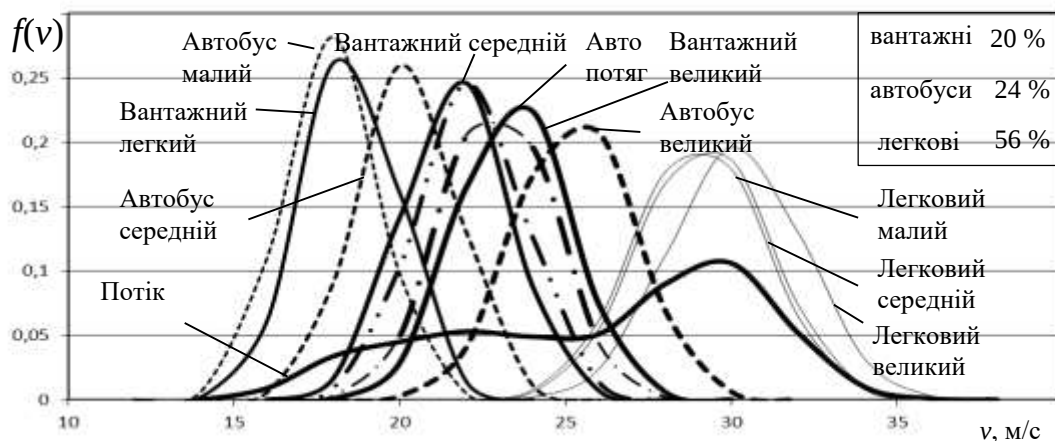


Рисунок 3 – Щільності ймовірності швидкості вільного руху всіх автомобілів у складі потоку

Загальновизнаним методом дослідження режимів руху транспортних потоків є метод імітаційного моделювання. Труднощі такого моделювання для вирішення поставлених у роботі завдань, обумовлені складністю і слабкою вивченістю перехідних процесів: при переходах від однієї ділянки дороги до іншої, від одного режиму руху до іншого.

З урахуванням моделювання вільного руху (В.І. Гук, В.В. Сільянов, В.В. Філіппов) в роботі розроблено та реалізовано алгоритми імітаційного моделювання, наведено приклади розрахунку швидкості вільного руху на різних ділянках дороги (рух на підйом, рух на спуску, проїзд криволінійної ділянки, рух по ділянці розгону тощо), а також здійснена модифікація програмного модуля *Dynatiska* та наведені результати моделювання. Модуль входить складовою

частиною в програму моделювання вільного руху *Road_1*. При моделюванні вільного руху в програмі *Road_1* можливо враховувати зміни в параметрах технічного рівня дороги, які відбуваються при її капітальному ремонті і змінюють швидкість автомобілів: розширення проїзної частини, збільшення кількості смуг руху на підйомах, перебудова простих перехрещень в кільцеві, благоустрій малих населених пунктів з влаштуванням смуг руху для місцевого (у тому числі сільськогосподарського) транспорту, тротуарів, підвищення рівності і зчіпних властивостей покриття тощо.

Результати моделювання вільного руху програмою *Road_1* записуються у файли з даними вільного руху в прямому і в зворотньому напрямках (*Stfor*), які служать вихідними даними для подальшого моделювання транспортного потоку.

Сукупність отриманих в роботі імовірнісних характеристик вільного руху автомобілів і руху в потоці є достатньою для достовірного опису якісних змін споживчих властивостей дороги протягом її життєвого циклу з урахуванням мінливості її експлуатаційних показників.

Четвертий розділ присвячений розробці математичної моделі розподілу нерівномірних інтервалів між автомобілями методами теорії ймовірності та експериментальному дослідженню діапазону тривалості здійснення обгонів на двосмугових дорогах загального користування.

На двосмугових дорогах найскладніший маневр автомобілів у транспортному потоці – це виїзд автомобіля на зустрічну смугу при обгоні. Моделювання руху транспортних потоків неможливе без аналізу і визначення безпечних дистанцій і інтервалів між транспортними засобами. Мінімально безпечна дистанція залежить насамперед від швидкості руху і дорожніх умов.

Величину динамічного габариту l_0 , як параметру, що впливає на розподіл інтервалів між автомобілями, найчастіше оцінюють по відстані, яку проходить автомобіль до повної зупинки перед перешкодою. Таке оцінювання виконують для нормування мінімальної відстані видимості дороги, для обґрунтування мінімальних радіусів вертикальних опуклих кривих та інших конструктивних рішень при проектуванні доріг. По суті, схожий підхід покладений в основу експертних розрахунків при розслідуванні ДТП. Аналіз цих розрахунків показав, що існуючий метод визначення динамічного габариту за довжиною шляху до зупинки не відповідає ситуаціям руху автомобілів у потоці.

Для оцінки величини динамічного габариту l_0 в дисертації досліджений масовий випадок, коли автомобіль (l_a) наздогнав передній автомобіль і для безпеки руху водій прийняв дистанцію $l_{бд}$ (від бампера свого автомобіля до заднього бампера переднього автомобіля). Таким чином, при швидкості v (м/с) та безпечному інтервалі $t_{бд}$ динамічний габарит:

$$l_0 = l_a + l_{аа} = l_a + v \cdot t_{аа} . \quad (2)$$

Величину безпечної дистанції $l_{бд}$ (яка дорівнює $v \cdot t_{бд}$) водій приймає такою, щоб не запізнитися з необхідним гальмуванням. Згідно загальноприйнятій практиці безпечного водіння час руху по відрізьку, що відповідає динамічному

габариту – це мінімально безпечний інтервал t_0 в часі між автомобілями в потоці, тобто:

$$t_0 = l_a / v + t_{aa}. \quad (3)$$

На двосмугових дорогах саме нерівномірність інтервалів між автомобілями дає можливість водіям істотно скорочувати час руху внаслідок наявності у зустрічних потоках інтервалів, достатніх для обгонів.

Таким чином, для адекватного моделювання руху транспортного потоку необхідно описувати розподіл нерівномірних інтервалів між автомобілями методами теорії ймовірності. Повну інформацію про розподіл інтервалів дає функція щільності розподілу ймовірностей. Традиційно розподіл інтервалів між автомобілями описують експоненціальним законом:

$$h(t) = qe^{-qt}, \quad (4)$$

де $h(t)$ – щільність розподілу ймовірностей інтервалів між автомобілями, q – інтенсивність потоку, авт/с, за відомої годинної інтенсивності $q = Q/3600$.

Згідно закону Пуассона ймовірність появи k автомобілів в інтервалі t :

$$p(k) = \frac{(pt)^k}{k!} e^{-pt}. \quad (5)$$

Приймаючи $k = 0$ (немає жодного автомобіля в інтервалі t) і враховуючи, що $0! = 1$, отримують $p(0) = e^{-pt}$ що збігається з ймовірністю:

$$P(\xi > t) = \int_t^{\infty} pe^{-p\xi} d\xi = e^{-pt}. \quad (6)$$

Модель розподілу інтервалів за Пуассоном не узгоджується з реальними умовами руху, оскільки припускає існування в потоці інтервалів менших динамічного габариту t_0 – заштрихована частина на рис. 4.

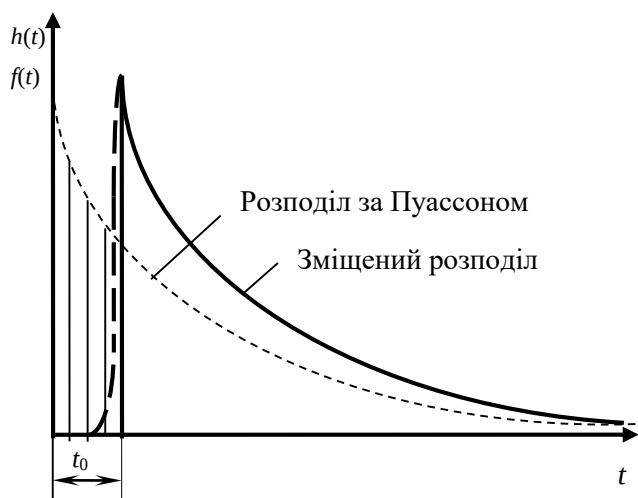


Рисунок 4 – Пуассонівський і зміщений розподіл інтервалів в потоці

Такі малі інтервали не відповідають критерію безпеки руху, отже необхідна інша більш адекватна модель, що не допускає існування інтервалів менш t_0 . Така модель може бути названа зміщеним експоненціальним розподілом (рис. 4). У розподілі за Пуассоном $t > 0$, а в зміщеному $t > t_0$. В зміщеному розподілі також присутня експоненціальна частина, що дозволяє записати вираз для щільності зміщеного розподілу у вигляді:

$$f(t) = q'e^{-q'(t-t_0)}, \quad (7)$$

де q' – параметр зміщеного розподілу, авт/с.

Така уточнена модель розподілу інтервалів дозволяє оцінити можливість виконання обгонів, що необхідно для подальшого моделювання руху транспортних потоків на ділянках доріг з різними дорожніми умовами.

Імовірність наявності у зустрічному потоці інтервалу $\tau_{обг}$ між автомобілями, достатнього для виконання обгону, знаходиться інтегруванням у відповідних межах:

$$p_{\tau_{обг}} = \int_{\tau_{обг}}^{\infty} q'_л e^{-q'_л(t-t_{0л})} dt = e^{-q'_л(\tau_{обг}-t_{0л})}, \quad (8)$$

де $t_{0л}$ – безпечний інтервал між автомобілями на зустрічній смузі при середній швидкості потоку на цій смузі $v_{л}$,

$q'_е$ – фіктивна інтенсивність потоку на зустрічній смузі.

Для розрахунку значень імовірності наявності в зустрічному потоці інтервалу $\tau_{обг}$ між автомобілями, достатнього для виконання обгону, попередньо знайдемо час обгону $t_{обг}$ згідно зі схемою обгону (рис. 5). На схемі позначено: 1 – автомобіль, що обганяє, 2 – автомобіль, що обганяють, 3 – зустрічний автомобіль; один верхній індекс – положення в момент початку обгону, два верхніх індекси – в його кінці.

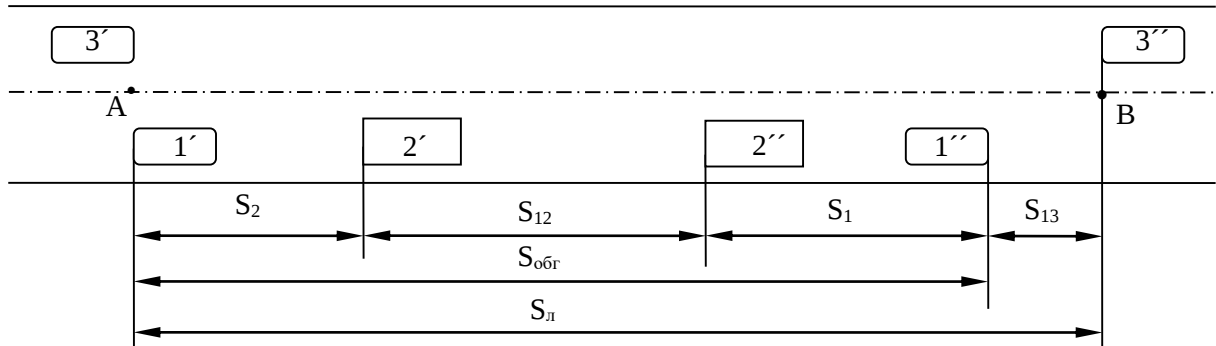


Рисунок 5 – Схема до розрахунку часу обгону

За час обгону $t_{обг}$ автомобіль, що обганяє, пройде шлях:

$$S_{1\hat{a}\hat{a}} = S_2 + S_{12} + S_1, \quad (9)$$

де $S_2 = v_2 \cdot t_0$ – дистанція яку проходить автомобіль, що обганяє, до положення на момент початку обгону;

$S_1 = v_1 \cdot t_0$ – дистанція, що проходить автомобіль, якого обганяють, до положення в момент закінчення обгону;

$S_{12} = v_1 \cdot t_{обг}$ – дистанція, пройдена автомобілем, що обганяє, за час обгону $t_{обг}$;

$S_{обг} = v_2 \cdot t_{обг}$ – дистанція, пройдена автомобілем, якого обганяють, за час обгону $t_{обг}$.

Для безпечного обгону повинна виконуватись умова: на відстані $S_{л}$ на зустрічній лівій смузі не повинно бути автомобілів зустрічного потоку (це

відстань від точки А, в якій розминулися автомобілі 2 і 3', до точки В, в якій знаходиться зустрічний автомобіль 3"). Величину безпечного інтервалу t_0 прийнято як середнє значення для всіх автомобілів потоку прямого напрямку при відомій його середній швидкості.

При обчисленні середнього значення $t_{обг}$ прийнято, що середня швидкість автомобіля, якого обганяють, $v_1 \approx 0,5(v_2 - v_{min})$. Зі швидкістю v_2 автомобіль обганяє усі автомобілі, швидкості яких нижче v_2 , в тому числі і самі тихохідні, швидкість яких знаходиться в діапазоні від v_{min} до v_2 . Спростуючи, тобто, приймаючи $v_{min} \approx 0$, отримаємо $v_1 \approx 0,5v_2$. Знайдемо $t_{обг} = t_0(v_2 + v_1)/(v_2 - v_1)$, а при $v_1 \approx 0,5v_2$ отримаємо $t_{обг} \approx 3t_0$. Враховуючи, що в кінці обгону між автомобілем, який обганяє, і зустрічним автомобілем, повинна бути забезпечена безпечна дистанція S_{13} (рис. 5), а також час, за який він пройде цю дистанцію, отримаємо величину інтервалу $\tau_{обг}$ між автомобілями в зустрічному потоці, достатнього для виконання обгону:

$$\tau_{1 \rightarrow 3} \approx 4t_0 = 4(l_d / v + 1 / \varphi). \quad (10)$$

Встановлено, що на величину цього інтервалу і ймовірність його наявності в потоці в основному впливають інтенсивність зустрічного потоку, його середня швидкість і зчіпні властивості проїзної частини.

Експериментальне визначення часу обгону «з очікуванням» транспортних засобів з різними швидкостями руху (в діапазоні від 50 км/год до 90 км/год) здійснювалось в реальних умовах на двосмугових дорогах загального користування Р-51 та двосмугових ділянках на дорогах М-18, М-03, М-20 в Харківській, двосмугових ділянках на дорогах М-18, Н-08 в Дніпропетровській і Р-37 та двосмугових ділянках на дорогах М-18, Н-08 в Запорізькій областях. Маневри обгонів «з очікуванням» відбувалися на сухому, а також на вологому покритті в денний час легковим автомобілем з дизельним двигуном на ділянках з нульовим ухилом. В результаті експерименту були отримані емпіричні значення часу обгонів різних автомобілів при заданих умовах. Для підтвердження достовірності розроблених алгоритмів та адекватності запропонованої моделі була виконана обробка результатів вимірювань методами математичної статистики. У кожній швидкісній групі емпіричні значення розподілені нормально за критерієм Колмогорова–Смірнова. Це дозволило визначити діапазон тривалості обгону для заданих умов, який відповідає 95-відсотковому довірчому інтервалу.

П'ятий розділ присвячено розробленню математичної моделі функціонування автомобільної дороги з урахуванням закономірностей руху автомобілів і транспортних потоків на двосмугових дорогах та зміни їх транспортно-експлуатаційних характеристик протягом життєвого циклу.

Відомо, що режим руху автомобіля на конкретній ділянці дороги водій встановлює в процесі сприйняття дорожньої обстановки. На прийнятий режим руху в першу чергу впливають показники технічного рівня автомобільної дороги та її експлуатаційного стану. В розроблених алгоритмах моделювання окрім закономірностей теорії руху автомобілів враховані закономірності обмеження швидкості руху. До параметрів що впливають на обмеження швидкості руху

відносяться: радіуси кривизни, відстань видимості, ширина проїзної частини, ширина і тип узбіччя тощо. Жоден з цих параметрів самостійно не визначає можливу швидкість руху на даній ділянці дороги. Всі параметри технічного рівня і показники експлуатаційного стану визначають режим руху в комплексі. До максимально можливих швидкостей відносять також обмеження, обумовлені правилами дорожнього руху і технічними засобами організації руху (допустима швидкість в населеному пункті, швидкість, що обмежена знаками, тощо).

Основним результатом моделювання руху транспортних потоків в задачах обґрунтування проектного рішення автомобільної дороги слід вважати швидкість руху як усього потоку, так і основних його груп. Швидкості руху окремих груп автомобілів і потоку в цілому залежать від багатьох причин і внаслідок цього є випадковими величинами, що служать підставою для їх визначення методами теорії ймовірності. Для вирішення завдань моделювання руху транспортних потоків достатню інформацію про швидкість руху дають розподіли ймовірностей її значень або щільності цих ймовірностей в кожній точці траєкторії руху автомобілів уздовж дороги.

В роботі для розробки математичної моделі позначимо для заданої точки дороги в заданому напрямку руху (прямий або зворотній): $f_j(v)$ – щільності ймовірностей швидкості вільного руху кожної j -ої групи у складі потоку, $f(v)$ – загальна щільність ймовірностей швидкості вільного руху всіх автомобілів (всіх груп) у складі потоку, $F(v)$ і $F_j(v)$ – розподіл, такий, що $f(v) = F'(v)$ і $f_j(v) = F_j'(v)$. Для швидкості в потоці (менше вільної) введемо аналогічні позначення щільностей $\varphi(v)$ і $\varphi_j(v)$ та функцій розподілу $\Phi(v)$ і $\Phi_j(v)$.

Згідно законів розподілу випадкових величин, відомими методами теорії ймовірності можна знайти потрібні швидкості – середню швидкість вільного руху всіх автомобілів у складі потоку:

$$v_{\text{ср}} = \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} v f(v) dv \quad \text{або} \quad v_{\text{ср}} = \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} (1 - F(v)) dv, \quad (11)$$

та середню швидкість потоку розрахункової інтенсивності та середню швидкість j -ої групи в потоці:

$$v_Q = \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} v \varphi(v) dv \quad \text{або} \quad v_Q = \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} (1 - \Phi(v)) dv, \quad \text{та} \quad v_{j,Q} = \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} v \varphi_j(v) dv, \quad (12)$$

де $\Phi(v)$ – розподіл швидкості в потоці.

Значення $f_j(v)$ – щільності ймовірностей швидкості вільного руху кожної j -ої групи у складі потоку, отримані при моделюванні вільного руху. При цьому на кожному пікеті автомобільної дороги розраховані середні значення $v_{j,\text{ср}}$ та середньоквадратичні відхилення σ_j , за якими і знаходяться значення $f(v)$ і $f_j(v)$. Розподіл ймовірностей $F_j(v)$ та $F(v)$ отримано чисельним інтегруванням відповідних щільностей:

$$F_j(v) = \int_{v_{\min}}^v f_j(u) du, \quad F(v) = \int_{v_{\min}}^v f(u) du. \quad (13)$$

Моделюванням руху автомобілів у потоці описані типові ситуації взаємодії водіїв, які прагнуть швидше досягти пункту призначення при безумовній безпеці руху. Результат таких взаємодій призводить до зниження швидкості автомобіля в потоці, порівняно зі швидкістю вільного руху. Випадковий характер швидкості вільного руху, обумовлений неоднорідністю складу потоку і випадковість виникнення різних ситуацій в потоці призводять до перетворення розподілу ймовірності швидкості вільного руху $F(v)$ в розподіл ймовірності $\Phi(v)$ швидкості в потоці. Для знаходження розподілів ймовірностей швидкості в потоці необхідна залежність розподілу ймовірностей $\Phi(v)$ швидкості в потоці від розподілу ймовірностей швидкості вільного руху $F(v)$. Для знаходження потрібної залежності $\Phi(v)$ від $F(v)$ діапазон варіювання швидкості вільного руху від $v_{\min}$ до $v_{\max}$ розбито на групи з інтервалом Δv . Ймовірність того, що автомобіль будь-якого типу v рухається зі швидкістю вільного руху, позначений $P(v)$. Ця ймовірність дорівнює 1 лише для самих тихохідних автомобілів (їм ніхто не заважає), а із зростанням бажаної швидкості руху ймовірність $P(v)$ зменшується тим більше, чим більше інтенсивність потоку.

Швидкість руху автомобіля типу v в потоці є випадковою величиною і може бути рівною швидкості вільного руху v або менше її, тобто, рівною u , так, що $u < v$ при невірному русі. У потоці швидкість руху в межах від v до $v + \Delta v$, матиме лише частина автомобілів типу v , яка становить $f(v) \cdot P(v) \cdot \Delta v$.

Зі швидкістю руху в межах від v до $v + \Delta v$ буде рухатись також частина автомобілів типу w , швидкість вільного руху яких більше v . Відносне число таких автомобілів у потоці становить $1 - F(v)$. Щільність ймовірностей швидкості в потоці та розподіл ймовірностей швидкості в потоці має вигляд:

$$\varphi(v) = f(v)P(v) - (1 - F(v))P'(v) \text{ та } \Phi(v) = 1 - (1 - F(v))P(v). \quad (14)$$

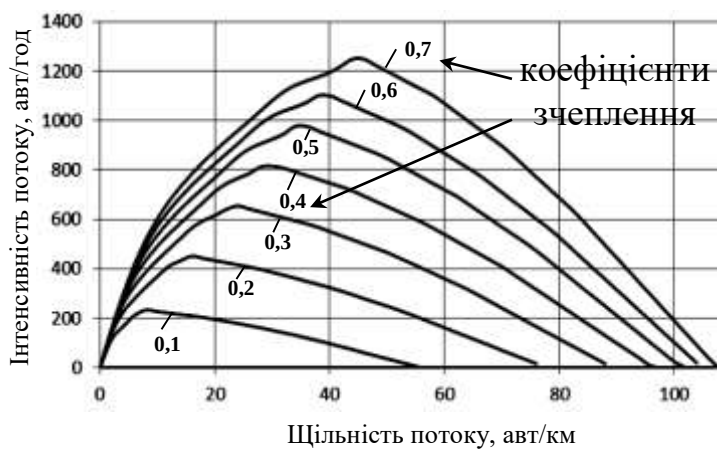


Рисунок 6 – Транспортні діаграми стаціонарного режиму потоку

Завдання моделювання руху транспортних потоків і знаходження залежностей $F(v)$, $\Phi(v)$ і $P(v)$ ускладнюється тим, що їх характер залежить від зміни дорожніх умов протягом усього маршруту.

За результатами моделювання можливо оцінювати пропускну здатність автомобільної дороги. Модель адекватно функціонує в повному діапазоні зміни як щільності, так і інтенсивності потоку від

мінімальних до максимальних значень, що переконує в її придатності оцінювати роботу автомобільної дороги протягом життєвого циклу.

Результати дослідження транспортних діаграм вказують на істотне зниження пропускної здатності з погіршенням зчіпних властивостей проїзної частини автомобільної дороги (рис.6).

Згідно з положеннями теорії дослідження операцій, досліджуваний автомобіль типу v , в будь-якій точці дороги – це система S , і типові її дискретні стани S_1 , S_2 та S_3 , в яких може перебувати система S , визначені наступним чином:

S_1 – рух з бажаною швидкістю (швидкістю вільного руху) по своїй смузі, коли дистанція до переднього автомобіля достатня, щоб не знижувати швидкість нижче бажаного значення v ;

S_2 – рух по своїй смузі зі швидкістю $u < v$, тобто менше бажаної, коли автомобіль типу v наздогнав передній автомобіль і водій змушений знизити швидкість руху через неможливість обгону;

S_3 – рух автомобіля типу v по зустрічній смузі при обгоні.

Ймовірності того, що на дорозі в точці x система S знаходиться в стані S_1 , S_2 , S_3 позначені як p_1 , p_2 , p_3 ; очевидно, що $p_1 + p_2 + p_3 = 1$. Зі стану в стан досліджуваний автомобіль переходить у відповідності з типовими ситуаціями взаємодії водіїв у транспортному потоці.

Всі переходи зі стану в стан в реальному потоці відбуваються з пониженням або підвищенням швидкості з прискоренням (уповільненням) приблизно до $2-3 \text{ м/с}^2$, але не більше $\varphi \cdot g$ (екстремні прискорення і уповільнення $\varphi \cdot g$ застосовуються в небезпечній дорожньо-транспортній ситуації, φ – коефіцієнт зчеплення шини з дорожнім покриттям, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$). З підвищенням швидкості виконуються обгони «з очікуванням», а обгони «з ходу» – практично без зниження швидкості. У математичній моделі прийнято, що досліджуваний автомобіль виконує обгін в середньому зі швидкістю вільного руху.

З урахуванням викладених особливостей руху транспортного потоку для його математичної моделі застосована схема марковського випадкового процесу з дискретними станами і безперервним простором. В процесі з безперервним простором вірогідність переходу із стану в стан точно в точці x дорівнюють нулю. Тому згідно методології ланцюгів Маркова замість цих ймовірностей введені щільності ймовірностей переходів. Щільність ймовірності переходу визначається як межа відношення ймовірності переходу системи на ділянці дороги Δx , наприклад, зі стану S_1 в стан S_2 , до довжини інтервалу Δx :

$$\lambda_{12} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P_{12}(\Delta x)}{\Delta x}, \quad (15)$$

де $P_{12}(\Delta x)$ – ймовірність того, що система, яка перебувала в точці x в стані S_1 , на ділянці Δx перейшла до стану S_2 .

Таким чином $P_{12}(\Delta x) \approx \lambda_{12}\Delta x$. Аналогічно $P_{13}(\Delta x) \approx \lambda_{13}\Delta x$, $P_{23}(\Delta x) \approx \lambda_{23}\Delta x$, $P_{31}(\Delta x) \approx \lambda_{31}\Delta x$.

Прийняті допущення і позначення дозволили скласти систему диференціальних рівнянь Колмогорова для ймовірностей p_1, p_2, p_3 станів S_1, S_2, S_3 любого автомобіля в потоці:

$$\begin{cases} p'_1 = -\lambda_{12}p_1 - \lambda_{13}p_1 + \lambda_{31}p_3 \\ p'_2 = -\lambda_{23}p_2 + \lambda_{12}p_1 \\ p'_3 = -\lambda_{31}p_3 + \lambda_{13}p_1 + \lambda_{23}p_2. \end{cases} \quad (16)$$

Відмінною особливістю системи рівнянь (16) є те, що ними можна описати режим руху транспортного потоку для будь-яких дорожніх умов на двосмугових дорогах загального користування.

На окремих ділянках двосмугових доріг з додатковою третьою смугою формуються наступні режими руху потоку: стаціонарний на більшій частині трисмугової ділянки, коли всі ймовірності p_1, p_2, p_3, p_4 постійні; перехідний від ділянки з двома смугами до початку трисмугової ділянки; перехідний наприкінці трисмугової ділянки:

$$\begin{cases} p'_1 = -\lambda_{12}p_1 - \lambda_{13}p_1 + \lambda_{31}p_3 + \lambda_{41}p_4 \\ p'_2 = -\lambda_{23}p_2 + \lambda_{12}p_1 \\ p'_3 = -\lambda_{31}p_3 + \lambda_{13}p_1 + \lambda_{23}p_2 - \lambda_{34}p_4 \\ p'_4 = -\lambda_{41}p_3 + \lambda_{34}p_3. \end{cases} \quad (17)$$

На ділянці стаціонарного режиму рух сталий, інтенсивності подій, що переводять систему S зі стану в стан, розподілені за Пуассоном, що відповідає незмінності дорожніх умов і постійній інтенсивності потоків автомобілів як на правій $Q_{\text{п}}$ так і на зустрічній $Q_{\text{л}}$ смугах руху. У цьому випадку ймовірності p_1, p_2 і p_3 прагнуть до граничних значень. Для їх вирішення виразимо ймовірності p_2 і p_3 через p_1 :

$$p_2 = p_1\lambda_{12} / \lambda_{23}; \quad p_3 = p_1(\lambda_{12} + \lambda_{13}) / \lambda_{31}, \quad (18)$$

Підставимо p_2 і p_3 в умову $p_1(1 + \lambda_{12} / \lambda_{23} + (\lambda_{12} + \lambda_{13}) / \lambda_{31}) = 1$ та отримаємо рішення для p_1 :

$$p_1 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23}} + \frac{\lambda_{12} + \lambda_{13}}{\lambda_{31}}}, \quad (19)$$

остаточне рішення для p_2 и p_3 :

$$p_2 = \frac{1}{z} \cdot \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23}}, \quad p_3 = \frac{1}{z} \cdot \frac{\lambda_{12} + \lambda_{13}}{\lambda_{31}}, \quad (20)$$

Раніше прийнято, що на ділянці стаціонарного режиму швидкість обгону в середньому дорівнює швидкості вільного руху, і тому ймовірність вільного руху $P(v)$ – це сума ймовірностей p_1 і p_3 або $1 - p_2$.

На ділянці автомобільної дороги з неможливими обгонами можливі лише переходи зі стану S_1 в стан S_2 , переходи в стан S_3 неможливі і тому ймовірність $p_3 = 0$ і $\lambda_{13} = 0$. Тому процес руху потоку описується системою:

$$\begin{cases} p'_1 = -\lambda_{12} p_1 \\ p'_2 = -\lambda_{23} p_2 + \lambda_{12} p_1. \end{cases} \quad (21)$$

Для розрахунку швидкості автомобіля в потоці досить знати ймовірність вільного руху $P(v) = p_1$. Вирішуючи перше рівняння:

$$P(v) = Ce^{-x\lambda_{12}}, \quad (22)$$

де x – відстань від початку ділянки з неможливими обгонами.

Константа C знаходиться із початкової умови $x = 0$, з якої слідує $C = P_0(v)$, тобто $P_0(v)$ – ймовірність вільного руху на попередній ділянці. Таким чином:

$$P(v) = P_0(v)e^{-x\lambda_{12}}. \quad (23)$$

Для моделювання перехідного режиму з обгонами в системі рівнянь (16) виразимо ймовірність p_2 через p_1 і p_3 ($p_2 = 1 - p_1 - p_3$). Виключимо з системи (16) середнє рівняння і отримаємо процес руху потоку в перехідному режимі:

$$\begin{cases} p'_1 = -\lambda_{12} p_1 - \lambda_{13} p_1 - \lambda_{31} p_3 \\ p'_3 = -\lambda_{31} p_3 + \lambda_{13} p_1 + \lambda_{23}(1 - p_2 - p_3). \end{cases} \quad (23)$$

Для знаходження p_1 та p_3 доцільне чисельне рішення системи (23). Для виконання рішення перетворимо (23):

$$\begin{cases} \frac{dp_1}{dx} = f(x, p_1, p_3) \\ \frac{dp_3}{dx} = \varphi(x, p_1, p_3). \end{cases} \quad (24)$$

Початкові умови: $p_1 = p_{10}$, $p_3 = p_{30}$, при $x = x_0$. Визначимо, що $f(x_0, p_{10}, p_{30}) = f_0$, $\varphi(x_0, p_{10}, p_{30}) = \varphi_0$. Тоді, перше наближення є:

$$\begin{aligned} p_{11} &= p_1(x_0 + \Delta x) = p_{10} + f_0 \Delta x \\ p_{31} &= p_3(x_0 + \Delta x) = p_{30} + \varphi_0 \Delta x. \end{aligned} \quad (25)$$

Використовуючи перше наближення, знаходимо значення похідних в точці $x_1 = x + \Delta x$:

$$\begin{aligned} \left. \frac{dp_1}{dx} \right|_{x=x_0+\Delta x} &= f_1 = f(x_0 + \Delta x, p_{11}, p_{31}), \\ \left. \frac{dp_3}{dx} \right|_{x=x_0+\Delta x} &= \varphi_1 = \varphi(x_0 + \Delta x, p_{11}, p_{31}). \end{aligned} \quad (26)$$

і середні величини похідних в проміжку Δx :

$$\begin{aligned}\bar{f} &= \frac{1}{2}(f_0 + f_1), \\ \bar{\varphi} &= \frac{1}{2}(\varphi_0 + \varphi_1).\end{aligned}\quad (27)$$

Друге наближення:

$$\begin{aligned}p_{12} &= p_{10} + \bar{f}\Delta x, \\ p_{32} &= p_{30} + \bar{\varphi}\Delta x.\end{aligned}\quad (28)$$

Трьох наближень достатньо, а якщо різниця між p_{13} і p_{12} або між p_{33} та p_{32} відчутна, аналогічно знаходять четверте і наступні наближення.

Отже, дослідженнями встановлено, що для будь-якої ділянки автомобільної дороги, вирішуючи відповідні системи диференціальних рівнянь Колмогорова, можна визначити вид режиму руху транспортного потоку. Це дає можливість характеризувати структуру транспортного потоку і виділити в ньому частини, в які входять автомобілі, що рухаються вільно, колонами, «чергами», групами, або виконують обгін, тощо. Така структура відповідає раніше викладеному представленню про будь-який автомобіль транспортного потоку, який є системою S з типовими дискретними станами. При відомих ймовірностях цих станів, як функцій швидкості руху v , можна кількісно характеризувати кожен складову частину транспортного потоку в бажаній точці дороги. При відомій інтенсивності потоку Q авт/год, складові частини потоку Q_1 , Q_2 і Q_3 (авт/год) знаходяться інтегруванням по всіх автомобілях потоку:

$$Q_1 = Q \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} p_1(v)\varphi(v)dv; Q_2 = Q \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} p_2(v)\varphi(v)dv; Q_3 = Q \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} p_3(v)\varphi(v)dv, \quad (29)$$

де $\varphi(v)$ – щільність ймовірностей швидкості в потоці.

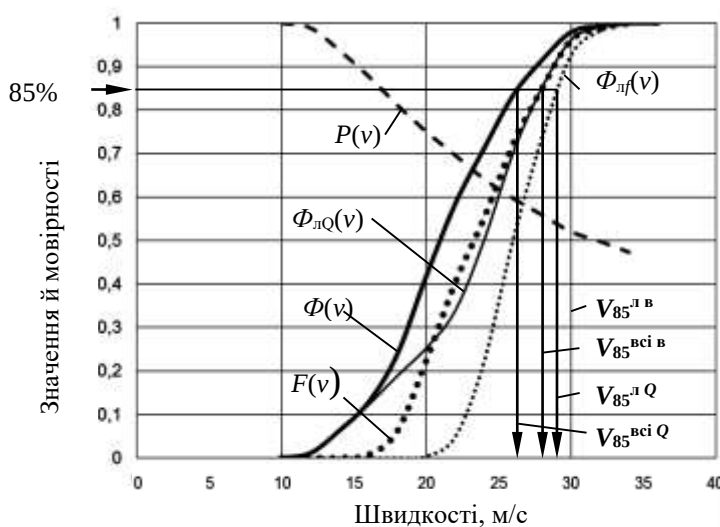


Рисунок 7 – Визначення швидкостей 85% забезпеченості

Теоретичні та алгоритмічні можливості розробленого методу моделювання руху транспортних потоків дозволяють знаходити значення швидкості 85% забезпеченості (рис. 7). Швидкості 85% забезпеченості на рис. 7 позначені: $V_{85}^{Всі В}$ – всіх автомобілів при вільному русі, $V_{85}^{Всі Q}$ – всіх автомобілів в потоці при інтенсивності 600 авт/год, $V_{85}^{Л В}$ – тільки легкових автомобілів при вільному русі, $V_{85}^{Л Q}$ – тільки легкових автомобілів в потоці при інтенсивності 600 авт/год.

Вирішення цієї задачі можливе лише при відомому розподілі швидкості в потоці $\Phi(v)$, що забезпечується алгоритмом моделювання.

У завданнях пошуку проектного рішення автомобільної дороги при її проектуванні або плануванні експлуатаційних заходів необхідно оцінювати і порівнювати основні показники функціонування дороги, в тому числі: транспортні витрати як в цілому, так і за видами витрат, а також характеристики режимів руху транспортних потоків та окремих типових груп потоку.

Грунтуючись на результатах аналізу динаміки експлуатаційного стану автомобільних доріг розроблено алгоритми урахування змінних значень індексу експлуатаційного стану в міжремонтні строки. Встановлено рівень впливу зміни зчіпних властивостей проїзної частини на основні транспортні показники. Для оцінки показників руху транспортних потоків в міжремонтні строки необхідно моделювання руху автомобілів і транспортних потоків в проектних рішеннях з виявленням ділянок дороги, на яких унаслідок знижених коефіцієнтів зчеплення прогнозуються втрати швидкості і часу руху, збільшення числа ДТП, перевитрата пального.

Результати моделювання функціонування ділянок автомобільної дороги в періоди зниження рівності і зчіпних властивостей проїзної частини при різних значеннях інтенсивності руху показують (рис. 8) наступне.

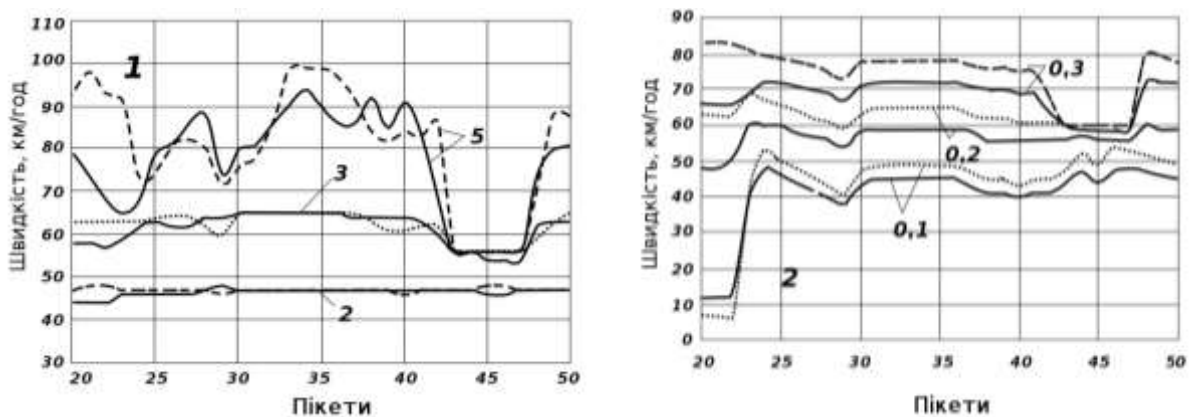


Рисунок 8 – Графічні результати моделювання в періоди зниження рівності (1) і зчіпних властивостей проїзної частини (2)

При незадовільній рівності (2), швидкості автомобілів в потоці не перевищують значень 49 км/год. З підвищенням рівності до задовільної (3), середня швидкість зростає в середньому на 32 %, порівняно зі швидкостями при незадовільній рівності. З підвищенням рівності до відмінної (5) і з поліпшенням зчіпних властивостей, швидкості автомобілів в потоці закономірно і істотно зростають, порівняно з попередніми експлуатаційними станами.

При сніговому накаті (0,2) середні швидкості вільного руху прямого напрямку на ділянці не піднімаються вище за значення 60 км/год, при ожеледі (0,1) відповідно середні швидкості знаходяться в діапазоні значень від 12 до 47 км/год, а максимальні на рівні 59 км/год. При коефіцієнті зчеплення 0,3 середні швидкості вільного руху прямого напрямку зростають, порівняно з ожеледдю і сніговим накатом, і знаходяться в межах від 59 до 72 км/год, а максимальні – від 60 до 83 км/год.

Узагальнюючи аналіз результатів моделювання можна зробити висновок про достатню доствірність математичної моделі функціонування автомобільної дороги з урахуванням закономірностей руху автомобілів і транспортних потоків на двосмугових дорогах та зміни їх транспортно-експлуатаційних характеристик протягом життєвого циклу.

У шостому розділі викладені практичні аспекти використання результатів досліджень, серед яких центральне місце займає розроблене алгоритмічно-програмне забезпечення для моделювання функціонування автомобільної дороги протягом її життєвого циклу. Програмне забезпечення дозволяє повною мірою відслідковувати процес функціонування дороги, як нелінійної системи із змінними параметрами.

В програмному продукті реалізовано сутність методології цільового пошуку проектних рішень шляхом врахування сукупності дорожніх умов, тобто показників технічного рівня та експлуатаційного стану автомобільних доріг, які змінюються як за періодами року, так і протягом міжремонтних строків; враховано принцип моделювання за показниками режимів руху всіх типових автомобілів, що входять до складу розрахункового потоку для всіх характерних ділянок дороги зі своїми дорожніми умовами. Модель функціонування автомобільної дороги представлено у вигляді складної системи, яка організована об'єднанням внутрішніх параметрів елементів системи, зовнішніх параметрів середовища та вихідних параметрів системи.

Внутрішніми параметрами елементів системи є: автомобілі (власна маса, вантажопідйомність, коефіцієнт використання вантажопідйомності і пробігу, потужність та об'єм двигуна, радіус колеса, фактор опору повітря, передавальні числа коробки зміни передач, вартість автомобіля, нормативні витрати на технічні обслуговування, зарплата водіїв тощо); автомобільна дорога (параметри технічного рівня, експлуатаційного стану, дорожня обстановка).

Як зовнішні параметри середовища прийняті: інтенсивність руху, темп її зростання, склад транспортних потоків (формуються економічним ступенем тяжіння до дороги прилеглих територій і транзитних транспортних потоків); коефіцієнти зменшення та збільшення інтенсивності по періодах року; частина потоків, що рухається у світлі фар по періодах року; тривалість протягом року сезонів ожеледиці, снігопаду, бездоріжжя, туманів різної інтенсивності, значення метеорологічної видимості проїзної частини в сезонні особливості періодів року; тривалість світлового дня в годинах за періодами року, тощо.

Результатом моделювання є: дані про дорогу (категорія, протяжність, тощо); план ремонтів протягом розрахункового строку служби; для кожного року, періодів і сезонів року в прямому і зворотньому напрямках деталізовані попідкетні розрахунки швидкостей за всіма типами автомобілів розрахункового транспортного потоку, як вільного руху, так і руху при заданій інтенсивності; щільності потоку; середні швидкості потоку; швидкості при русі в світлий час доби і в світлі фар; вірогідність здійснення і кількості обгонів; швидкості потоку в періоди зниження рівності і зміни зчіпних властивостей проїзної частини; витрати палива в залежності від динаміки дорожніх умов; показники технічного

рівня і експлуатаційного стану по кожному варіанту проектного рішення; динаміка зміни показників експлуатаційного стану дороги по ділянках і по роках протягом життєвого циклу.

Програмний продукт є потужним інструментом для прийняття рішення про вибір проектного рішення для подальшої реалізації на стадії розробки проектів будівництва, реконструкції або капітального ремонту автомобільних доріг.

Алгоритмічно-програмні розробки в частині моделювання функціонування автомобільної дороги впродовж життєвого циклу впроваджені в блок оцінки проектів доріг комплексу програмних продуктів *CREDO-II* та прийняті до реалізації в системі *ДОРОГИ* комплексу *CREDO-III* для модернізованої автоматизованої оцінки проектних рішень доріг загального користування.

Розроблені програмні продукти були використані і продовжують використовуватися для автоматизованої оцінки проектних рішень автомобільних доріг Держаним підприємством «Український державний інститут з проектування об'єктів дорожнього господарства» та його філіями при розробці проектів реконструкції автомобільних доріг державного значення. За період 2012–2015 рр. модернізована оцінка проектних рішень знайшла застосування в проектах автомобільних доріг М-01 «Київ – Чернігів – Нові Яриловичі» на ділянці км.18+000 – км.99+000; М-03 «Київ – Харків – Довжанський» на ділянках км.164+500 – км.170+500, км.210+000 – км.300+550, км.323+000 – км.329+050, км.333+800 – км.347+200; М-05 «Київ – Одеса» на ділянці км.36+500 – км.42+000; М-06 «Київ – Чоп» на ділянках км.14+080 – км.128+000, км.129+600 – км.151+730, км.154+400 – км.177+400; Н-01 «Київ – Знам'янка» на ділянці км.14+740 – км.43+435, а також інших доріг державного і місцевого значення загальною протяжністю понад 1000 км в різних регіонах України (рис. 9).



Рисунок 9 – Впровадження результатів досліджень в проектах реконструкції та капітального ремонту ділянок автомобільних доріг

Результати досліджень широко використовуються в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті в навчальному процесі при підготовці фахівців за напрямом «Будівництво» спеціальності «Автомобільні

дороги та аеродроми» в лекційних курсах, практичних заняттях та в дипломному проектуванні при виконанні дипломних робіт спеціалістів і магістрів.

Розрахована очікувана соціально-економічна ефективність, яка базується на грошовій оцінці заощадження часу перебування пасажирів в дорозі складає 25693 грн/рік на 1 км шляху.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу, узагальнення та систематизації існуючих результатів досліджень встановлено загальні закономірності зміни режимів руху автомобілів і транспортних потоків на двосмугових автомобільних дорогах загального користування з урахуванням мінливості показників експлуатаційного стану останніх протягом життєвого циклу. Ці закономірності прийняті як теоретична основа для розробки методології цільового пошуку проектних рішень автомобільних доріг.

2. Для формування цільової функції щодо пошуку проектних рішень обґрунтовано та запропоновано комплекс основних критеріїв, серед яких за результатами моделювання транспортних потоків та аналізу імовірнісних характеристик руху автомобілів в потоці прийнятий критерій швидкості 85-% забезпеченості.

3. На основі результатів експериментальних досліджень обґрунтовано величини безпечного інтервалу і безпечної дистанції між транспортними засобами при русі в транспортному потоці за умовами безпеки руху. Вперше обґрунтовано та розроблено модель зміщеного розподілу ймовірності інтервалів в транспортному потоці в залежності від величини динамічного габариту при умові взаємодії автомобілів в транспортному потоці. Встановлено, що нерівномірність розподілу інтервалів між транспортними засобами впливає на можливість здійснення маневру обгону, підвищення швидкості руху і скорочення часу в дорозі внаслідок наявності в зустрічному потоці певних інтервалів за умовами безпечного обгону.

4. На основі моделі зміщеного розподілу ймовірності інтервалів в транспортному потоці розроблено алгоритм та комп'ютерну програму для оцінки безпечних інтервалів і дистанцій між автомобілями. Експериментальні дослідження на двосмугових автомобільних дорогах загального користування підтвердили адекватність і працездатність запропонованого алгоритму, а також верифікована тривалість маневру обгону на двосмугових ділянках доріг М-18, М-03, М-20, Н-08, Р-37 в Харківській, Дніпропетровській і Запорізькій областях.

5. На основі узагальнення рівнянь руху автомобіля за різних режимів удосконалена математична модель визначення швидкості вільного руху на двосмугових дорогах загального користування, складено алгоритм та розроблена відповідна комп'ютерна програма. Встановлено, що перехід до безперервного розподілу швидкостей при моделюванні руху транспортних засобів безпосередньо впливає на зміну показника тривалості перебування в дорозі.

6. Основні положення моделювання вільного руху автомобілів реалізовані в програмному модулі *Dynamica*, який входить складовою частиною в блок автоматизованої оцінки проектних рішень автомобільних доріг комплексу програмних продуктів *CREDO*, широко поширених в проектних організаціях дорожньої галузі і в учбових закладах України, Білорусі, Росії, країн Середньої Азії.

7. Дістала подальшого розвитку модель руху транспортних потоків, що реалізована як частина загальної методології цільового пошуку проектних рішень двосмугових автомобільних доріг. Результати розв'язання методами теорії дослідження операцій складеної системи диференціальних рівнянь Колмогорова, використані для вирішення задач моделювання транспортних потоків на двосмугових автомобільних дорогах. Теоретично обґрунтована можливість встановлення імовірнісного місцезнаходження будь-якого автомобіля в структурі транспортного потоку на двосмугових дорогах, а також на ділянках з трьома смугами руху.

8. На основі результатів імітаційного моделювання руху транспортних потоків запропоновано для вирішення завдань організації руху, в періоди зростання інтенсивності, здійснювати побудову транспортних діаграм та визначати основні характеристики транспортних потоків залежно від показників експлуатаційного стану автомобільної дороги.

9. За результатами дисертаційного дослідження розроблено алгоритмічно-програмне забезпечення для моделювання процесу функціонування автомобільної дороги впродовж життєвого циклу. Розроблена модель об'єднує в собі показники технічного рівня, експлуатаційного стану та зовнішні параметри системи «автомобіль – водій – автомобільна дорога». Результати моделювання дозволяють здійснювати спрямований пошук проектних рішень двосмугових автомобільних доріг загального користування.

10. Теоретичні та алгоритмічні розробки в частині моделювання функціонування автомобільної дороги впродовж життєвого циклу впроваджені в блок оцінки проектів доріг комплексу програмних продуктів *CREDO-II* та прийняті до реалізації в системі *ДОРОГИ* комплексу *CREDO-III* для модернізованої автоматизованої оцінки проектних рішень доріг загального користування.

11. Результати досліджень були використані і продовжують використовуватись у вигляді модернізованої спеціалізованої комп'ютерної програми *Road_1* ДП «Український державний інститут з проектування об'єктів дорожнього господарства» при розробці проектів реконструкції автомобільних доріг державного значення: М-01 «Київ – Чернігів – Нові Яриловичі» на ділянці км.18+000 – км.99+000; М-03 «Київ – Харків – Довжанський» на ділянках км.164+500 – км.170+500, км.210+000 – км.300+550, км.323+000 – км.329+050, км.333+800 – км.347+200; М-05 «Київ – Одеса» на ділянці км.36+500 – км.42+000; М-06 «Київ – Чоп» на ділянках км.14+080 – км.128+000, км.129+600 – км.151+730, км.154+400 – км.177+400; Н-01 «Київ – Знам'янка» на ділянці км.14+740 – км.43+435, а також інших доріг державного і місцевого значення

загальною протяжністю понад 1000 км. Розрахована очікувана соціально-економічна ефективність, яка базується на грошовій оцінці заощадження часу перебування пасажирів в дорозі, складає 25693 грн/рік на 1 км шляху.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

– *Монографія:*

Смирнова Н.В. Моделирование транспортных потоков на дорогах II–IV категорий: монография / Н.В. Смирнова, В.В. Филиппов. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 200 с.

– *Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Смірнова Н.В. Функціональні властивості перехідної кривої змінної швидкості руху / В.В. Філіппов, Г.В. Величко, Н.В. Смірнова // Автошляховик України. – 2008. – № 4. – С. 27–28.

2. Смірнова Н.В. Порівняння перехідних кривих змінної швидкості руху / В.В. Філіппов, Г.В. Величко, Н.В. Смірнова // Науковий вісник будівництва. – 2008. – Вип. 47 – С. 365–371.

3. Смірнова Н.В. Прогнозування розвитку мережі автомобільних доріг при різних рівнях фінансування / В.В. Філіппов, Н.В. Смірнова, В.К. Жданюк, Е.Д. Прусенко // Вестник ХНАДУ. – 2008. – Вип. 47. – С. 90–96.

4. Смирнова Н.В. Автоматизированное проектирование в дорожном строительстве / Н.В. Смирнова, Д.А. Мансура // Науковий вісник будівництва. – 2008. – Вип. 48. – С. 272–276.

5. Смирнова Н.В. Оценка влияния неровностей дорожных покрытий на безопасность движения / Н.В. Смирнова, В.В. Филиппов, Д.И. Кияшко // Вестник ХНАДУ. – 2009. – Вип. 44. – С. 63–65.

6. Смирнова Н.В. Комплекс CREDO – автоматизированное проектирование в дорожном строительстве / Н.В. Смирнова, Д.А. Мансура // Вестник ХНАДУ. – 2009. – Вип. 44. – С. 96–98.

7. Смірнова Н.В. Особливості порівняння конструкцій нежорсткого дорожнього одягу з різною довговічністю / В.К. Жданюк, В.В. Філіппов, Н.В. Смірнова // Автошляховик України. – 2011. – № 3. – С. 25–29.

8. Смірнова Н.В. Недоліки оцінки рівності поверхні дорожніх покриттів, яку використовують в Україні / В.В. Філіппов, В.Я. Савенко, Д.І. Кіяшко, Р.В. Смолянюк, Н.В. Смірнова // Автошляховик України. – 2011. – № 6. – С. 24–31.

9. Смирнова Н.В. Инновационные технологии проектирования объектов транспортного строительства в программном комплексе CREDO / Н.В. Смирнова, Н.В. Павленко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 88. – С. 32–38.

10. Смирнова Н.В. Основные зависимости режимов движения транспортных потоков на участках дорог с невозможными обгонами / Н.В. Смирнова // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 89. – С. 256–264.

11. Смирнова Н.В. Вариантное выравнивание проезжей части с расчетом объемов по каждому варианту в проектах ремонта и реконструкции автомобильных дорог / Н.В. Смирнова, Д.И. Кияшко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 90. – С. 89–96.
12. Смирнова Н.В. Моделирование режимов движения транспортных потоков на дорогах II–IV категорий / Н.В. Смирнова, В.В. Филиппов // Науковий вісник будівництва. – 2013. – Вип. 73. – С. 351–359.
13. Смирнова Н.В. Особенности решения уравнений движения автомобилей в задачах проектирования дорог / Н.В. Смирнова // Науковий вісник будівництва. – 2014. – Вип. 75. – С. 178–180.
14. Смирнова Н.В. Оценка качества проекта дороги моделированием движения транспортных потоков / Н.В. Смирнова // Автошляховик України. – 2014. – № 1. – С. 44–48.
15. Смирнова Н.В. Обобщение уравнений движения автомобилей для расчета скорости свободного движения / Н.В. Смирнова, Д.Н. Леонтьев // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2014. – Вип. 34. – С. 44–48.
16. Смірнова Н.В. Вплив інтервалів та дистанцій між автомобілями у транспортному потоці на пропускну здатність автомобільних доріг / Н.В. Смірнова // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – 2014. – Вип. 46. – С. 505–511.
17. Смирнова Н.В. Аналіз проектів автомобільних доріг за критерієм швидкості / Н.В. Смирнова // Автошляховик України. – 2014. – Вип. 2. – С. 44–48.
18. Смирнова Н.В. Особенности движения транспортных потоков в периоды снижения ровности и сцепных свойств проезжей части / Н.В. Смирнова // Автошляховик України. – 2014. – Вип. 3. – С. 36–40.
19. Смирнова Н.В. Основные положения расчета зависимости расхода топлива от дорожных условий / Н.В. Смирнова // Науковий вісник будівництва. – 2014. – Вип. 77. – С. 226–230.
20. Смірнова Н.В. Аналіз режимів руху в задачах проектування та експлуатації автомобільних доріг / Н.В. Смірнова, Д.М. Леонтьєв // Автошляховик України. – 2014. – № 5. – С. 23–25.
21. Смирнова Н.В. Алгоритм моделирования движения транспортных потоков при заданном эксплуатационном состоянии дороги / Н.В. Смирнова // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: зб. наук. пр. – 2014. – Вип. 92. – С. 218–225.
22. Смірнова Н.В. Обґрунтування залежності витрати пального від дорожніх умов / В.В. Філіппов, Н.В. Смірнова, Д.М. Леонтьєв // Автошляховик України. – 2015. – № 1–2. – С. 46–49.
23. Смирнова Н.В. Закономерности изменения расхода топлива в течение жизненного цикла дороги / Н.В. Смирнова, А.И. Воронков // Науковий вісник будівництва. – 2015. – Вип. 80. – С. 281–285.

24. Смирнова Н.В. О зависимости расхода топлива и влиянии на него скорости движения автомобиля и дорожных условий / В.В. Филиппов, Н.В. Смирнова, Д.Н. Леонтьев // Вестник ХНАДУ. – 2014. – Вип. 47. – С. 7–12.

25. Смирнова Н.В. Моделирование транспортных потоков на участках с тремя полосами движения / Н.В. Смирнова // Науковий вісник будівництва. – 2015. – Вип. 81. – С. 201–205.

26. Смирнова Н.В. Применение BIM-технологий в задачах целевого поиска проектных решений автомобильных дорог / Н.В. Смирнова // Автошляховик України. – 2015. – № 5. – С. 47–49.

– *Публікації у наукових періодичних виданнях інших держав та апробаційного характеру*

27. Смирнова Н.В. Общий метод анализа воздействия проектных и эксплуатационных неровностей проезжей части дорог на колебания автомобиля / Н.В. Смирнова // Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог: материалы международной научно-технической конференции молодых ученых и аспирантов. – 2008. – С. 56–61.

28. Смирнова Н.В. Методы проектирования капитального ремонта и реконструкций автомобильных дорог на основе цифрового моделирования / Н.В. Смирнова, В.А. Масальский // Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог: материалы международной научно-технической конференции молодых ученых и аспирантов. – 2008. – С. 62–66.

29. Смирнова Н.В. Розвиток методів трасування автомобільних доріг з використанням САПР / Н.В. Смирнова // Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов: материалы международной научно-практической конференции с участием студентов и молодых ученых. – 2012. – С. 290–295.

30. Смирнова Н.В. Моделирование режимов движения транспортных потоков на участках дорог с невозможными обгонами / Н.В. Смирнова // Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management: 16th Conference for Lithuania Junior Researches, 2013, Vilnius (Lithuania): Proceedings. – Vilnius: Technique, 2013. – С. 326–329.

31. Смирнова Н.В. Моделирование движения транспортных потоков и расчет показателей функционирования дороги / Н.В. Смирнова // Матеріали 75-ї студентської наукової конференції та 77-ї науково-методичної конференції. – 2013. – С. 102–105.

32. Смирнова Н.В. Характеристики скорости свободного движения для моделирования движения транспортных потоков / В.В. Филиппов, Н.В. Смирнова // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений: сб. докладов международной научно-практической конференции. – 2013. – Т. 1. – С. 401–405.

33. Смирнова Н.В. Расчеты скорости свободного движения для моделирования транспортных потоков / В.В. Филиппов, Н.В. Смирнова // Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – 2013. – С. 57–61.

34. Смирнова Н.В. Имитационное моделирование свободного движения / Н.В. Смирнова // Міське середовище – ХХІ сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн: матеріали І міжнародного науково практичного конгресу. – 2014. – С. 123–124.

35. Смирнова Н.В. Распределение вероятностей интервалов в транспортном потоке / Смирнова Н.В. // Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management: 17th Conference for Lithuania Junior Researches, 2014, Vilnius (Lithuania): Proceedings. – Vilnius: Technique, 2014. – С. 269–272.

36. Смирнова Н.В. Особенности изменения дорожных условий при движении транспортного потока на основе силового баланса автомобиля / Н.В. Смирнова, Д.Н. Леонтьев // Новейшие технологии развития конструкции, производства, эксплуатации, ремонта и экспертизы автомобиля: сборник тезисов международной научно-практической конференции по случаю Дня автомобилиста и дорожника. – 2014. – С. 66.

37. Смірнова Н.В. Особливості формування бази ґрунтів для автоматизованої оцінки стійкості укосів земляного полотна / Н.В. Смірнова, Д.В. Гаманець // Покращення конструктивних, технологічних та експлуатаційних показників автомобільних доріг і штучних споруд на них в дослідженнях студентів і молодих науковців: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – 2014 – С. 113–115.

38. Smirnova N.V. Determination of the minimum safe distance depending on the speed and road conditions / Smirnova N.V. // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Modern Scientific Achievements and Their Practical Application (October 20–22, 2014)». – Dubai.: Post Publishing, 2014. – С. 64–68.

39. Смирнова Н.В. Зависимость минимально безопасной дистанции от скорости и дорожных условий / Н.В. Смирнова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – Пермский национальный исследовательский политехнический университет ПНИПУ. – 2014. – Вип. 2. – С.65–77.

40. Смирнова Н.В. Анализ зависимостей расхода топлива от скорости движения и ровности проезжей части / Н.В. Смирнова, А.И. Воронков // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Scientific and Practical Results in 2014. Prospects for Their Development, Vol. 1 (December 22– 24, 2014, Dubai, UAE)». – Dubai.: Post Publishing, 2014. – С. 66–71.

41. Смирнова Н.В. Решение проблемы оптимизации проектов дорог по критерию скорости движения / Н.В. Смирнова // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2014. – Вип. 2(52). – С. 70–75.

42. Смирнова Н.В. Обоснование структуры дисконтированных затрат на ремонты и реконструкцию автомобильных дорог в зависимости от особенностей

сезонов в течение года эксплуатации дороги / Н.В. Смирнова // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Modern Methodology of Science and Education, Vol. II (May 20– 21, 2015, Dubai, UAE)». – Dubai.: Rost Publishing, 2015. – С. 71–76.

43. Смирнова Н.В. Решение задач имитационного моделирования транспортных потоков на сложных участках двухполосных дорог общего пользования / Н.В. Смирнова // Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті. – Наукові праці міжнародної науково-практичної конференції. – 2015. – С. 159–160.

АНОТАЦІЯ

Смирнова Н.В. Методологія цільового пошуку проектних рішень двосмугових автомобільних доріг загального користування. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – «Автомобільні шляхи та аеродроми» – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2016.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми пошуку проектних рішень доріг загального користування в полі показників її транспортно-експлуатаційних характеристик протягом життєвого циклу. Актуальною проблемою в дисертаційному дослідженні є теоретичне та практичне вирішення процесів взаємодії автомобілів, що складають транспортні потоки, в дорожніх умовах, які змінюються згідно з динамікою експлуатаційного стану протягом експлуатації об'єкта.

У дисертаційній роботі методами імітаційного моделювання протягом розрахункового життєвого циклу експлуатації автомобільної дороги моделюється зміна показників технічного рівня дороги і її експлуатаційного стану. Пошук закономірностей зміни швидкості автомобілів і транспортних потоків протягом життєвого циклу автомобільної дороги заснований відповідно до закономірностей зміни показника індексу експлуатаційного стану.

Обґрунтовано та експериментально підтверджено закономірності розподілу ймовірностей інтервалів в транспортному потоці, що дозволило оцінити тривалість маневрів обгонів.

Результати досліджень дозволили розробити принципово нові методи оцінки якості автомобільної дороги за всіма можливими швидкостями 85-% забезпеченості.

Розроблено алгоритмічно-програмне забезпечення для моделювання процесу функціонування дороги впродовж життєвого циклу.

Ключові слова: транспортний потік, моделювання функціонування дороги, життєвий цикл, швидкість руху, транспортно-експлуатаційні характеристики, параметри технічного рівня та експлуатаційного стану.

АННОТАЦИЯ

Смирнова Н.В. Методология целевого поиска проектных решений двухполосных автомобильных дорог общего пользования. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.22.11 – «Автомобильные дороги и аэродромы» – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению методологической проблемы направленного поиска проектных решений дорог общего пользования в поле показателей транспортно-эксплуатационных характеристик в течение жизненного цикла. Актуальной проблемой в диссертационном исследовании является теоретическое и практическое решение процессов взаимодействия автомобилей, составляющих транспортные потоки, с сооружениями дороги в дорожных условиях, изменяющихся согласно динамике эксплуатационного состояния в процессе эксплуатации объекта.

В диссертационной работе методами имитационного моделирования в течение жизненного цикла эксплуатации дороги моделируется изменение по годам межремонтных сроков, показателей технического уровня дороги и ее эксплуатационного состояния, а обеспеченность ресурсами для эксплуатации дорог коррелирует с реальным уровнем финансирования дорожной отрасли. Поиск закономерностей изменения скорости автомобилей и транспортных потоков в течение жизненного цикла дороги основан на моделировании динамики эксплуатационного состояния в соответствии с закономерностями изменения показателя индекса эксплуатационного состояния. Неоднородность состава транспортного потока обуславливает необходимость детальной оценки скорости как всего потока, так и основных его групп и подгрупп.

В диссертации впервые исследованы закономерности движения транспортного потока в дорожных условиях, определяемых показателями технического уровня дороги и её эксплуатационного состояния, что позволяет описывать любой режим движения транспортного потока для различных дорожных условий на дорогах общего пользования. Обоснованы и экспериментально подтверждены закономерности распределения вероятностей интервалов между автомобилями в потоке, что позволило создать уточненную модель смещенного экспоненциального распределения интервалов, позволившая оценить возможность выполнения обгонов при моделировании движения транспортных потоков на участках дорог с различными дорожными условиями.

Результаты исследований позволили разработать принципиально новые методы оценки соответствия качества дороги по всем возможным скоростям 85- % обеспеченности, основанные на моделировании транспортных потоков на основе теории исследования операций с расчетом вероятностных характеристик движения автомобилей в потоке.

Впервые разработаны алгоритмы исследования процессов функционирования автомобильной дороги по удовлетворению потребности в безопасных и экономичных перевозках в течение её жизненного цикла, что позволило разработать соответствующий программный продукт.

Ключевые слова: транспортный поток, моделирование функционирования дороги, жизненный цикл, скорость движения, транспортно-эксплуатационные характеристики, параметры технического уровня и эксплуатационного состояния.

ABSTRACT

Smirnova N.V. – The methodology of the project solution target search for two-lane public roads. – Manuscript.

The dissertation for the degree of doctor of technical sciences, specialty 05.22.11 – Highway and airports. – The Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkov, 2016.

The dissertation is devoted to solving methodological problems of directional finding for public roads' design solution in the field of transport indicators of performance throughout the lifecycle. The actual problem of research provided is a theoretical and practical decision processes of cars interaction, constituting the traffic flows from road constructions in real road conditions through the vehicles theory patterns.

For the first time movement patterns of traffic flow in real road conditions, defined by technical parameters of the road and its operational status allowing one to describe any mode of movement of traffic flow for typical traffic conditions on the roads were studied. Regularities of probability distribution of intervals between vehicles in the flow were substantiated and confirmed experimentally. Thereby creation of improved model of shifted exponential distribution of intervals allowed to assess the ability to perform overtaking in traffic flows on different road conditions. The research results allowed to develop innovative methods for roads quality assessment compliance on all possible speed of 85-percent of availability, based on traffic flows modeling with the help of theory of operations research with the calculation of probability characteristics of the vehicles in the flow.

For the first time algorithms of highway functioning study to meet the need for safe and economic transportation for its life from the time of construction to reconstruction through a series of current and capital repairs were developed. That allowed the development an appropriate software.

Keywords: traffic, road operation simulation, life cycle, speed, transport and operation characteristics, technical level parameters.

Підписано до друку _____ р. Формат 60 × 84 1/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman Сур. Віддруковано на різнографі
Ум.друк. арк. 1,9.
Зам. № _____. Тираж 100 прим. Ціна договірна

ВИДАВНИЦТВО
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Видавництво ХНАДУ, 61002, Харків-МСП, вул. Петровського, 25.
Тел. /факс: (057)700-38-64; 707-37-03, e-mail: rio@khadi.kharkov.ua

Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення
та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції, серія ДК №897 від 17.04 2002 р.