

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДОДУХ КАТЕРИНА МИХАЙЛІВНА

УДК 625.711.1

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОЇ
ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ НА ДВОСМУГОВИХ АВТОМОБІЛЬНИХ
ДОРОГАХ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі проектування доріг, геодезії та землеустрою Національного транспортного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

кандидат технічних наук, доцент

Пальчик Анатолій Миколайович,

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України, професор
кафедри проектування доріг, геодезії та
землеустрою

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент

Смірнова Наталія Володимирівна,

Харківський національний автомобільно-дорожній
університет Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри будівництва та експлуатації
автомобільних доріг

кандидат технічних наук, доцент

Шилова Тетяна Олександрівна,

Київський національний університет будівництва і
архітектури Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри міського будівництва

Захист відбудеться «___» _____ 2018 року о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, аудиторія 333.

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

Автореферат розісланий «___» _____ 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.І. Каськів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зі збільшенням інтенсивності руху на автомобільних дорогах України виникає необхідність проведення аналізу умов руху та розроблення заходів по їх покращенню.

Перехрещення та примикання є важливими структурними елементами автомобільної дороги, інтенсивність руху на яких має великий вплив на інтенсивність руху ділянкою автомобільної дороги між ними.

В існуючих методах розрахунку інтенсивності руху на автомобільних дорогах недостатньо враховується вплив перехрещень і примикань на одному рівні, що не дає можливості обґрунтувати доцільність проведення повної або часткової реконструкції автомобільної дороги.

Вирішення цієї задачі пов'язане з визначенням максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги між перехрещеннями та примиканнями з урахуванням їх впливу, середньої швидкості руху та складу транспортного потоку, що дає можливість визначити необхідність проведення часткової або повної реконструкції ділянки дороги.

Удосконалення методу розрахунку максимальної інтенсивності є актуальною і важливою науковою задачею, що потребує подальшого дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження теоретичного та прикладного характеру виконані за планами Міністерства освіти і науки України, науково-дослідних робіт у Національному транспортному університеті «Удосконалення методів проектування та реконструкції автомобільних доріг» державний реєстраційний номер 0106 U000699, «Удосконалення принципів і методів проектування, реконструкції та паспортизації доріг» державний реєстраційний номер 0111 U010362 та згідно тематичного плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Державної служби автомобільних доріг України «Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг» державний реєстраційний номер 0109 U008510.

Метою досліджень є удосконалення методу розрахунку максимальної інтенсивності руху на двосмугових автомобільних дорогах з урахуванням перехрещень та примикань на одному рівні для підвищення ефективності функціонування автомобільних доріг.

Для досягнення вказаної мети необхідно **вирішити наступні задачі:**

1. Провести аналіз існуючих методів розрахунку максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі.

2. Розробити закономірності зміни максимальної інтенсивності та швидкості руху смугою автомобільної дороги в різних дорожніх умовах та при різному складі транспортного потоку.

3. Удосконалити метод розрахунку максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги між суміжними перехрещеннями та примиканнями.

4. Розробити методику визначення періоду ефективного функціонування автомобільної дороги на ділянці між перехрещеннями і примиканнями та підвищення максимальної інтенсивності руху.

Об'єктом дослідження є рух транспортного потоку на автомобільних дорогах.

Предметом дослідження є максимальна інтенсивність руху на двосмугових автомобільних дорогах.

Методи дослідження. У рамках дисертаційної роботи застосовувались, методи математичної статистики та теорії імовірності для аналітичного описання колонного руху транспортного потоку, експериментальні дослідження для визначення залежності «інтенсивність – швидкість» та середньої швидкості руху транспортного потоку в різних дорожніх умовах.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Визначено залежність максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги від середньої швидкості руху та складу транспортного потоку, що дає можливість встановити граничне значення інтенсивності руху без зміни геометричних параметрів автомобільної дороги.

2. Встановлено вплив перехрещень і примикань на одному рівні на інтенсивність руху на двосмугових автомобільних дорогах, що дає можливість визначити максимальну інтенсивність руху не тільки на автомобільній дорозі, але і на окремих її ділянках між суміжними перехрещеннями і примиканнями.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні рекомендацій для визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах з урахуванням проектування перехрещень і примикань на одному рівні, які можуть застосовуватись в техніко-економічних обґрунтуваннях необхідності часткової або повної її реконструкції.

Розроблено методику підвищення продуктивності роботи автомобільної дороги за рахунок зміни параметрів автомобільної дороги, яка дозволяє визначити період функціонування автомобільної дороги від будівництва до її реконструкції.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у проектних організаціях підпорядкованих Державній службі автомобільних доріг України, розроблений відомчий документ М 218 – 02070915 – 674 : 2010 «Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг».

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно [2, 4, 9, 11]. У спільних публікаціях автором досліджено зміну максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги [1, 8], досліджено залежності середньої швидкості руху транспортного потоку на основі середньої швидкості вільного руху автомобілів з урахуванням впливу геометричних елементів автомобільної дороги та складу транспортного потоку [6], вивчено вплив деяких елементів доріг на безпеку руху [3], обґрунтовано основні принципи удосконалення методу розрахунку максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах [5, 7, 10].

Апробація результатів дисертації: Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на Міжнародній науково-технічній

конференції «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів» (2010 р., м. Харків, ХНАДУ), Міжнародній науково-практичній конференції за участю студентів та молодих вчених «Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів» (2012 г., м. Харків, ХНАДУ); 15-й Міжнародній науково-практичній конференції «Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики» (2013 р., м. Київ); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції International Scientific and Practical Internet Conference. World Science. (September 22-24, 2014. Dubai, UAE) та на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та структурних підрозділів Національного транспортного університету (2009 – 2017 рр. м. Київ, НТУ)

Публікації. За результатами досліджень автором опубліковано 11 робіт, з них п'ять в наукових фахових виданнях, одна стаття у закордонному та п'ять в наукових виданнях апробаційного характеру, а також п'ять тез в матеріалах конференцій та отримано одне авторське право.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг 238 сторінок, з них 140 сторінок основного тексту, який містить 39 рисунків та 34 таблиці, список використаних джерел із 119 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і завдання дослідження, викладені наукова новизна і практична цінність одержаних результатів.

У першому розділі виконано детальний аналіз існуючих методів розрахунку максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах.

Розробкою методів розрахунку максимальної інтенсивності руху займалися Лобанов Є.М., Сільянов В.В., Ф. Хейт, Д.Дрю, Біруля О.К., Хом'як Я.В., Поліщук В.П., Білятинський А.А., Гуков М.І., Трибунський В.М., Пальчик А.М., Красніков А.М., Кероглу Л.А., Калужський Я.А., Вуліс Д.А., Філіпов В.В., Смірнова Н.В., Красільнікова О.В., Неізнестна Н.В. та інші.

Основними методами розрахунку максимальної інтенсивності руху транспортного потоку є:

1. Методи понижуючих коефіцієнтів теоретичної пропускної здатності, які дозволяють визначити максимальну інтенсивність руху на автомобільній дорозі або окремих її елементах без урахування пропускної здатності перехрещень та примикань. Недоліком цього методу є неможливість визначити інтенсивність руху на ділянці дороги між перехрещеннями та примиканнями. Розбіжність результатів розрахунку максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги згідно даних методів від 200 до 600 авт/год.

2. Методи визначення максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги на основі функціональних залежностей моделей транспортного потоку «інтенсивність – швидкість». Недоліком цього методу є

відсутність врахування впливу перехрещень та примикань на інтенсивність руху. Ці методи визначають тільки максимальне значення інтенсивності руху смугою дороги при середній швидкості руху та при частковому урахуванні складу транспортного потоку. Розбіжність отриманих результатів – від 200 до 400 авт/год.

3. Методи, які ґрунтуються на використанні функціональних залежностей «інтенсивність – швидкість» отриманих на основі експериментальних досліджень. Розбіжність отриманих результатів розрахунку – від 100 до 300 авт/год.

Проведений аналіз розрахунку максимальної інтенсивності руху різними методами показав велику розбіжність значень інтенсивності руху для конкретного значення швидкості руху (рис. 1), що обумовлює необхідність удосконалення методу визначення максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги.

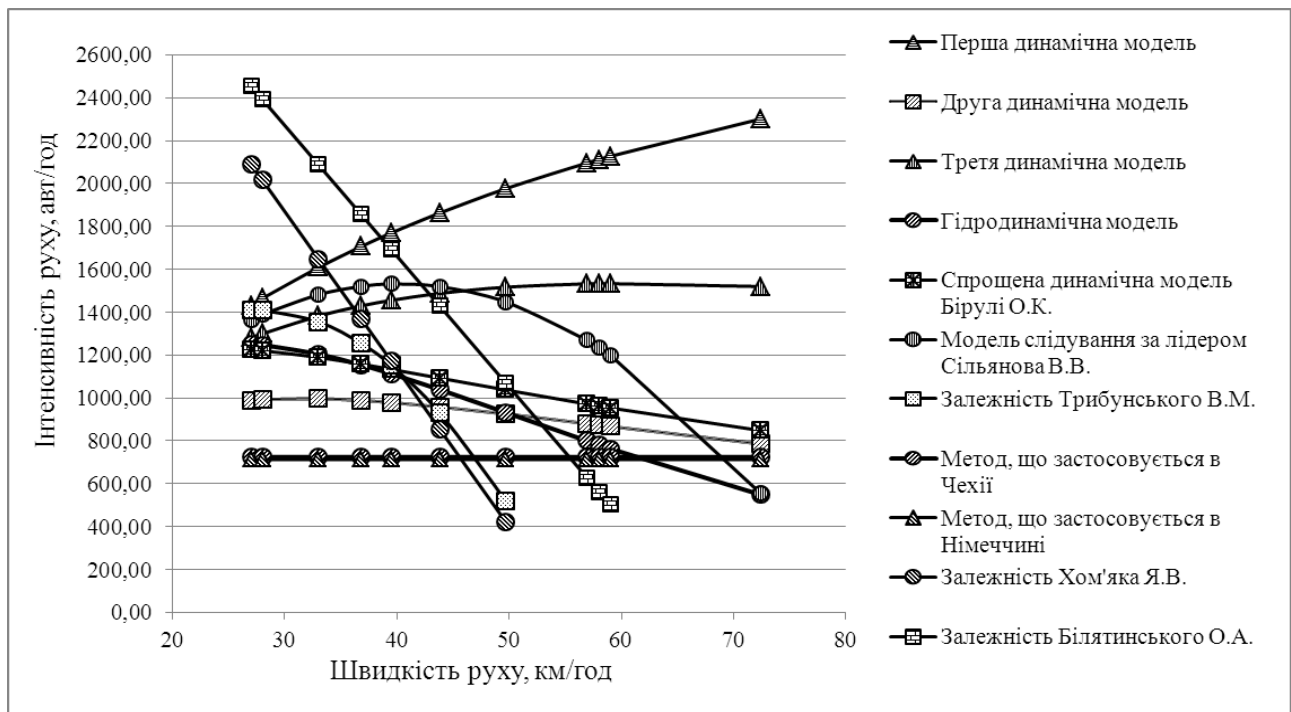


Рисунок 1 – Інтенсивність руху на основі існуючих методів розрахунку

Для визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі потрібно визначити середню швидкість руху транспортного потоку на всіх ділянках автомобільної дороги. Існує декілька груп залежностей для визначення середньої швидкості руху транспортного потоку на автомобільній дорозі :

1. Визначення середньої швидкості руху з урахуванням інтенсивності руху, складу транспортного потоку та параметрів автомобільної дороги.

2. Визначення мінімальної швидкості з урахуванням інтенсивності руху, категорії дороги, радіусів горизонтальних кривих, поздовжніх похилів та рівності покриття.

Проведений аналіз середньої швидкості руху транспортного потоку на автомобільній дорозі четвертої категорії на основі існуючих залежностей виявив велику розбіжність отриманих результатів, що обумовлює необхідність

подальшого розвитку залежностей та методів визначення середньої швидкості руху транспортного потоку.

Другий розділ присвячений теоретичним дослідженням максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі або на її ділянці з урахуванням впливу перехрещень і примикань на одному рівні для підвищення ефективності функціонування автомобільної дороги.

В дисертаційній роботі під терміном «ефективність функціонування автомобільної дороги» із забезпеченням максимальної інтенсивності руху мається на увазі, період часу від будівництва до реконструкції, за який інтенсивність руху на цій дорозі досягне максимального значення.

Якщо розглядати максимальну інтенсивність руху на автомобільній дорозі в цілому, то її можна представити як функцію, що залежить від інтенсивності руху на окремих її структурних елементах (перегонах, перехрещеннях і примиканнях). Таким чином, максимальна інтенсивність руху на автомобільній дорозі в цілому або на її конкретній ділянці визначається мінімальним значенням із множини інтенсивностей руху на структурних елементах автомобільної дороги і може бути представлена залежністю:

$$N_{\partial} = f(N_{p,i}, N_{np,i}, N_{nep,i}), \quad (1)$$

де N_{∂} – максимальна інтенсивність руху на ділянці дороги або на дорозі в цілому;

$N_{p,i}$ – максимальна інтенсивність руху на перегоні між i -тим перехрещенням та i -тим примиканням;

$N_{np,i}$ – інтенсивність руху на примиканні, що знаходиться на ділянці автомобільної дороги;

$N_{nep,i}$ – інтенсивність руху на перехрещенні, що знаходиться на ділянці автомобільної дороги.

Максимальна інтенсивність руху на перегоні визначається значенням інтенсивності руху транспортного потоку у перерізі між суміжними перехрещеннями і примиканнями у прямому і зворотному напрямі.

Для визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі були проведені експериментальні дослідження, під час яких встановлювалась максимальна інтенсивність руху смугою автомобільної дороги з урахуванням швидкості руху та складу транспортного потоку, інтенсивність руху на перехрещеннях і примиканнях та на перегонах між суміжними перехрещеннями і примиканнями на ділянці автомобільної дороги в прямому і зворотному напрямку.

Дослідження проводилися на двосмугових автомобільних дорогах II – IV категорій.

Умова забезпечення ефективного функціонування автомобільної дороги описується нерівністю:

$$0 \leq N_{p,i} \leq N_{nep(np),i}, \quad (2)$$

$$0 \leq N_{nep(np),i} \leq N_{cp,i} \quad (3)$$

де $N_{p, i}$ – інтенсивність руху на перегоні з урахуванням перехрещень і примикань;

$N_{nep(np),i}$ – інтенсивність руху на перехрещенні чи примиканні;

N_{cp} – інтенсивність руху смугою автомобільної дороги.

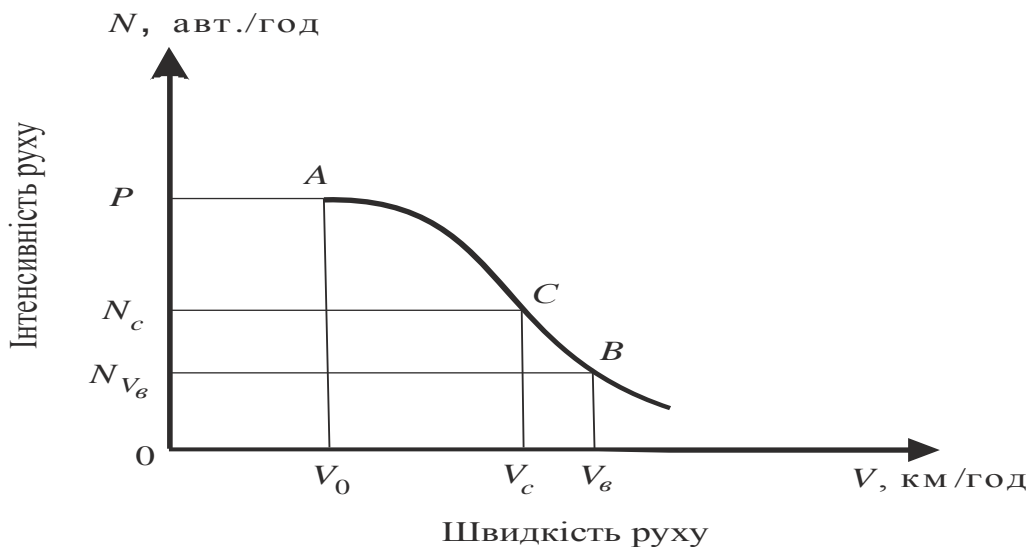
Область застосування залежності «інтенсивність – швидкість» знаходиться в межах від мінімального значення, яке відповідає колонному руху автомобілів при середній швидкості вільного руху до значення пропускної здатності при мінімальному інтервалі руху (рис. 2):

$$N_{V_0} \leq N_{max} \leq N_P \quad (4)$$

де N_{V_0} – інтенсивність руху при середній швидкості вільного руху;

N_{max} – максимальна інтенсивність руху при середній швидкості руху для визначеного складу транспортного потоку;

N_P – інтенсивність руху, що відповідає пропускній здатності.



V_0 – середня швидкість руху, що відповідає пропускній здатності;

V_0 – середня швидкість вільного руху;

V_c – середня швидкість руху при інтенсивності N_c .

Рисунок 2 – Графік зміни максимальної інтенсивності руху в залежності від швидкості руху транспортного потоку

Максимальна інтенсивність руху смугою дороги залежить від середньої швидкості руху транспортного потоку та його складу. Середня швидкість руху транспортного потоку враховує наступні чинники: категорію дороги, ширину проїзної частини, ширину узбіччя, коефіцієнт зчеплення, радіуси горизонтальних кривих, поздовжні похили, радіуси вертикальних кривих.

Залежність «інтенсивність – швидкість» буде мати вигляд:

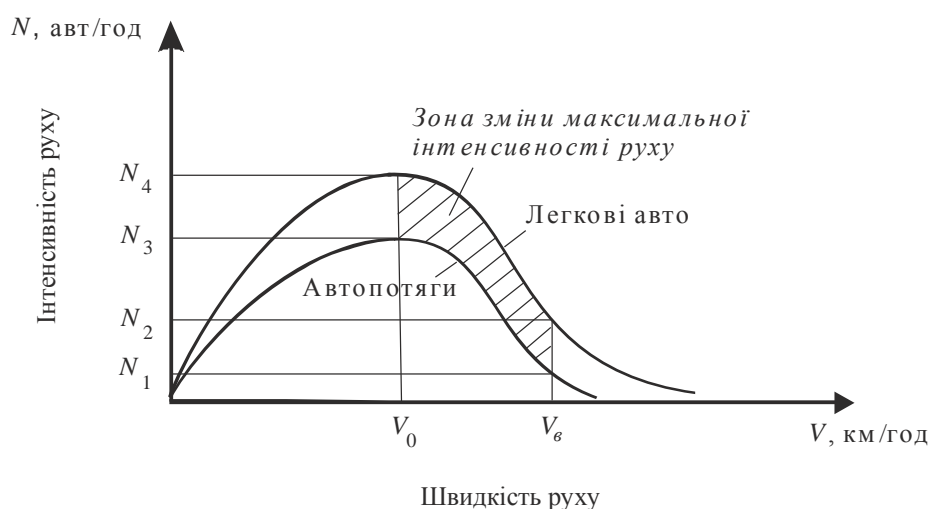
$$N = f(V, d, l_a) = f(V, D), \quad (5)$$

де V – середня швидкість руху транспортного потоку;
 d – дистанція між автомобілями;
 l_a – середня довжина автомобіля у транспортному потоці;
 D – динамічний габарит.

Оскільки одній і тій же швидкості руху може відповідати будь-яке значення інтенсивності руху, залежність «інтенсивність – швидкість» буде виражена кореляційною залежністю.

Обмеженням поля кореляції буде середня швидкість вільного руху та швидкість, що відповідає пропускній здатності смуги руху.

Зв'язок між двома величинами при кореляційній залежності можна визначити візуально по полю кореляції. Поле кореляції обмежується значенням максимальної інтенсивності руху при мінімальній та максимальній довжині автомобіля (рис. 3).



V_0 – середня швидкість руху, що відповідає пропускній здатності;

V_6 – середня швидкість вільного руху;

N_1 – максимальна інтенсивність руху при швидкості вільного руху для автопотягів;

N_2 – максимальна інтенсивність руху при швидкості вільного руху для легкових автомобілів;

N_3 – максимальна інтенсивність руху при оптимальній швидкості руху для автопотягів;

N_4 – максимальна інтенсивність руху при оптимальній швидкості руху для легкових автомобілів.

Рисунок 3 – Поле кореляції для залежності «інтенсивність – швидкість»

Перехрещення та примикання автомобільних доріг є її структурними елементами, які повинні забезпечувати максимальну інтенсивність, безпеку і зручність руху транспортних засобів з найменшими витратами часу на їх проїзд, тому в роботі були проведені дослідження впливу перехрещень і примикань автомобільних доріг на максимальну інтенсивність руху на автомобільній дорозі в цілому.

На відміну від існуючого методу розрахунку, в роботі інтенсивність руху на

перехрещеннях та примиканнях визначається максимальною інтенсивністю руху смугою головної дороги між ними, а не інтенсивністю руху на другорядній дорозі.

Інтенсивність руху автомобілів на головній дорозі на підході до перехрещення або примикання має інтервал руху, що відповідає максимальному інтервалу при виконанні маневрів на перехрещеннях та примиканнях t_{\max} , який складається із часу розгону автомобіля або гальмування та мінімального інтервалу, який визначається при даній швидкості руху і визначеному складі транспортного потоку на головній дорозі.

Тому, інтенсивність руху на головній дорозі при інтервалі руху t_{\max} буде становити:

$$N = \frac{3600}{t_{\max}}. \quad (6)$$

Сумарна інтенсивність руху дорівнює максимальній інтенсивності руху на автомобільній дорозі до і після перехрещення або примикання.

$$N_{\max} = N_{np} + N_{звор}, \quad (7)$$

де N_{np} – максимальна інтенсивність руху у прямому напрямку;

$N_{звор}$ – максимальна інтенсивність руху у зворотному напрямку.

Інтенсивність руху в прямому і зворотному напрямку повинна забезпечити в'їзд, виїзд та перетин головної дороги.

Математичні залежності для розрахунку інтервалу руху на головній дорозі та часу на виконання маневрів при визначенні максимально можливої інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях різних типів наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Інтервал на головній дорозі та час виконання маневрів при визначенні максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях

№п/п	Маневр автомобіля	Час на виконання маневру(інтервал)	Інтервал на головній дорозі
Перехрещення без перехідно-швидкісних смуг			
1	Поворот праворуч із головної дороги	$t_{\text{зап}} = \frac{V_p - V_3}{a}$	$T = t_{\min}$
2	Поворот ліворуч із головної дороги	$t_{\text{зап}} = \frac{V_p - V_3}{a}$	$T = t_{\min}$
3	Поворот праворуч із другорядної дороги	$t_p = \frac{V_p}{a}$	$T = t_p + t_{\min}$
4	Поворот ліворуч із другорядної дороги	$t_p = \frac{V_p}{a}$	$T = t_p + t_{\min}$
5	Перетин головної дороги	$t_{\text{пер}} = \frac{\sqrt{2(B+l_a)a}}{a}$	$T = t_{\min}$

Кінець табл. 1

1	2	3	4
Перехрещення із перехідно-швидкісними смугами			
1	Поворот праворуч із головної дороги	$t_{zc} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$	$T = t_{\min}$
2	Поворот ліворуч із головної дороги	$t_{zc} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$	$T = t_{\min}$
3	Поворот праворуч із другорядної дороги	$t_{zc} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$	$T = 2t_{\min}$
4	Поворот ліворуч із другорядної дороги	$t_{zc} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$	$T = 2t_{\min}$
5	Перетин головної дороги	$t_{nep} = \frac{\sqrt{2(B+l_a)a}}{a}$	$T = t_{\min}$
<p>Примітка: V_p – розрахункова швидкість руху смугою автомобільної дороги, м/с; V_3 – швидкість руху на з'їзді при виконанні маневру, м/с; a – середня величина прискорення, м/с²; B – ширина проїзної частини дороги, м; R – радіус з'їзду, м; b – ширина смуги руху дороги, м; t_{\min} – середній безпечний інтервал при колонному русі автомобілів для даної середньої швидкості руху, с; t_p – час необхідний для розгону до розрахункової швидкості руху V_p на автомобільній дорозі, с.</p>			

Третій розділ присвячений дослідженню характеристик транспортного потоку в різних дорожніх умовах та залежності «інтенсивність – швидкість».

Експериментальні дослідження інтенсивності, середньої швидкості вільного руху та середньої швидкості руху з урахуванням впливу геометричних елементів дороги проводилися на дорогах різних категорій окремо для легкових автомобілів, вантажних, автобусів та автопотягів з допомогою приладу, що заміряє швидкість руху згідно методики проведення експериментальних досліджень з подальшою статистичною обробкою отриманих результатів експериментальних досліджень.

Ділянки доріг для проведення досліджень вибирались на основі GPS технологій при проведенні робіт по паспортизації та розробці проектів організації дорожнього руху. За допомогою GPS КПК визначались радіуси горизонтальних кривих, поздовжні похили, горизонтальні прямолінійні ділянки дороги.

В результаті проведеного дослідження отримано середні швидкості вільного руху автомобілів на дорогах різних категорій, які представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Середні швидкості вільного руху транспортного потоку в залежності від його складу та категорії дороги

№ п/п	Категорія дороги	Кількість смуг руху	Середня швидкість, км/год			
			Легкові	Вантажні	Автобуси	Автопотяги
1	Ia	6	91,13	75,70	77,50	81,03
2	Ia, Ib	4	88,04	75,77	74,61	80,00
3	II	2	84,29	71,90	71,50	72,93
4	III	2	79,72	67,06	69,33	71,11
5	IV	2	75,83	64,08	67,03	68,75

На зменшення середньої швидкості вільного руху в значній мірі впливає наявність горизонтальних кривих та поздовжніх похилів, тому виникає необхідність дослідження залежності швидкості руху від цих геометричних елементів.

На основі проведених досліджень середньої швидкості руху транспортного потоку визначений коефіцієнт, який враховує вплив поздовжнього похилу дороги на середню швидкість руху:

$$k = -7,25 \cdot i + 1,0946, \quad (8)$$

де i – поздовжній похил автомобільної дороги.

Значення понижуючих коефіцієнтів для різних поздовжніх похилів представлені табл. 3.

Таблиця 3 – Рекомендовані коефіцієнти при урахуванні впливу поздовжнього похилу на середню швидкість транспортного потоку

Поздовжній похил	0,01	0,02	0,03	0,05
Коефіцієнти	1	0,99	0,86	0,73

На основі проведеної обробки експериментальних даних дослідження середньої швидкості руху з урахуванням впливу радіусів горизонтальних кривих отримані залежності середньої швидкості руху транспортного потоку для радіуса горизонтальної кривої до 100 м та від 100 м до 600 м відповідно для різних типів автомобілів.

Загальний вигляд рівняння залежності середньої швидкості руху транспортного потоку для радіуса горизонтальної кривої до 100 м та від 100 м до 600 м відповідно для різних типів автомобілів:

$$V = (0,005l_a^2 - 0,0904l_a + 0,8551)R + (0,078l_a^3 - 1,896l_a^2 + 13,269l_a - 12,553), \quad (9)$$

$$V = (-0,0006l_a^3 + 0,0147l_a^2 - 0,113l_a + 0,2843)R + (0,478l_a^2 - 10,026l_a + 104,99), \quad (10)$$

де l_a – довжина автомобіля, м;

R – радіус горизонтальної кривої, м.

Для встановлення загальної залежності «інтенсивність – швидкість» з урахуванням складу транспортного потоку проведено обробку отриманих результатів експериментального дослідження окремо для різних типів автомобілів. Для легкових автомобілів прийнята середня довжина – 4,5 м, вантажних – 7 м, авто потягів – 12 м. Результати обробки експериментальних даних приведені на рис. 8–10.

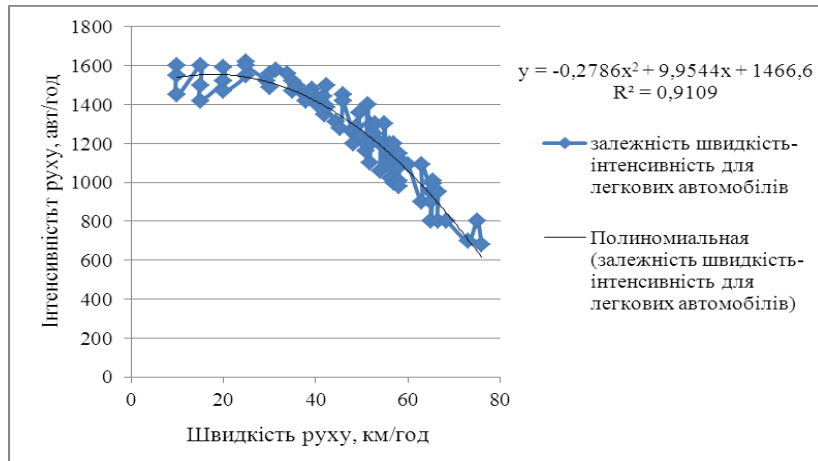


Рисунок 4 – Залежність «інтенсивність – швидкість» для легкових автомобілів

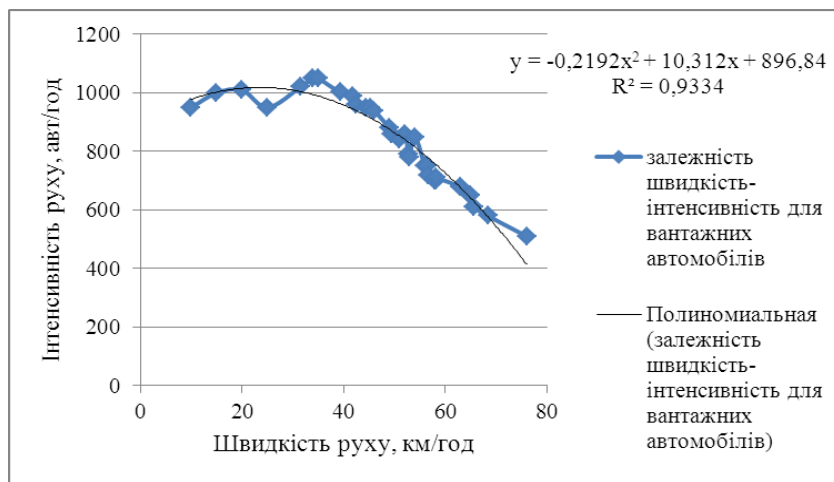


Рисунок 5 – Залежність «інтенсивність – швидкість» для вантажних автомобілів

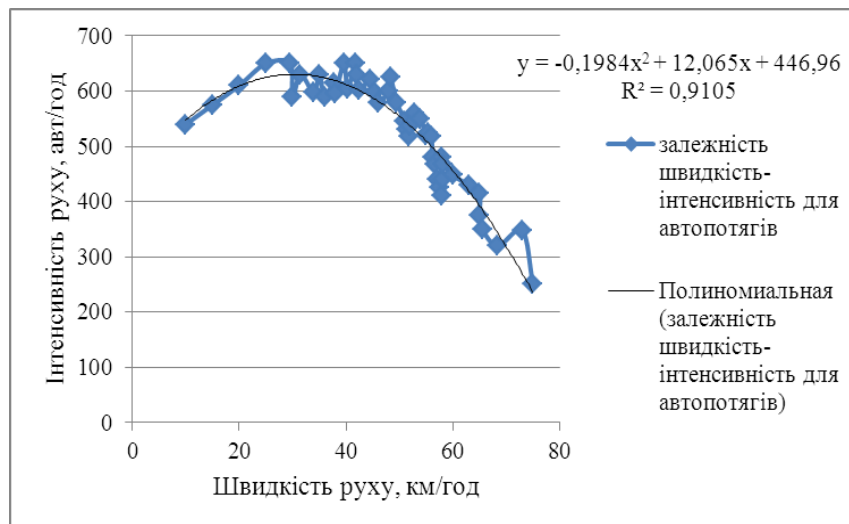


Рисунок 6 – Залежність «інтенсивність – швидкість» для автопотягів

В результаті проведених досліджень отримана залежність «інтенсивність – швидкість» для різного складу транспортного потоку у вигляді полінома другого ступеня:

$$N = AV^2 + BV + C, \quad (11)$$

де A, B, C – коефіцієнти, що залежать від складу транспортного потоку

$$A = -0,0026 \cdot l_a^2 + 0,0538 \cdot l_a - 0,4678, \quad (12)$$

$$B = 0,0277 \cdot l_a^2 - 0,1752 \cdot l_a + 10,182, \quad (13)$$

$$C = 18,362 \cdot l_a^2 - 438,84 \cdot l_a + 3069. \quad (14)$$

де l_a – довжина автомобіля, м;

V – середня швидкість руху, км/год.

Область застосування отриманої залежності обмежується значенням інтенсивності при колонному русі і середній швидкості вільного руху до значення пропускної здатності.

На основі отриманих залежностей встановлена швидкість руху, що відповідає пропускній здатності для різних типів автомобілів і яка представлена у таблиці 4.

Таблиця 4 – Швидкість руху, що відповідає пропускній здатності для різних типів автомобілів

Тип автомобілів	Швидкість руху, що відповідає пропускній здатності, км/год
Легкові автомобілі	18
Вантажні автомобілі	23,5
Автопотяги	30,4

Четвертий розділ присвячений розробленню методики підвищення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі та визначення ефективності функціонування автомобільної дороги.

В розділі визначено алгоритм розрахунку:

1. Розраховується середня швидкість вільного руху транспортного потоку на автомобільній дорозі.

2. Розраховується середня швидкість руху транспортного потоку на окремих ділянках автомобільної дороги в залежності від її геометричних параметрів.

3. Складається графік середньої швидкості руху транспортного потоку на окремих ділянках дороги.

4. Розраховується максимальна інтенсивність руху смугою дороги в залежності від середньої швидкості руху та складу транспортного потоку.

5. Розраховується інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг на одному рівні.

6. Складається графік максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі з урахуванням інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг на одному рівні.

7. Розробляються заходи із підвищення максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах:

- збільшення радіуса горизонтальних кривих для збільшення швидкості руху та роботи ділянки автомобільної дороги;

- зменшення поздовжнього похилу, проектування допоміжної смуги руху для зменшення часу проїзду та збільшення роботи ділянки автомобільної дороги;

- проектування заокруглень на з'їздах перехідними кривими для забезпечення проїзду великогабаритних автомобілів та зменшення часу на виконання повороту праворуч із головної дороги;

- проектування перехідно-швидкісних смуг на перехрещеннях та примиканнях;

- проектування допоміжних смуг для виконання поворотів ліворуч із головної дороги;

- проектування віднесених з'їздів для виконання повороту ліворуч;

- проектування кільцевих перехрещень та примикань.

На основі результатів досліджень характеристик транспортного потоку розроблені рекомендації із підвищення інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг за рахунок зміни їх параметрів, які наведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Заходи із підвищення інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг

Інтенсивність руху на головній дорозі	Заходи з підвищення максимальної інтенсивності руху на примиканні	Коефіцієнт завантаження системи K_a	Коефіцієнт збільшення максимальної інтенсивності руху K_M
1	2	3	4
Прямий напрямок			
$N < \frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}}$	Заходи не передбачаються	< 0,5	1,0
$\frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}} \leq N \leq \frac{3600}{t_{\min}}$	1. Влаштування ПШС для виконання повороту праворуч із другорядної дороги на головну; 2. Влаштування ПШС для виконання повороту праворуч з головної дороги на другорядну (при умові, що $t_{\text{гал}} > t_{\min}$)	0,5 – 0,9	1,2 – 1,4

Кінець табл. 5

1	2	3	4
$N > \frac{3600}{t_{\min}}$	Влаштування розв'язки в різних рівнях	0,9 – 0,95	1,4– 1,6
$N > \frac{3600}{t_{\min}}$	Переведення дороги у вищу категорію	> 0,95	> 1,6
Зворотний напрямок			
$N < \frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}}$	Заходи не передбачаються	< 0,5	1,0
$\frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}} \leq N < \frac{3600}{t_{\min}}$	Влаштування ПШС для виконання повороту ліворуч із другорядної дороги	0,5 – 0,9	1,2 – 1,4
$N = \frac{3600}{t_{\min}}$	Влаштування допоміжної смуги для виконання повороту ліворуч із головної дороги на другорядну	0,9 – 0,95	1,4 – 1,6
$N > \frac{3600}{t_{\min}}$	Влаштування розв'язки в різних рівнях	0,95	1,4– 1,6
$N > \frac{3600}{t_{\min}}$	Переведення дороги у вищу категорію	> 0,95	> 1,6

В результаті проведених розрахунків та розроблених заходів встановлюється максимальна інтенсивність руху на ділянці автомобільної дороги, що визначає період ефективного функціонування ділянки автомобільної дороги без проведення реконструкції із забезпеченням безпечного руху автомобілів та без зменшення середньої швидкості руху.

У Додатках представлені дані експериментальних досліджень та результати статистичної обробки емпіричних даних середньої швидкості вільного руху, середніх швидкостей руху транспортного потоку в залежності від геометричних параметрів дороги, залежності «інтенсивність – швидкість».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі, що полягає в удосконаленні методу розрахунку максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги з урахуванням впливу перехрещень та примикань.

Основними результатами дисертаційної роботи є:

1. Проведений аналіз існуючих методів розрахунку максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі виявив велику розбіжність отриманих результатів різними методами, яка викликана недостатнім урахуванням чинників, що впливають на рух транспортного потоку автомобільною дорогою. Тому удосконалення методу розрахунку максимальної інтенсивності руху є актуальною науковою задачею.

2. Встановлено залежність «інтенсивність – швидкість» для різного складу транспортного потоку та область її застосування з метою розрахунку

максимальної інтенсивності руху з урахуванням впливу перехрещень та примикань.

На відміну від існуючих методів розрахунку максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі в удосконаленому методі склад транспортного потоку враховується середньою довжиною автомобіля у транспортному потоці.

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено величини швидкості вільного руху та вплив на середню швидкість руху транспортного потоку горизонтальних кривих різних радіусів та поздовжніх похилів. Результати досліджень можуть використовуватись для побудови графіка середньої швидкості руху транспортного потоку в прямому і зворотному напрямках, який в подальшому використовується для розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги.

3. Удосконалено метод розрахунку максимальної інтенсивності руху на ділянці між суміжними перехрещеннями та примиканнями на одному рівні різних типів, що дозволяє встановити максимальне значення інтенсивності руху в конкретних дорожніх умовах без геометричних параметрів автомобільної дороги.

4. Розроблено методику підвищення максимальної інтенсивності руху та визначення ефективності функціонування ділянки автомобільної дороги. Запропоновані заходи передбачають зміну конфігурації перехрещень і примикань на одному рівні, що дозволяє підвищити максимальну інтенсивність руху до 1,8 раз та зменшити транспортні витрати при виконанні маневрів великогабаритними автомобілями.

Удосконалений метод дозволяє визначити період функціонування доріг різних категорій до значення пропускної здатності без проведення реконструкції, що зменшує капітальні витрати по реконструкції до 50 %. Згідно цього методу, ділянка автомобільної дороги III категорії Київ – Суми від перехрещення з автомобільною дорогою Ніжин – Прилуки до перехрещення з автомобільною дорогою Ічня – Прилуки може працювати до досягнення максимальної інтенсивності 6000 авт/добу без реконструкції.

5. Результати дисертаційної роботи впроваджені у проектних організаціях підпорядкованих Державній службі автомобільних доріг України, розроблений відомчий документ М 218 – 02070915 – 674 : 2010 «Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Додух К., Пальчик А. Практическая пропускная способность полосы движения автомобильной дороги // Modern management review. Rzeszow: Politechnika Rzeszowska, 2015. № 22 (1/2015), С. 155-171. (p-ISSN 2300-6366, e-ISSN 2353-0758)

Статті у наукових фахових виданнях

2. Додух К.М. Пропускна здатність перехрещень автомобільних доріг в одному рівні // Проблеми транспорту: збірник наукових праць К.: НТУ, 2010. Вип. 7. С. 101 – 105.
3. Додух К.М., Шостак С.М. Інформаційне забезпечення водіїв в складних дорожніх умовах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К. :НТУ, 2013. Вип. 90. С. 218-221.
- 4 Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги // Вісник Національного транспортного університету. К. : НТУ, 2013. Вип.28. С. 164-169.
5. Додух К.М., Пальчик А.М. Неізнана Н.В. Пропускна здатність автомобільних доріг // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К. : НТУ, 2014. Вип. 91. С. 12-17.
6. Додух К.М., Неізнана Н.В. Розробка заходів із покращення умов руху на автомобільних дорогах // Автошляховик України : 2014. № 5 (241). С.26-29.

Опубліковані праці апробаційного характеру

7. Додух К.М., Пальчик А.М. Неізнана Н.В. Пропускна здатність автомобільних доріг. *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, жовтень 2010). Харків: ХНАДУ, 2010. С. 38 – 43.
8. Додух К.М., Пальчик А.М. Пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 01-04.11.2012). Харків: ХНАДУ, 2012. С. 213 – 215.
9. Додух К.М. Пропускна здатність примикань автомобільних доріг в одному рівні . *Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 01-04.11.2012). Харків: ХНАДУ, 2012. С. 120 – 123.
10. Додух К.М., Пальчик А.М. Практична пропускна здатність. *Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики* : 15-та Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, жовтень 2013). Київ: НТУ, 2013. С. 158 – 160.
11. Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *International Scientific and Practical Internet Conference. World Science* : матер. Міжн. наук.-практ. інтернет-конф. (22-24.09.2014). Dubai, UAE. 2014. С. 38-41.
12. Додух К.М. Пропускна здатність автомобільних доріг. *Наук. конф. проф.-викл. складу і студ. ун-ту*: тези доп. К.: НТУ, 2011. №67. С.133.
13. Додух К.М. Пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *Наук. конф. проф.-викл. складу і студ. ун-ту*: тези доп. К.: НТУ, 2012. №68. С. 158.

14. Додух К.М. Визначення середньої швидкості вільного руху транспортного потоку. *Наук. конф. проф.-викл. складу і студ. ун-ту* : тези доп. К.: НТУ, 2013. №69. С.188.

15. Додух К.М. Сфера застосування практичної пропускної здатності. *Наук. конф. проф.-викл. складу і студ. ун-ту*: тези доп. К.: НТУ, 2014. №70. С.167.

16. Додух К.М. Розрахунок пропускної здатності перехрещень та примикань автомобільних доріг. *Наук. конф. проф.-викл. складу і студ. ун-ту*: тези доп. К.: НТУ, 2016. №72. С.189.

Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір

17. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір № 60907 «Розрахунок практичної пропускної здатності смуги руху автомобільної дороги» / Додух К.М., заявлено 29.05.2015 № 61315; зареєстровано 28.07.2015

АНОТАЦІЯ

Додух К.М. Удосконалення методу розрахунку максимальної інтенсивності руху на двосмугових автомобільних дорогах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми – Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2018.

Дисертація присвячена удосконаленню методу розрахунку максимальної інтенсивності руху на двосмугових автомобільних дорогах.

Оскільки перехрещення та примикання є важливими структурними елементами автомобільної дороги, тому вони мають великий вплив на інтенсивність руху ділянкою автомобільної дороги між ними.

Аналіз існуючих методів розрахунку інтенсивності руху на автомобільних дорогах виявив недостатнє врахування впливу перехрещень і примикань на одному рівні та дійсних умов руху на автомобільній дорозі, що не дає можливості обґрунтувати доцільність проведення повної або часткової реконструкції автомобільної дороги.

В роботі виконано обґрунтування теоретичної гіпотези дослідження: максимальна інтенсивність руху на автомобільній дорозі визначається мінімальним значенням із множини інтенсивності руху на окремих ділянках з урахуванням впливу перехрещень і примикань на одному рівні.

Обґрунтовано теоретичні передумови та проведено експериментальні дослідження залежності «інтенсивність – швидкість» з урахуванням складу транспортного потоку та дослідження впливу геометричних елементів на середню швидкість руху на двосмугових автомобільних дорогах, в результаті яких встановлені залежності «інтенсивність – швидкість» для різних типів автомобілів, залежності середньої швидкості руху від горизонтальних кривих різних радіусів та поздовжніх похилів.

На основі встановлених залежностей удосконалено метод розрахунку максимальної інтенсивності руху та розроблено методику визначення періоду ефективного функціонування автомобільної дороги та підвищення максимальної інтенсивності руху за рахунок проектування елементів перехрещень та примикань автомобільних доріг на одному рівні.

Запропоновані заходи із підвищення максимальної інтенсивності руху дозволяють підвищити інтенсивність руху до 1,8 раз, зменшити транспортні витрати при виконанні маневрів великогабаритними автомобілями, в результаті чого можливо зменшити капіталовкладення на проведення реконструкції автомобільної дороги до 50%.

Ключові слова: автомобільна дорога, інтенсивність руху, швидкість руху, горизонтальна крива, поздовжній похил, перехрещення, примикання, інтервал руху, маневр, ефективність функціонування, реконструкція, смуга руху, перехідно-швидкісна смуга руху.

ABSTRACT

Dodukh K.M. Improvement of the calculation method of the maximum road traffic intensity. – On the manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.11 – Roads and airports – National Transport University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2017.

The thesis is dedicated to improving the method of calculating the maximum traffic on the roads.

Since intersection and adjoining are important structural elements of the highway, its have a great influence on the intensity of traffic on the section of the highway between them.

An analysis of the existing methods for calculating the intensity of traffic on highways revealed insufficient account of the effect of crossings and adjacencies on the same level and the actual conditions of movement on the road, which makes it impossible to substantiate the expediency of carrying out full or partial reconstruction of the highway.

The research substantiates the theoretical hypothesis of the study: the maximum intensity of traffic on the road is determined by the minimum values from the set of traffic intensity on separate sections, taking into account the influence of crossings and adjacencies on the same level.

The theoretical background was substantiated and experimental studies of the "intensity-speed" dependence were taken into account taking into account the composition of the traffic flow and the study of the influence of geometric elements on the average speed of movement on two-lane highways, which resulted in "intensity-speed" dependences for different types of vehicles, depending on the average speed movement from horizontal curves of different radii and longitudinal slopes.

Based on the established dependencies, the method of calculation of maximum traffic intensity has been improved and the method of determining the period of

effective functioning of the highway and increasing the maximum intensity of traffic due to the design of elements of crossings and adjactions of highways on one level has been developed.

The proposed measures to increase the maximum intensity of traffic allow to increase the traffic intensity up to 1.8 times, reduce transport costs when performing maneuvers by large vehicles, which may reduce the investment for reconstruction of the highway up to 50%.

Keywords: road, traffic intensity, speed, horizontal curve, longitudinal slope, intersection, adjacency, interval of movement, maneuver, efficiency of functioning, reconstruction, lane, transition-speed lane of motion.

АННОТАЦИЯ

Додух К.М. Усовершенствование метода расчета максимальной интенсивности движения на двухполосных автомобильных дорогах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 – автомобильные дороги и аэродромы - Национальный транспортный университет Министерства образования и науки Украины, Киев, 2017.

Диссертация посвящена усовершенствованию метода расчета максимальной интенсивности движения на автомобильных дорогах.

Поскольку пересечения и примыкания являются важными структурными элементами автомобильной дороги, поэтому они оказывают огромное влияние на интенсивность движения на участке автомобильной дороги между ними.

Анализ существующих методов расчета интенсивности движения на автомобильных дорогах обнаружил недостаточный учет влияния пересечений и примыканий на одном уровне и действительных условий движения на автомобильной дороге, не дает возможности обосновать целесообразность проведения полной или частичной реконструкции автомобильной дороги.

В работе выполнено обоснование теоретической гипотезы исследования: максимальная интенсивность движения на автомобильной дороге определяется минимальным значением из множества интенсивности движения на отдельных участках с учетом влияния пересечений и примыканий на одном уровне.

Обоснованы теоретические предпосылки и проведены экспериментальные исследования зависимости «интенсивность - скорость» с учетом состава транспортного потока и исследования влияния геометрических элементов на среднюю скорость движения на двухполосных автомобильных дорогах, в результате которых установлены зависимости «интенсивность - скорость» для различных типов автомобилей, зависимости средней скорости движения от горизонтальных кривых различных радиусов и продольных уклонов.

На основе установленных зависимостей усовершенствован метод расчета максимальной интенсивности движения и разработана методика определения периода эффективного функционирования автомобильной дороги и повышение

максимальной интенсивности движения за счет проектирования элементов пересечений и примыканий автомобильных дорог на одном уровне.

Предложенные меры по повышению максимальной интенсивности движения позволяют повысить интенсивность движения до 1,8 раз, уменьшить транспортные расходы при выполнении маневров крупногабаритными автомобилями, в результате чего возможно уменьшить капиталовложения на проведение реконструкции автомобильной дороги до 50%.

Ключевые слова: автомобильная дорога, интенсивность движения, скорость движения, горизонтальная кривая, продольный уклон, пересечения, примыкания, интервал движения, маневр, эффективность функционирования, реконструкция, полоса движения, переходно-скоростная полоса движения.