

Міністерство освіти і науки України
Національний транспортний університет

ВИГОВСЬКА ІННА АНАТОЛІЇВНА



УДК 656.13

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ
ПОТОКАМИ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

КИЇВ – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Поліщук Володимир Петрович,
Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України, м. Київ
завідувач кафедри транспортних систем
та безпеки дорожнього руху

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Абрамова Людмила Сергіївна
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет Міністерства освіти і
науки України, м. Харків
професор кафедри організації та безпеки
дорожнього руху

кандидат технічних наук, доцент
Жук Микола Миколайович
Національний університет «Львівська
політехніка» Міністерства освіти і науки України,
м. Львів
доцент кафедри транспортних технологій

Захист відбудеться «15» березня 2024 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 12.

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

Автореферат розісланий «9» лютого 2024 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент



О.Ю. Усиченко

Актуальність роботи.

Рівень автомобілізації впливає на завантаження мережі автомобільних доріг і призводить до надмірного навантаження на мережу, збільшення часу поїздки, зниження швидкості руху і руйнування автомобільних доріг через надмірні навантаження.

З одного боку ми маємо підвищення вимог до мережі автомобільних доріг загального користування, з іншого боку ми маємо значний період протягом якого взагалі не відбуваються зміни щодо покращення мережі автомобільних доріг. Це впливає на погіршення умов руху навіть на ділянках мережі, що вводяться в експлуатацію. Оскільки розвиток двох основних факторів: мережа автомобільних доріг і рухомий склад не розвиваються одночасно, то виникає потреба розробки методів управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг в умовах зменшення величини пропускної здатності мережі, що і є актуальною проблемою сьогодення.

Аналіз розвитку мережі автомобільних доріг загального користування в Україні визначає значну недостатність величини сумарної пропускної здатності мережі, що призводить до сумарного перепробігу транспорту. Відсутність своєчасного та раціонального використання методів організації дорожнього руху на мережі автомобільних доріг призводить до додаткових витрат часу при перевезенні вантажів і пасажирів.

Зменшення величини пропускної здатності (через часткове чи повне припинення руху транспорту) на одній з ділянок мережі, з точки зору управління, може розглядатись як утворення певної перешкоди. Реагування на таку ситуацію вимагає визначення умов руху з оптимізацією загального часу проїзду, а зменшення часу проїзду можливо забезпечити за рахунок використання цілого ряду заходів: оптимізації мережі автомобільних доріг; удосконалення дорожніх умов, планування ремонтів, забезпечення безпеки дорожнього руху. Важливе місце при цьому належить методам управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Наведені в дисертації основні результати і рекомендації розроблені на основі виконання у Національному транспортному університеті таких науково-дослідних робіт:

- «Розробка концепції логістичного управління процесами перевезень і безпекою дорожнього руху в транспортних системах України» (2015 р., № РК 0115U001582);
- «Логістичне управління процесами перевезень і безпекою дорожнього руху в транспортних системах великих міст України» (2017-2019 рр., № РК 0116U004493);
- «Транспортно-логістичне управління вантажними і пасажирськими перевезеннями автомобільним транспортом», (2020-2022 рр., № РК 0120U104757);
- «Мережа автомобільних доріг загального користування та її вплив на розвиток регіонів України», (2011-2012 рр. № державної реєстрації 0111U000091);

- «Розробка програми розвитку автомобільних доріг державного значення в Чернігівській області на основі методики управління безпекою руху на автомобільних дорогах», (2012-2013 рр., відповідно до господарського договору № 12152/127 від 9 вересня 2012 р. з Службою автомобільних доріг у Чернігівській області);

- «Розробка методів підвищення ефективності автомобільних перевезень маршрутами міжнародних транспортних коридорів» (2019-2020 рр., № державної реєстрації 0119U101796);

- Міжнародного проекту Master in SMARt transport and LOGistics for cities (SMALOG) action «Capacity Building in higher education» в рамках програми ЄС Еразмус+/КА2, що підтримує проекти, партнерства, заходи і мобільність у сфері освіти, підготовки, молоді і спорту. Номер проекту 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-SBHE-JP. Сайт проекту: <http://smalog-2017.uniroma2.it>. Термін реалізації проекту 10/2017-10/2021.

Мета дослідження. Удосконалення методу управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг загального користування з урахуванням перешкод.

Задачі дослідження:

1) провести аналіз загального стану організації дорожнього руху через збільшення об'ємів руху, методів оцінки розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування;

2) визначити критерій формування безпечних та безперешкодних умов руху на основі розробки моделі розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування з урахуванням можливості зменшення величини пропускної здатності на окремих ділянках такої мережі;

3) розробити математичну модель управління рухом транспортними потоками на мережі автомобільних доріг загального користування при виникненні перешкод з урахуванням залежностей «інтенсивність – швидкість» і «затримка – інтенсивність»;

4) на основі запропонованої моделі удосконалити метод управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг та визначити умови його впровадження шляхом проведення імітаційного моделювання із забезпеченням її функціонування у змінених режимах руху.

Об'єкт дослідження: процеси формування й управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг.

Предмет дослідження: методи та моделі формування й управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг загального користування.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у роботі задач використано методи: системного аналізу, теорії транспортних процесів і систем, організації дорожнього руху, моделювання та управління транспортними потоками, математичної статистики та регресійного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів:

Основний науковий результат дисертації полягає в удосконаленні методу управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг

на підставі розроблених відповідних моделей розподілу транспортних потоків, що дозволяє здійснювати управління транспортними потоками на мережі під час зменшення величини пропускної здатності на окремих її ділянках шляхом визначення оптимальних за часом маршрутів і надає можливість здійснювати раціональний перерозподіл транспортних потоків на мережі. В рамках проведених дисертаційних досліджень:

- вперше розроблено математичну модель розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування, що відрізняється від існуючих можливістю прогнозувати умови дорожнього руху при зменшенні величини пропускної здатності (виникненні перешкоди) на окремих ділянках такої мережі, а також забезпечувати її функціонування й управління у змінених режимах руху;

- удосконалено модель управління транспортними потоками в умовах тимчасового зменшення величини пропускної здатності (виникненні перешкоди) на ділянці мережі автомобільних доріг з урахуванням залежностей «інтенсивність – швидкість» і «затримка – інтенсивність»;

- отримав подальший розвиток критерій формування безпечних та безперешкодних умов руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування під впливом перешкод.

Практичне значення отриманих результатів:

Розроблено методику управління розподілом транспортних потоків на мережі автомобільних доріг в умовах суттєвого зменшення величини пропускної здатності (виникнення перешкоди) на окремих ділянках такої мережі.

Методика дозволяє обґрунтовано оцінити можливість реалізації алгоритму оперативного реагування на виникнення вказаної перешкоди (наприклад, скоєння дорожньо-транспортної пригоди) шляхом аналізу стану мережі автомобільних доріг «до» та «після» такого виникнення, а також приймати відповідні раціональні управлінські рішення.

Результати досліджень, що відображені у дисертаційній роботі, були використані під час виконання науково-дослідної роботи за темою: «Виконати аналіз та розробити національний стандарт щодо організації дорожнього руху та маршрутного орієнтування на мережі автомобільних доріг загального користування, правил компонування дорожніх знаків індивідуального проектування» (Договір від 26.09.2019 № БДР-177/09-19).

Практичні рекомендації дисертаційних досліджень отримали практичне застосування в ТОВ «Гранбуд Лідер» при розробленні тимчасових схем організації дорожнього руху, що було використано під час експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування державного значення Кіровоградської області.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені у Службі відновлення та розвитку інфраструктури у Київській області під час розробки тимчасових схем організації дорожнього руху, що було впроваджено на автомобільних дорогах загального користування державного значення під час виконання дорожніх робіт на них.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес при викладанні дисципліни «Основи теорії систем і управління» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)» спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» освітньо-професійної програми «Інтелектуальні системи управління дорожнім рухом», а також використано як теоретико-науковий базис при підготовці кваліфікаційних робіт бакалаврів та магістрів спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» освітньо-професійної програми «Інтелектуальні системи управління дорожнім рухом».

Особистий внесок здобувача Дисертаційна робота є самостійним завершеним науковим дослідженням, що містить авторський підхід та особисто одержані теоретичні й практичні результати щодо управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг.

У спільних публікаціях здобувачем: [51] – запропоновано модель розподілу транспортних потоків з урахуванням впливу перешкод руху транспорту; [30,85] – проведено аналіз досліджень щодо функціонування автомобільних доріг та оцінки умов руху; [103] – проведений аналіз умов руху та пропускну здатності мережі, [112] – за допомогою моделювання проаналізовано різні варіанти розроблення заходів управління дорожнім рухом та запропоновані заходи для зменшення імовірності утворення заторів на певній ділянці автомобільної дороги; [124] – наведені результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків на прикладі ділянки автомобільної дороги загального користування М-06.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на: II International Scientific and Practical Conference «MODERN SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS» 24 Hours of Participation STOCKHOLM, 3-5 May 2020; Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт». НТУ, м. Київ, 29-30 листопада 2022 року; LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів НТУ, м. Київ, 17-19 травня 2023 року конференція НТУ.

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць, із них: 5 статей у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, 1 стаття – у науковому закордонному виданні, 1 стаття – додатково відображає результати дослідження, 4 праці апробаційного характеру. Отримані 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків разом з якими її обсяг складає 187 сторінок, списку використаних джерел, який містить 126 найменувань, чотирьох додатків на 11 сторінках, ілюструється 16 рисунками, містить 6 таблиць та 71 формулу.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано доцільність та актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення. У вступі також розкривається особистий внесок автора, питання апробації результатів, публікації, загальний обсяг і структура роботи.

У першому розділі розглянуто розвиток мережі автомобільних доріг загального користування України та надана загальна оцінка об'ємів руху цією мережею. Проведений аналіз методів оцінки розподілу транспортних потоків на мережі, величин об'ємів руху транспортних потоків та методів оцінки розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування з урахуванням перешкоди.

Відомості про величини середньорічної добової інтенсивності руху на окремих ділянках автомобільних доріг загального користування наведені в таблиці 1 та на рисунку 1.

Таблиця 1 – Середньорічна добова величина інтенсивності руху (авт./добу)

Дорога, ділянка	2017	2018	2019	2020	2021
<i>М-06 Київ – Чоп, км 24+130</i>	20500	21090	23 048	26 376	27 875
<i>М-06 Київ - Чоп, км 54+336</i>	10 650	10 960	11 507	14 411	15 601
<i>М-03 Київ - Харків - Довжанський, км 80+939</i>	10 900	11 240	12 119	13 114	14 153

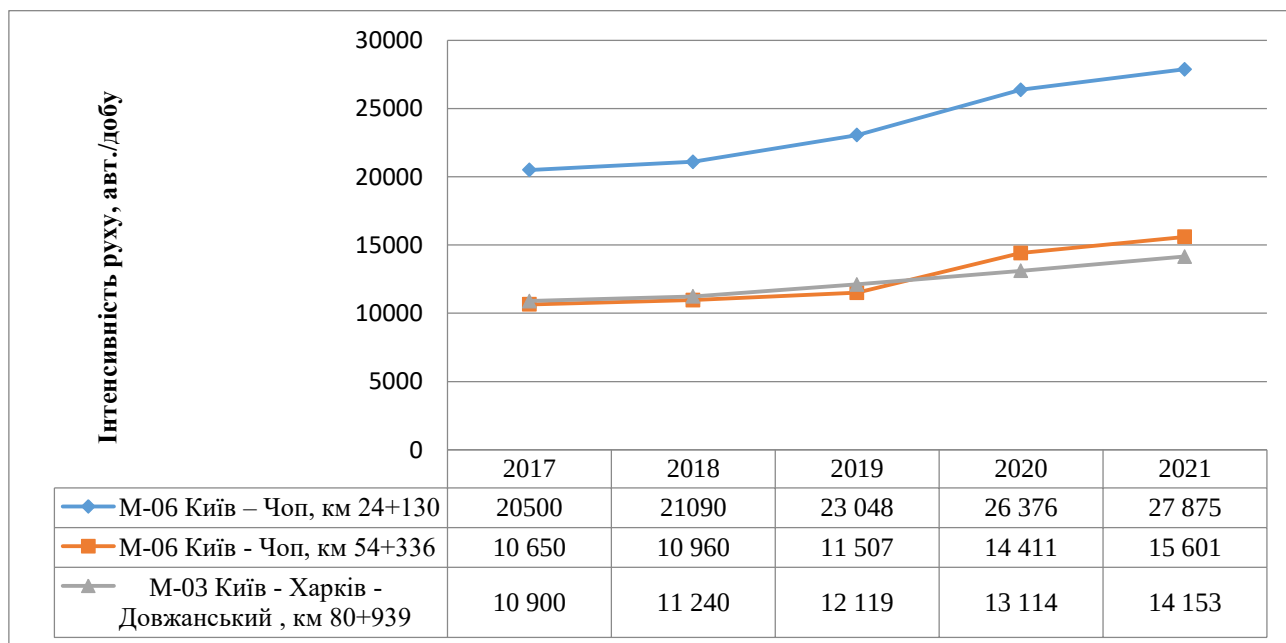


Рисунок 1 – Середньорічна добова величина інтенсивності руху

Як свідчать результати добових спостережень, найбільше завантаження досліджуваних ділянок у будні дні має місце у ранковий та вечірній періоди пік, а у вихідні дні – вдень та вечері (з 11:00 до 19:00) (рис. 2).

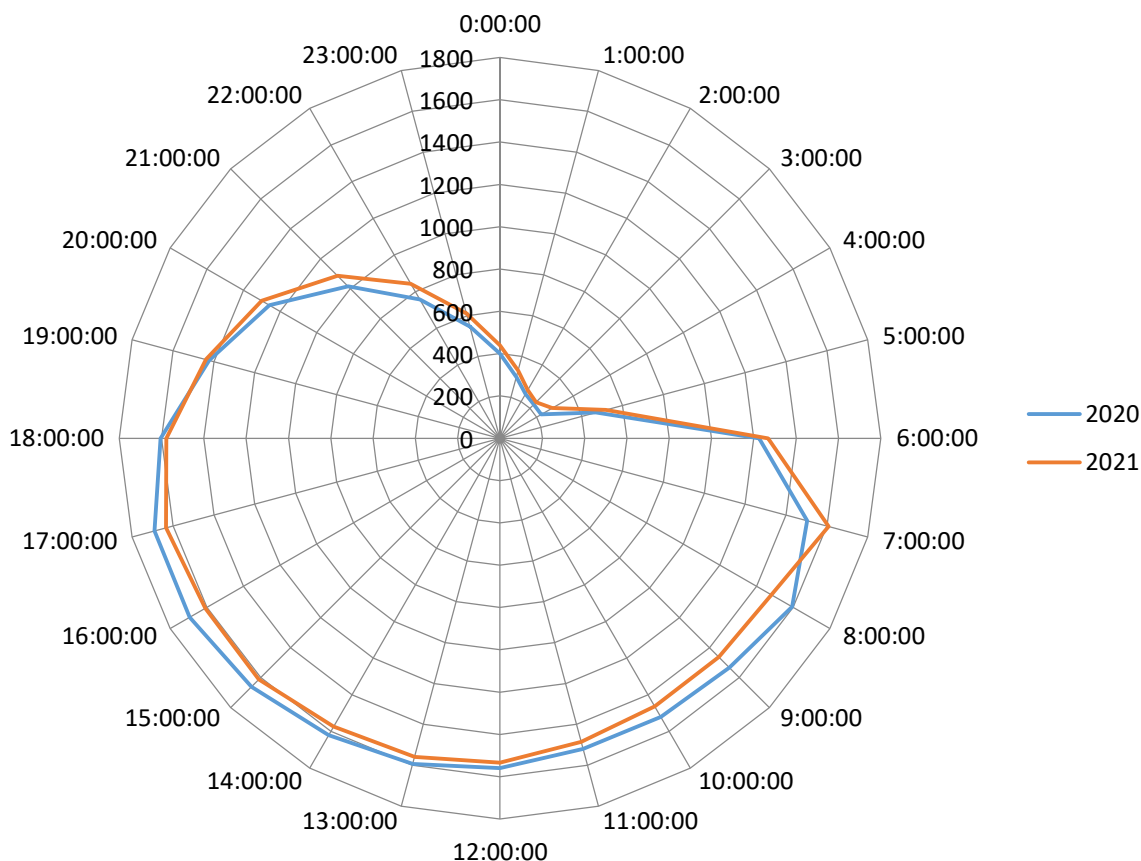


Рисунок 2 – Розподіл величини інтенсивності руху протягом доби

Результати проведеного аналізу свідчать, що до початку повномасштабного воєнного вторгнення росії середньорічна добова величина інтенсивності руху на дорогах загального користування постійно зростала. З іншого боку, розвиток мережі автомобільних доріг в Україні відставав і відстає від темпів автомобілізації, що призводить до ускладнення умов руху, збільшення затримок та зниження рівня безпеки руху. Всі ці обставини формують потребу вирішення задачі розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування при виникненні перешкод руху на окремих її ділянках, оскільки це впливає на характеристики транспортних потоків на перегонах і перехрестях мережі і є важливим показником при прогнозуванні умов дорожнього руху.

Другий розділ містить дослідження теоретичних передумов оптимізації розподілу руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг при виникненні перешкоди в русі. В якості критерію оптимальності розподілу і допустимості даної перешкоди на досліджуваній ділянці прийнято мінімізація загального часу проїзду всіх автомобілів мережею автомобільних доріг після настання впливу перешкоди руху, а також умова відсутності заторів на перегонах і пересіченнях мережі в результаті перерозподілу транспортних потоків, що пропонується.

Для оцінки впливу перешкод руху мережею прийнято такі припущення:

- величина інтенсивності руху на будь-якій з ділянок маршруту, де відбувається об'їзд перешкоди, не може перевищувати величину пропускної здатності ділянки:

$$0 \leq N_z \leq N_{MAX,z}, \quad (1)$$

де $N_{MAX,z} = P_z$,

N_z – величина інтенсивності руху на z -му перегоні, авт./год;

P_z – величина пропускної здатності на z -му перегоні, авт./год.

$$0 \leq N_{ij} \leq N_{MAX,ij}, \quad (2)$$

де N_{ij} – величина пропускної здатності i -го перехрестя в j -му напрямку, авт./год.

- сумарний час, витрачений на проїзд мережі автомобільних доріг загального користування за рахунок збільшення пробігу при об'їзді перешкоди та (або) за рахунок зменшення величини пропускної здатності ділянок мережі автомобільних доріг, де виникла перешкода (у зв'язку із збільшенням величини інтенсивності руху на об'їзних маршрутах), має бути мінімальним. Тоді мінімальний сумарний час проїзду мережі під впливом перешкод є критерій оптимального розподілу:

$$T_p \leq k_t \cdot T, \quad (3)$$

де T – сумарний час проїзду транспортних засобів ділянки мережі автомобільних доріг без впливу перешкоди, год;

T_p – сумарний час проїзду транспортних засобів ділянки мережі автомобільних доріг під впливом перешкоди, год.

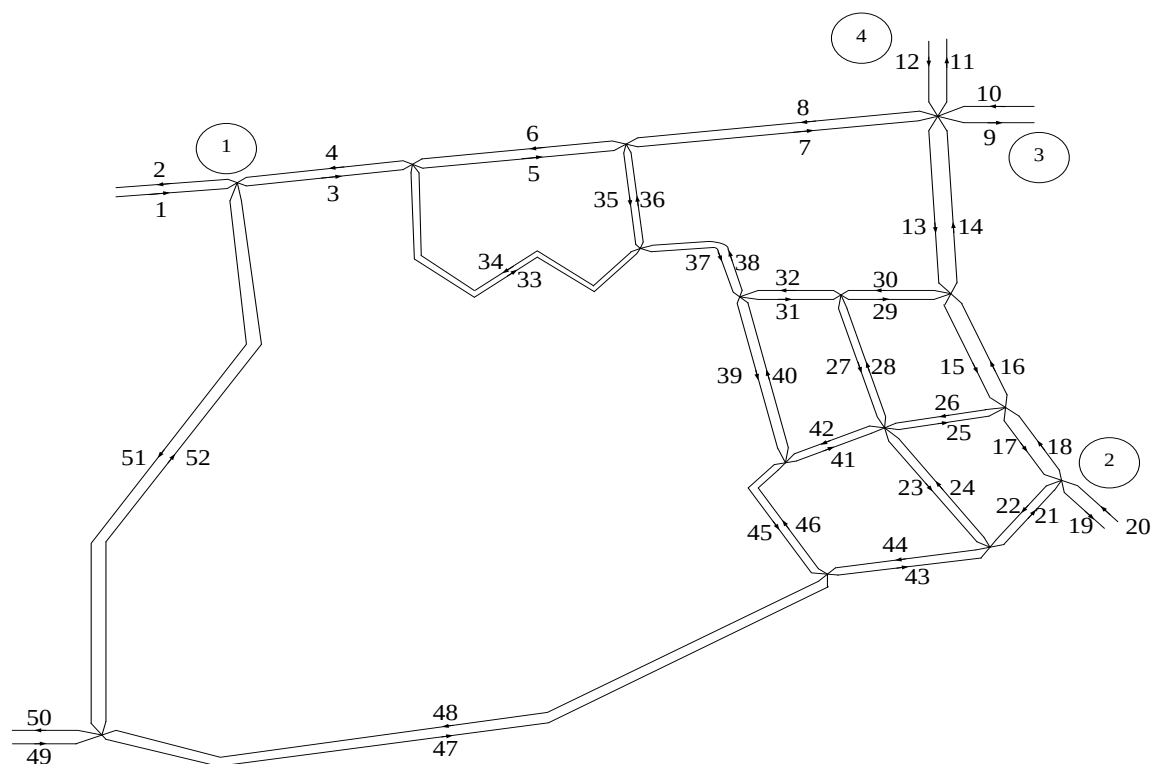
k_t – коефіцієнт допустимого збільшення сумарного часу проїзду для заданої ділянки мережі автомобільних доріг.

Для побудови загальної моделі розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг внаслідок зменшення величини пропускної здатності або закриття руху на одному з перегонів необхідні також дані про величини інтенсивності руху транспортних потоків, існуючу схему організації дорожнього руху та величини затримок на перехрестях.

Транзитний характер транспортного потоку не слід розуміти як рух тільки між точками входу та виходу мережі, оскільки можливі випадки формування потоків усередині мережі, транзитних по відношенню до будь-якої сукупності перегонів у цій зоні мережі.

Побудову моделі починають з формування формалізованої схеми мережі автомобільних доріг (рис. 3).

Таким чином, є ξ входів на автомобільну дорогу і η виходів з неї. Кожен ξ -й вхід з'єднується з η -м виходом з мережі $n_{\xi,\eta}$ кількістю маршрутів, де $\xi, \eta = 1, 2, \dots, n$; $\xi \neq \eta$.



1 – точки входу та виходу транспортних потоків;
1,2,3, ... – перегони між перехрестями дорожньої мережі.

Рисунок 3 – Формалізована схема мережі автомобільних доріг

Таким чином, є ξ входів на автомобільну дорогу і η виходів з неї. Кожен ξ -й вхід з'єднується з η -м виходом з мережі $n_{\xi,\eta}$ кількістю маршрутів, де $\xi, \eta = 1, 2, \dots, n$; $\xi \neq \eta$.

Тому транспортні потоки на ξ -му вході, що прямують на η виходів, будуть розподілені по M_ξ маршрутах:

$$M_\xi = \sum_{\eta}^n n_{\xi,\eta}; \xi \neq \eta. \quad (4)$$

У той же час загальна кількість маршрутів на мережі автомобільних доріг, що розглядається, дорівнюватиме:

$$M = \sum_{\eta}^n M_\xi. \quad (5)$$

Оскільки кількість перегонів і маршрутів на мережі автомобільних доріг – число кінцеве і дорівнює відповідно m_n і M , по кожному перегону та маршруту присвоєно відповідний номер.

Наприклад, для мережі автомобільних доріг (рис. 3) між точкою входу 1 і виходу 2 є 9 маршрутів (тобто $n_{\xi,\eta} = n_{1,2} = 9$):

1 : (1, 3, 5, 7, 13, 15, 17, 19)

2 : (1, 3, 33, 37, 31, 23, 15, 17, 19)

3 : (1, 3, 33, 37, 39, 41, 25, 17, 19)
 4 : (1, 3, 33, 37, 39, 41, 23, 21, 19)
 5 : (1, 3, 5, 35, 37, 31, 29, 15, 17, 19)
 6 : (1, 3, 5, 35, 37, 39, 45, 43, 21, 19)
 7 : (1, 3, 5, 35, 37, 31, 27, 23, 21, 19)
 8 : (1, 3, 5, 35, 37, 31, 27, 25, 17, 19)
 9 : (1, 51, 47, 43, 21, 19)

Причому якщо нумерація маршрутів може бути довільною, то нумерація перегонів встановлюється за наступною залежністю:

$$K = K(\xi, \eta, K_1) = \sum_{i=1}^{\xi-1} \left(\sum_{j=1}^{i-1} n_{i,j} + \sum_{j=i+1}^n n_{i,j} \right) + \sum_{i=1}^{\xi-1} n_{\xi,1} + \sum_{i=\xi+1}^{\eta-1} n_{\xi,i} + K_1, \quad (6)$$

де $K_1 = 1, 2, \dots, n_{\xi,\eta}$;

K – номер маршруту, що з'єднує ξ -й вихід з η -м входом;

ξ – номер точки входу;

η – номер точки виходу.

Відповідність між маршрутом і перегонем подається в матричній формі:

$$A = |a_{k,z}|, \quad (7)$$

де $a_{k,z} = 0; 1$ – елемент матриці (0 – зв'язку немає; 1 – зв'язок є);

z – номер перегону.

Таким чином, цільова функція часу руху транспортних потоків, що розподіляються мережею автомобільних доріг, являє собою сумарний час руху транспортних потоків перегонами та тривалість їх затримки на перехрестях:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z \cdot \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k)}{V_z \cdot \left(\sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k) \right)} + \sum_{q=1}^{m_n} b_{z,q} t_{z,q} (N_{z,q}) \right), \quad (8)$$

де l_z – довжина z -го перегону, км;

V_z – швидкість руху на z -му перегоні, км/год;

b_z – коефіцієнт кореляції;

$t_{z,q}$ – час проїзду z -го перегону, с.

Оскільки цільова функція розподілу транспортних потоків повинна враховувати місцеві інтенсивності руху на перегонах мережі, тому функція (8) набуває вигляду:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z(N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))}{V_z(N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))} + \sum_{q=1}^{m_n} t_{z,q} \left(N_{M,Z,q} + b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) \right) \right), \quad (9)$$

де $N_T(k)$ – інтенсивність руху розподіленого транспортного потоку по k -му маршруту, авт./год;

$N(k)$ – загальна к-сть автомобілів на мережі за період що розглядається;

$N_{M,Z}$ – інтенсивність руху нерозподіленого транспортного потоку по z -му перегону, авт./год;

$N_{M,Z,q}$ – інтенсивність руху транспортного потоку, що не розподіляється, між z -м і q -м перегонами, авто/год.

Оптимізація за критерієм (9) провадиться за умови виключення виникнення заторів на перехрестях та перегонах мережі автомобільних доріг в зоні управління:

$$0 \leq \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) \leq N_{MAX,Z} - N_{M,Z}; \quad (10)$$

$$0 \leq b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) \leq N_{MAX,Z,q} - N_{M,Z,q},$$

для всіх $Z, q = 1, 2, \dots, m_n$; $z \neq q$ і умови збереження розподіленого потоку:

$$N_{\xi,\eta} = \sum_{K(\xi,\eta-1,1)}^{K(\xi,\eta-1,n_{\xi,\eta})} N_T(k), \quad (11)$$

де $N_{MAX,Z}$ – величина пропускної здатності z -го перегону, авт./год.;

$N_{MAX,Z,q}$ – величина пропускна здатність перехрестя при підході з z -го перегону до q -го перехрестя, авт./год.

Мінімізація критеріальної (цільової) функції при виконанні граничних умов дозволяє здійснити оптимальний розподіл транспортних потоків мережею автомобільних доріг через перерозподіл транспортних потоків на перехрестях та перегонах транспортної мережі. Аналіз критеріальної функції (9) при урахуванні наявності імовірних перешкод на різних ділянках мережі автомобільних доріг дає можливість провести оцінку сумарного впливу перешкод на рух транспорту в цілому по мережі та визначити «допустимий» рівень цього впливу.

В третьому розділі розроблено математичну модель управління транспортними потоками на мережі при наявності перешкод з урахуванням залежностей «інтенсивність – швидкість» і «затримка – інтенсивність» при забезпеченні ефективного функціонування мережі автомобільних доріг.

Для вирішення розподілу транспортних потоків необхідно розв'язати систему рівнянь:

$$\sum_{z=1}^{m_n} a_{k,z} \left(l_z \frac{V_z - \frac{\partial V_z}{\partial N_t(k)} \left(N_{M,z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) \right)}{V_z^2} + \sum_{q=1}^{m_n} b_{z,q} a_{k,q} \frac{\partial t_{z,q}}{\partial N_t(k)} \right) + \lambda_{\xi,\eta} = 0; \quad (12)$$

$$\sum_{k(\xi,\eta-1,1)}^{k(\xi,\eta-1,n_{\xi,\eta})} N_T(k) - N_{\xi,\eta} = 0.$$

Оскільки зазначена система представлена у загальному вигляді, для її вирішення необхідна конкретизація залежностей в умовах щільного транспортного потоку:

$$\begin{aligned} v &= a - b N, \\ t &= d + c N. \end{aligned}$$

Наведені залежності мають місце у наближенні, коли перешкоди на перегонах формуються достатньо повільно. Це наближення є допустимим у випадку мереж автомобільних доріг загального користування великої розмірності.

Тоді цільова функція (9) набуває наступного вигляду:

$$T = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z \left(N_{M,z} + \sum_{k=1}^M a_{k,z} N_T(k) \right)}{a_z - b_z \left(N_{M,z} + \sum_{k=1}^M a_{k,z} N_T(k) \right)} + \sum_{q=1}^{m_n} d_{z,q} + c_{z,q} \left(N_{M,z,q} + b_{z,q} \sum_{k=1}^M a_{k,q} N_T(k) \right) \right), \quad (13)$$

де a_z – величина вільної швидкості руху на перегоні, км/год;

b_z – коефіцієнт кореляції;

$d_{z,q}$ – часовий період проходження перехрестя, хв;

$c_{z,q}$ – середній час затримки автомобіля перед перехрестям, хв.

В рамках наближення мереж автомобільних доріг загального користування великої розмірності матриці у цільовій функції (13) залежності $v = f(N)$ і $t = \varphi(N)$ мають області визначення значень N від мінус нескінченності до нескінченності. Тоді, тут для проведення мінімізації цільової функції по часу щодо знаходження оптимального розподілу транспортних потоків з урахуванням перешкод можна застосовувати методи класичного функціонального аналізу:

$$t = \frac{l_z \left(N_{M,z} + \sum_{k=1}^M a_{k,z} N_T(k) \right)}{a_z - b_z \left(N_{M,z} + \sum_{k=1}^M a_{k,z} N_T(k) \right)}, \quad (14)$$

вираз для визначення часу руху всіх автомобілів по z -му перегону у разі врахування величини інтенсивності руху місцевих транспортних потоків на перегонах у загальному вигляді можна записати таким чином:

$$t_{n,m} = \frac{l_z (N_{n,m} + N_{n,m})}{a_n - b_n (N_{n,m} + N_{n,m})} . \quad (15)$$

З іншого боку, якщо вказані інтенсивності не враховуються, то:

$$t_n = \frac{l_n N_n}{a_n - b_n N_n} , \quad (16)$$

де $N_{n,m}, N_{n,m}$ – відповідно інтенсивності руху місцевого та транзитного транспортних потоків на перегоні, авт./год;

a_n – середня швидкість на перегоні, км/год;

b_n – коефіцієнт кореляції на перегоні.

Вказані у загальному вигляді вирази (15), (16) мають графічне зображення, представлене на рис.4.

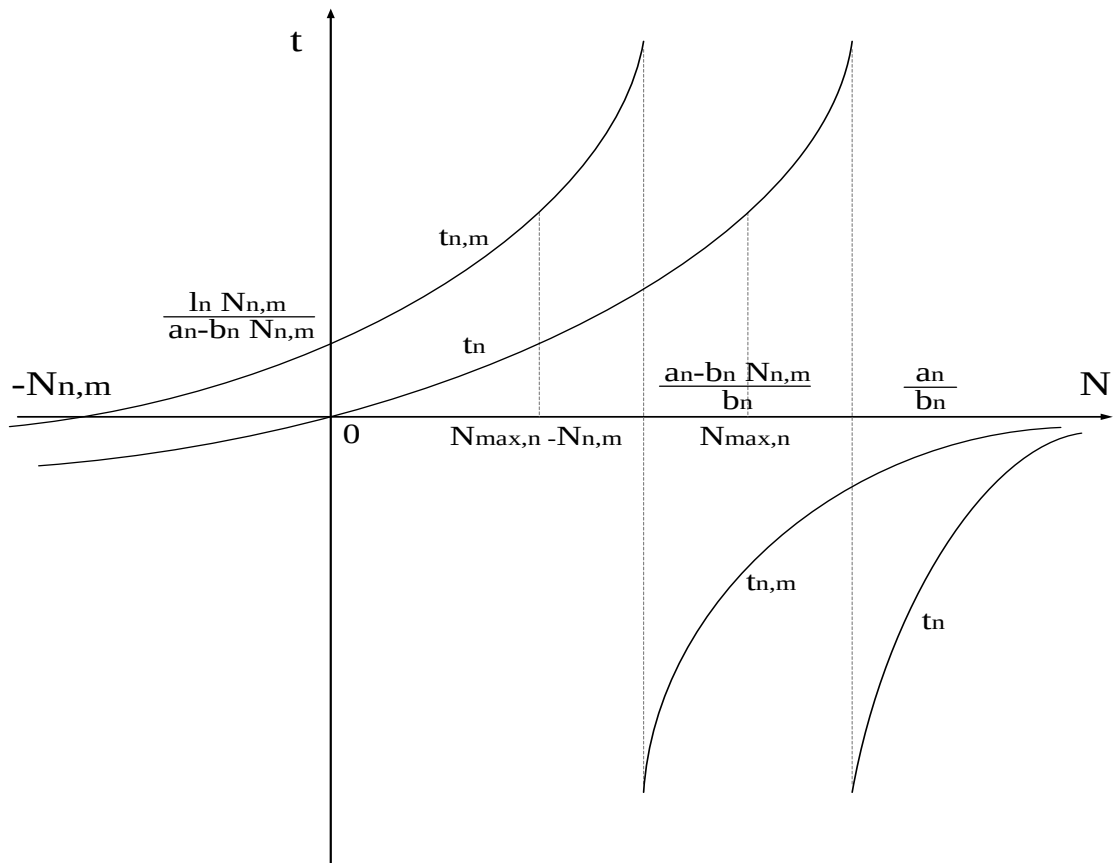


Рисунок 4 – Графік функції $t_{n,m}, t_n$

При $N=0$ функції $t_{n,m}, t_n, t_{y,m}, t_y$ мають різні значення, що обумовлено різними умовами руху як на самих перегонах, так і на перехрестях. Так як похідні по кожному маршруту заданих напрямків руху являють собою суму похідних по ділянках і перехрестях, то вони також неперервні і при $N=0$ мають різні значення (рис. 5).

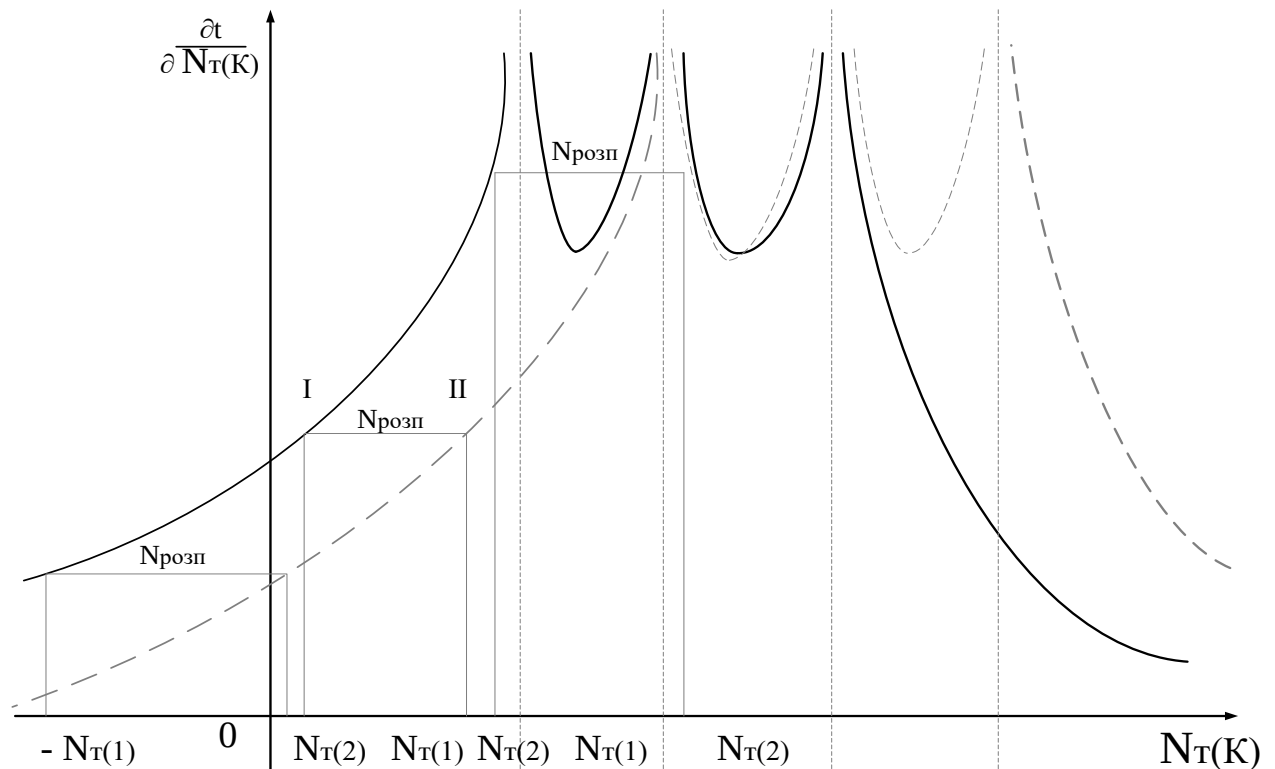


Рисунок 5 – Графік перших похідних на маршрутах руху I та II

Із рисунку 5 видно, що умови рівності похідних при наявності розподіленні транспортного потоку завжди досягаються. При цьому буде виконана умова (11), так як завжди можна знайти таку алгебраїчну суму $N_T(1)$ и $N_T(2)$, яка буде розподілена за напрямками потоку (вказана сума може визначається як сума чисел, так і як їх різниця). На рисунку 5 представлені можливі випадки рівності похідних при виконанні умови (11).

Ситуація 1. Умова (11) матиме такий вид:

$$N_T(2) - N_T(1) = N_{розп}.$$

Ситуація 2. Умова (11) матиме такий вид:

$$N_T(1) + N_T(2) = N_{розп}.$$

Ситуація 3. Умова (11) матиме такий вид:

$$N_T(1) + N_T(2) > N_{розп}.$$

Таким чином, у ситуації 1 маршрут 2 має таку величину пропускну здатності, що може прийняти на себе додаткову кількість місцевого транспорту з першого маршруту, що дорівнює $N_T(1)$. Таке рішення має математичний сенс, але не фізичний, оскільки спрямувати місцевий транспортний потік першого маршруту на другий, не завжди є можливим, що відповідає умові (11). При досягненні ситуації 2 досягається оптимальний розподіл транспортного потоку маршрутами за умови (11). Наявність ситуації 3 вказує на те, що умова щодо резерву величини пропускну

здатності на маршруті 2 не виконується (тобто реалізація такого варіанту призведе до утворення заторів на маршруті 2).

Для того, щоб математична модель розподілу транспортних потоків максимально відповідала фізичній сутності процесу руху на мережі, необхідно розглянути два підходи.

Перший з них передбачає введення обмеження на величини розподілених потоків.

Виходячи з фізичної сутності процесу необхідно побудувати функції $v = f(N)$ і $v = \varphi(N)$ таким чином, щоб

$$\begin{aligned} t_{\Pi, M} &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max, \Pi} - N_{\Pi, M} < N_{\Pi, T} < N_{\max, \Pi} - N_{\Pi, M} + \delta; \\ t_{\Pi} &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max, \Pi} < N_{\Pi} < N_{\max, \Pi} + \delta; \\ t_{\Pi, M} &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max, \Pi} - N_{y, M} < N_{y, T} < N_{\max, y} - N_{y, M} + \delta; \\ t_y &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max, y} < N_y < N_{\max, y} + \delta, \end{aligned} \quad (17)$$

де $\delta \rightarrow \infty$, $\delta \neq \infty$.

При $0 \leq N_{\Pi, M} \leq N_{\max, \Pi} - N_{\Pi, M}$; $0 \leq N_{\Pi} \leq N_{\max, \Pi}$; $0 \leq N_{y, T} \leq N_{\max, y} - N_{y, M}$; $0 \leq N_y \leq N_{\max, y}$ функції $t_{\Pi, M}$, t_{Π} , $t_{y, M}$, t_y не можуть змінюватись, оскільки вони відображають реальний рух. Отже, похідні за маршрутами руху при $N = 0$ матимуть різні значення, відмінні від 0, а при $N = N_{\max} + \delta$ прагнуть до нескінченності, що призводить.

Тому для вирішення задачі оптимального розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг при об'їзді ділянки впливу перешкоди руху необхідно з усієї сукупності маршрутів виключити такі, для яких значення розподілених транспортних потоків приймають негативні значення. Такий підхід можна застосовувати лише тоді коли розподіл транспортних потоків здійснюється з урахуванням пріоритетних напрямків руху. Якщо пріоритетні напрямки призначати неможливо, таке рішення призводить до значних витрат часу на його отримання.

Другий підхід до розв'язання задачі передбачає збереження обмежень з першого підходу та виключає можливість отримання негативних величин розподілених потоків. Виходячи з фізичної сутності процесу, для його реалізації необхідно побудувати функції $v = f(N)$ і $v = \varphi(N)$ таким чином, щоб:

$$\begin{aligned} t_{\Pi, M} &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max, \Pi} - N_{\Pi, M} < N_{\Pi, T} < N_{\max, \Pi} - N_{\Pi, M} + \delta; \quad N_{\Pi, T} < 0; \\ t_{\Pi} &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max, \Pi} < N_{\Pi} < N_{\max, \Pi} + \delta; \quad N_{\Pi} < 0; \\ t_{\Pi, M} &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max, \Pi} - N_{y, M} < N_{y, T} < N_{\max, y} - N_{y, M} + \delta; \quad N_{y, T} < 0; \\ t_y &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max, y} < N_y < N_{\max, y} + \delta; \quad N_y < 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial t_{\Pi,M}}{\partial N_{\Pi,T}} &= 0 & \text{при} & & N_{\Pi,T} &= 0; \\
\frac{\partial t_{\Pi}}{\partial N_{\Pi}} &= 0 & \text{при} & & N_{\Pi,T} &= 0; \\
\frac{\partial t_{y,M}}{\partial N_{y,T}} &= 0 & \text{при} & & N_{y,T} &= 0; \\
\frac{\partial t_y}{\partial N_y} &= 0 & \text{при} & & N_y &= 0,
\end{aligned} \tag{18}$$

де $\delta \rightarrow \infty$, $\delta \neq \infty$.

Виконання умов (18) призводить до виконання обмежень (10), відповідно до яких мінімум критерію (9) завжди буде знаходитися в області позитивних значень. Це дає певну похибку рішення, проте її величина може коригуватись.

Таким чином, за відсутності пріоритетних напрямків руху використання другого підходу дає можливість значно скоротити час розв'язання задачі за рахунок спрощення розв'язання системи рівнянь (10), оскільки виключені ситуації 1 та 3.

Розв'язання задачі розподілу транспортних потоків та аналізу впливу перешкоди руху першим способом передбачає наступну послідовність дій:

1. Введення даних:
 - задається мережа автомобільних доріг, яка передбачає можливість руху за $n_{\xi,\eta}$ маршрутами руху;
 - визначається величина інтенсивності транспортного потоку на маршруті $N^{\xi,\eta}$;
 - встановлюється величина інтенсивності місцевого транспортного потоку на перегонах і перехрестях маршрутів $N_{M,Z}, N_{M,Z,q}$;
 - задаються величини пропускної здатності перегонів і перехрестя.
2. Ранжування маршрутів без перешкод за зростанням значення перших часових похідних критеріальних функцій (13) при $N(k)=0$; вплив перешкоди не враховується).
3. Порівняння величин інтенсивності транспортних потоків та пропускної здатності (інтенсивність транзитного транспортного потоку та пропускна здатність першого маршруту ранжованого ряду).
4. Спрямування потоку (якщо інтенсивність руху транзитного транспортного потоку менше пропускної здатності даного маршруту, то транспортний потік направляється на цей маршрут).
5. Порівняння часових похідних (порівнюються перші часові похідні за першим маршрутом та наступним маршрутом упорядкованого ряду).
6. Розподіл потоку (якщо перша часова похідна першого маршруту менша або дорівнює першій часовій похідній другого маршруту).

7. Порівняння сумарної інтенсивності транспортних потоків (сумарна інтенсивність отриманих транспортних потоків порівнюється з інтенсивністю транзитного транспортного потоку, що підлягає розподілу).

8. Оцінка результатів розподілу:

- якщо сумарна величина інтенсивності отриманих транспортних потоків дорівнює величині потоку, що підлягає розподілу, то розподіл вважається повним;
- якщо ж вказана сумарна величина є меншою, проводиться новий розподіл з урахуванням зменшення величини інтенсивності потоку та підвищення інтенсивності руху місцевого потоку.

9. Повторення операцій (повторення операцій з пункту 3, доки не буде розподілено весь потік).

10. Обчислення часу руху (сумарний час руху транспортних потоків в межах ділянки управління).

11. Ранжування перешкод (перешкоди, які знаходяться на можливих маршрутах руху потоку, диференціюють за ступенем їх впливу на величину пропускної здатності мережі).

12. Ранжування перешкод поза маршрутами (перешкоди, які не знаходяться на маршрутах руху транспортного потоку, але розташовані так, що маршрути їх об'їзду перетинаються з маршрутами руху потоку).

13. Введення перешкоди (визначається розташування конкретної перешкоди руху в межах ділянки управління).

14. Повторення дій від пункту 3 до пункту 8 (для нових умов з урахуванням наявності конкретної перешкоди).

15. Висновок про неповноту розподілу транспортного потоку при виникненні перешкоди (необхідність застосування інших методів управління).

16. Порівняння сумарного часу руху транспортних потоків в межах ділянки управління при відсутності та наявності перешкоди.

Застосування того чи іншого способу вирішення цього завдання залежить від параметрів мережі автомобільних доріг (її розгалуженості, пропускної здатності, кількості точок входу та виходу, тощо), а також технічних засобів управління, що дозволяють реалізувати розподіл транспортних потоків. При цьому перевагою першого способу є отримання більш точного рішення, а недоліком його реалізації – велика кількість циклічних ітераційних процесів та необхідність призначення маршрутів.

Другий спосіб вирішення завдання доцільний для нерозгалужених дорожніх мереж (загальна кількість маршрутів менша ніж 50). Основною перевагою цього способу є значне зниження часу виконання розрахунків, що дозволяє вирішувати оперативні завдання в реальному масштабі часу.

Для коригування отриманих розподілів за пріоритетними напрямками необхідно:

- зафіксувати розподіл транзитних транспортних потоків за кожним пріоритетом (виключаючи передостанній за рангом ($kN-I$)-й) у вигляді величин інтенсивності місцевого руху (їх даними з масиву NMP);

- провести розподіл транзитного транспортного потоку $(kN-1)$ -го пріоритетного напрямку за вищезазначеним алгоритмом;
- зафіксувати розподіл транзитних транспортних потоків по всіх пріоритетних напрямках (виключаючи $(kN-2)$ -й) та сформулювати результати такого розподілу у вигляді масиву інтенсивності місцевого руху;
- провести розподіл транзитного транспортного потоку $(kN-2)$ -го пріоритетного напрямку за вищезазначеним алгоритмом.

Перевірку отриманого рішення можна зробити, оцінюючи сумарний час руху транспортних засобів в межах ділянки управління, виходячи з наступної умови:

$$\left| T^{(j-1)} - T^{(j)} \right| \leq \varepsilon, \quad (19)$$

де T – сумарний час проїзду всього транспортного потоку (транзитного та місцевого); год;

j – номер ітерації (під ітерацією розуміється коригування результатів розподілу транзитних транспортних потоків у всіх напрямках);

ε – допустима похибка розподілу, що залежить від можливостей технічних засобів управління або від специфічних умов руху на ділянці.

Вищезазначений алгоритм коригування розподілу транзитних транспортних потоків за пріоритетними напрямками забезпечує отримання оптимального рішення.

Таким чином, удосконалення методу управління транспортними потоками мережею автомобільних доріг, представлене в дисертаційному дослідженні, полягає в оптимізації розподілу транспортних потоків на мережі з урахуванням перешкод шляхом визначення оптимальних за часом маршрутів в рамках запропонованих відповідних моделей.

В четвертому розділі впроваджено «Метод управління транспортними потоками на мережі автомобільних загального користування» шляхом проведення імітаційного моделювання на прикладі фрагменту транспортної мережі автомобільних доріг України

Для моделювання транспортних потоків і аналізу їх розподілу використали програмний продукт PTV Vissim.

Моделювання проводилось на мережі, яку склали ділянки автомобільних доріг М-06 Київ – Чоп (Стоянка – Київ) та Р-04 Київ – Фастів – Біла Церква – Тараща – Звенигородка (Київ, Кільцева дорога – Білогородка), частина Кільцевої дороги м. Києва, а також елементи вулично-дорожньої мережі, що з'єднують вказані ділянки.

На першому етапі було проведено імітаційне моделювання руху транспортних потоків в існуючих умовах функціонування транспортної мережі (варіант І). В якості вихідних даних приймалось, що з точки входу транспортних потоків 1 в точку виходу 2 – 85 % транспортних засобів рухаються маршрутом № 1, а 15 % – маршрутом № 2 (рис. 6).

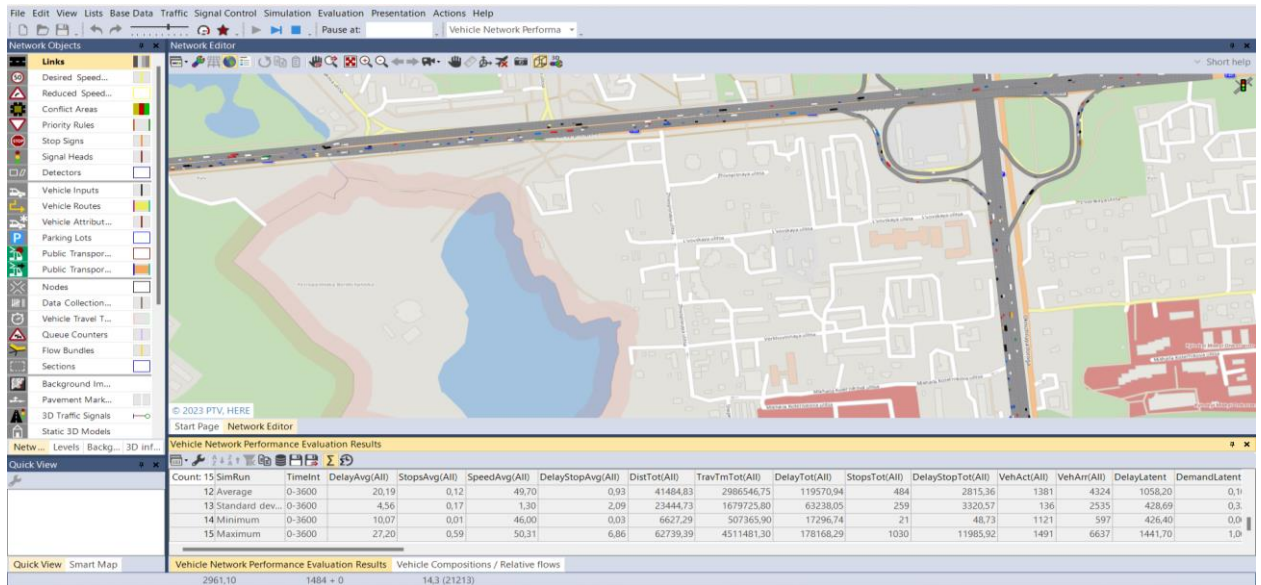


Рисунок 6 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків в існуючих умовах функціонування транспортної мережі (варіант I)

Як свідчать результати моделювання, за такого розподілу очікуваний середній час затримки одного транспортного засобу в межах ділянки управління складає 22 с, середня швидкість – 50 км/год, середній час простою (зупинки) – 0,31 с, сумарний час затримки всього транспортного потоку – 125 872 с.

Імітаційне моделювання руху транспортних потоків при виникненні перешкод на окремих її ділянках мережі (варіант II) передбачало аналогічні умови розподілу транспортних потоків за маршрутами 1 та 2 (рис. 7).

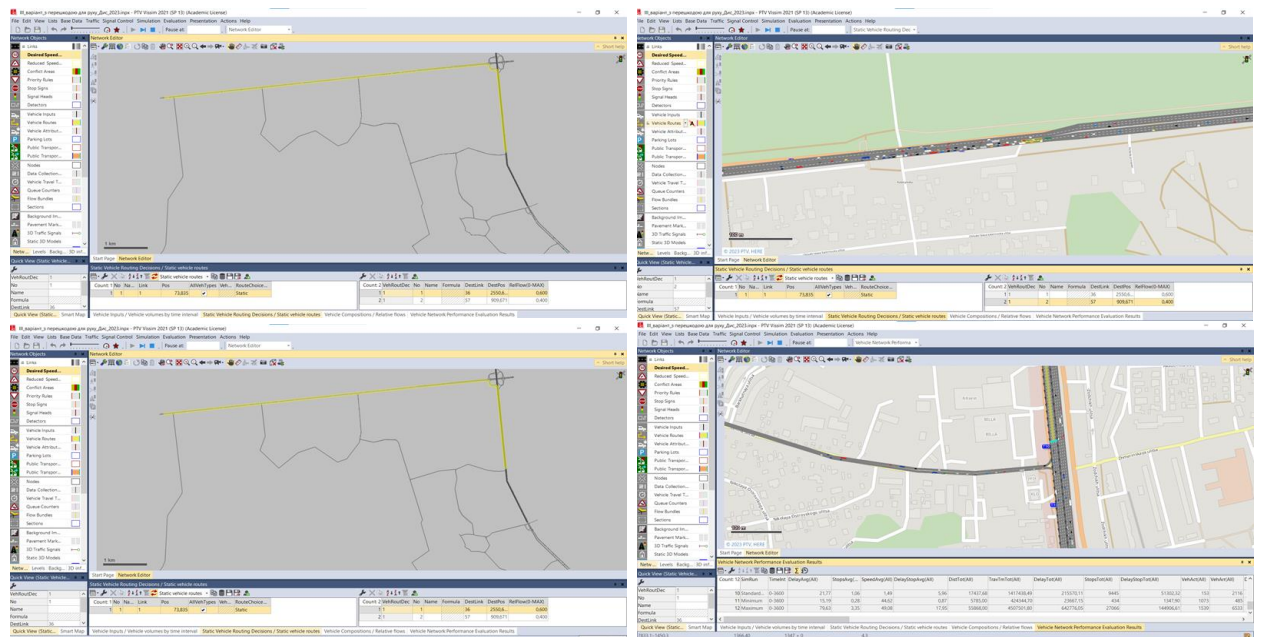


Рисунок 7 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків при виникненні перешкод на окремих її ділянках мережі (варіант II)

Як показали результати моделювання, за такого варіанту прогнозований середній час затримки одного транспортного засобу збільшується до 156 с, його середня швидкість зменшується до 38 км/год, а величини середнього часу простою (зупинки) збільшуються до 71 с, та сумарного часу затримки всього транспортного потоку – 857 964 с відповідно.

У свою чергу, (варіант III) моделювання передбачав реалізацію на досліджуваній мережі управлінських рішень, спрямованих на здійснення оптимального перерозподілу об'ємів руху в рамках представленого удосконаленого методу управління транспортними потоками (60 % транспортних засобів продовжуватимуть рухатися маршрутом № 1, а 40 % спрямовуються на маршрут № 2) (рис. 8).

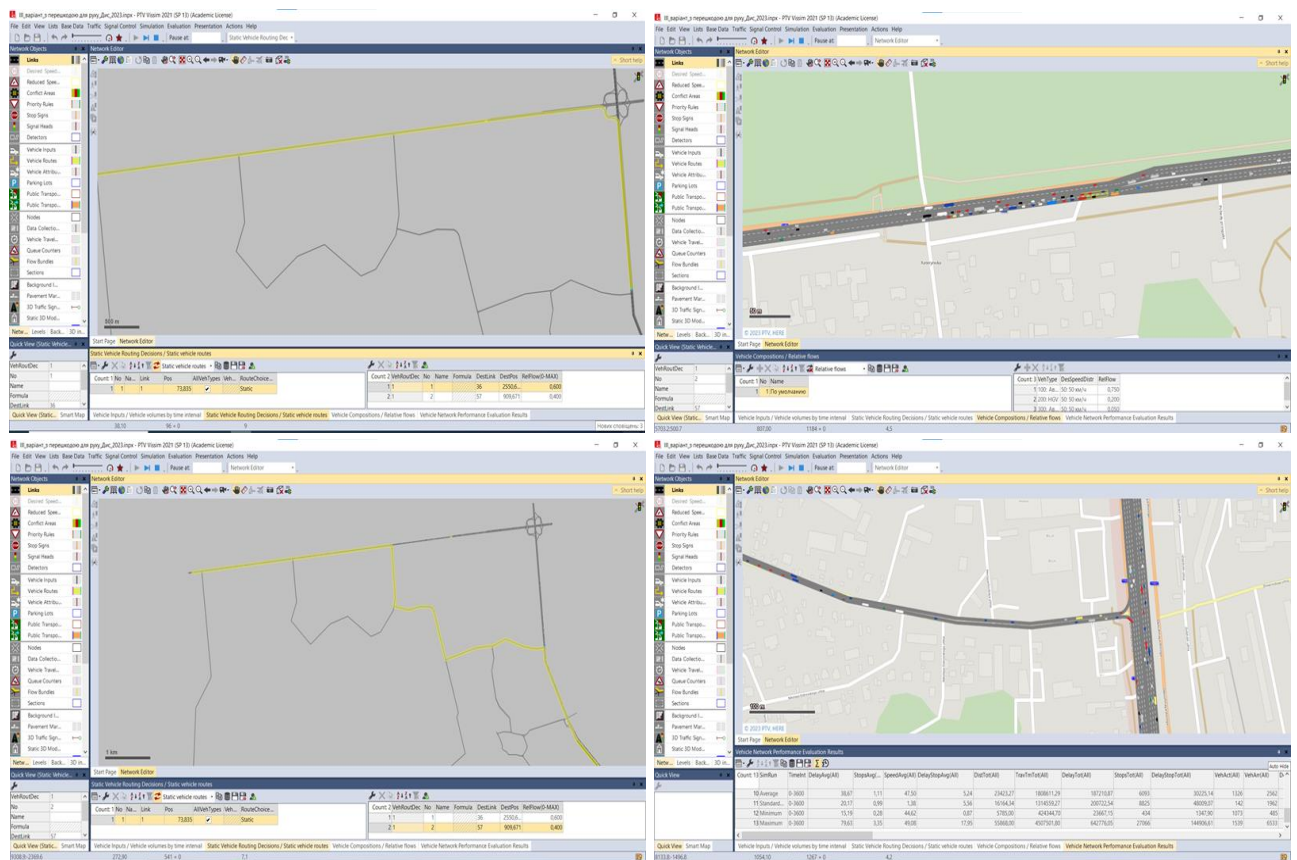


Рисунок 8 – Результати моделювання розподілу транспортних потоків після реалізації управлінських рішень (варіант III)

Як показали результати моделювання, за такого варіанту прогнозований середній час затримки одного транспортного засобу має скласти 54,67 с, його середня швидкість – 49,16 км/год, а величини середнього часу простою (зупинки) та сумарного часу затримки всього транспортного потоку мають скласти 8,47 с та 320 274 с відповідно.

Результати порівняльного аналізу даних імітаційного моделювання за умови реалізації управлінських рішень, що визначені за результатами даного дисертаційного дослідження представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати порівняльного аналізу імітаційного моделювання

	I варіант (існуючі умови руху транспортних потоків)	II варіант (виникнення перешкоди в існуючих умовах розподілу потоків)	III варіант (за умови реалізації управлінських рішень)
Середня швидкість, км/год	50,16	37,52	49,16
Середній час затримки, с	20,46	156,28	54,67
Середня кількість зупинок, стоянок	0,31	70,80	8,47
Сумарний час затримки, с	125 872	857 964	320 274

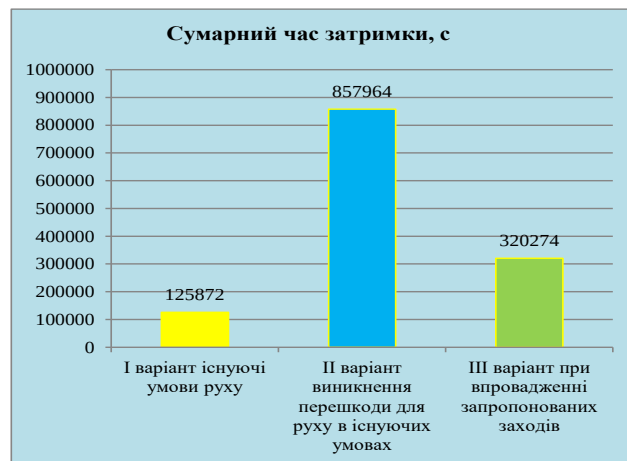
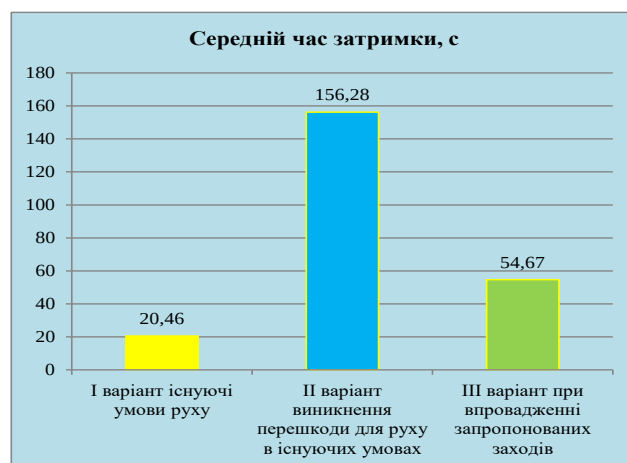
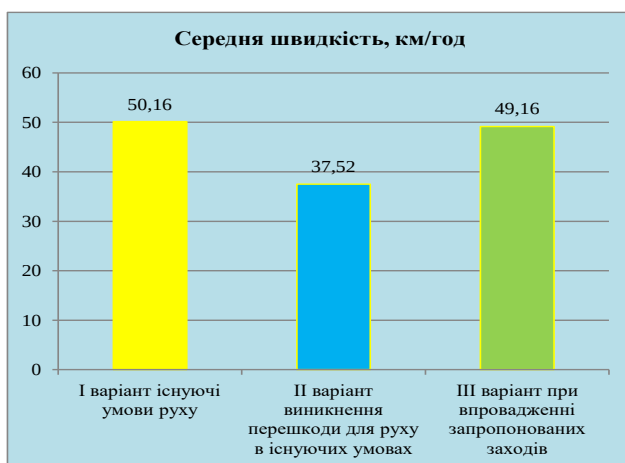


Рисунок 9 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків

Результати дисертаційного дослідження вказують на ефективність використання імітаційного моделювання для аналізу руху транспортних потоків на ділянці автомобільної дороги М-06. Дослідження включало три варіанти імітаційного моделювання: рух транспортних потоків в існуючих умовах функціонування транспортної мережі (варіант 1), при виникненні

перешкод на окремих ділянках мережі (варіант II) та розподіл транспортних потоків після реалізації управлінських рішень (варіант III).

У контексті існуючих умов виявлено, що середня величина швидкості становить 50 км/год, а середній час затримки – 20,46 с. Однак при виникненні перешкоди середній час затримки значно збільшується до 156 с, а середня швидкість зменшується до 37 км/год.

Введення запропонованих заходів управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг, зокрема перерозподіл транспортних потоків різними маршрутами для об'їзду перешкоди, призвело до позитивних результатів. Середній час затримки становить 54,67 с, що складає 30 % відповідно, виявлено збільшення середньої швидкості на 11,64 км/год, і складає 65 % що свідчить про ефективність запропонованих заходів у покращенні умов руху на ділянці мережі М-06.

Таким чином результати проведених імітаційних досліджень свідчать про ефективність впровадження удосконаленого методу управління транспортними потоками при наявності перешкод на мережі автомобільних доріг загального користування. Зокрема, при впровадженні відповідних заходів, в рамках методу, що розглядається, середня величини швидкості транспортного потоку на мережі в певних випадках збільшується на 30 %, відповідно, час затримки зменшується на 65 %.

Отже, здійснення заходів щодо розподілу транспортних потоків за різними маршрутами, в рамках запропонованого удосконаленого методу управління, сприятиме більш ефективному використанню мережі та дозволяє уникнути збільшення навантаження на конкретні ділянки, а також зменшити ймовірність заторів. Результати дисертаційного дослідження підтверджують важливість використання запропонованого методу як ефективний інструмент управління транспортними потоками, в тому числі розв'язання проблем виникнення заторів під впливом перешкод на мережі.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу управління розподілом транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування з урахуванням впливу перешкод руху.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень зроблено наступні висновки:

1. Проведений аналіз загального стану організації дорожнього руху і науково-методичних основ управління рухом транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування на основі використання існуючих методів оцінки розподілу транспортних потоків мережею. За результатами проведеного аналізу визначено, що через відсутність адекватних методів прогнозування руху транспортних потоків на автомобільних дорогах з обмеженнями (перешкодами) на перегонах і перехрестях мережі, виникають проблеми в управлінні дорожнім рухом із затримкою транспорту та зниженням рівня безпеки дорожнього руху.

2. Запропоновано модель аналізу формування розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування у наближенні великої її розмірності в умовах зменшення величини пропускної здатності або закриття руху на окремих ділянках такої мережі. На основі запропонованої моделі визначена критеріальна функція формування безпечних та безперешкодних умов руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування під впливом перешкод. Показано, що в якості критерію оптимальності розподілу і допустимості перешкоди на певній ділянці має бути мінімізація загального часу проїзду всіх автомобілів мережею автомобільних доріг після настання впливу перешкод руху, а також умова відсутності заторів на перегонах і пересіченнях мережі.

3. Розроблено математичну модель управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг загального користування в умовах зменшення величини пропускної здатності (через виникнення перешкоди) на ділянках мережі з урахуванням залежностей «інтенсивність – швидкість» і «затримка – інтенсивність». При цьому формування розподілу транспортних потоків внаслідок впливу перешкод руху ґрунтується на умові оптимальності розподілу потоків, що здійснюють об'їзд перешкод і відрізняється від відомих тим, що, окрім мінімізації сумарного часу проїзду транспорту мережею автомобільних доріг, виключає повернення транспортних засобів на вже пройдену частину дороги та враховує місцеві транспортні потоки.

Удосконалення методу управління транспортними потоками мережею автомобільних доріг, представлене в дисертаційному дослідженні, полягає в оптимізації розподілу транспортних потоків на мережі з урахуванням перешкод шляхом визначення оптимальних за часом маршрутів в рамках запропонованих відповідних моделей.

4. Визначені умови впровадження удосконаленого методу управління рухом транспортними потоками мережею автомобільних доріг через імітаційне моделювання на прикладі фрагменту транспортної мережі автомобільних доріг України.

В якості фрагменту мережі було обрано: ділянки автомобільної дороги М-06 Київ – Чоп (Стоянка – Київ) та Р-04 Київ – Фастів – Біла Церква – Тараща – Звенигородка (Київ, Кільцева дорога – Білогородка), частині Кільцевої дороги (м. Київ) та вулично-дорожньої мережі, що з'єднує вказані ділянки автомобільних доріг загального користування.

Проведено аналіз в існуючих умов руху транспортних потоків було визначено, що середня величина швидкості становить 50 км/год, а середній час затримки – 20,46 с. Однак при виникненні перешкоди величина середнього часу затримки значно збільшується (до 156 с), а середня величина швидкості зменшується до 37 км/год.

Зокрема, при впровадженні відповідних заходів, в рамках методу, що розглядається, середня величина швидкості транспортного потоку на мережі збільшується на 30 % і становить 49,16 км/год, а відповідно, час затримки зменшується на 65 % і становить 54,67 с.

Список публікацій здобувача

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, що включені до міжнародних наукових баз:

1. Polischuk, V. Vyhovska, I. Mathematical Model of Traffic Flow Distribution Across the Roads Network. *World Science*. 2022. 6(78). URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122022/7994

Статті у фахових виданнях України:

2. Лановий О.Т., Виговська І.А. Удосконалення функціонування мережі автомобільних доріг загального користування України. *Вісник НТУ*. Київ, 2019 Вип. 1 (43). С. 84-91 ISSN: 2308-6645. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-248-259 URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2019-1-43-084-090>

3. Лановий О.Т., Виговська І.А. Методи оцінки забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків автомобільними дорогами. *Вісник НТУ*. Київ, 2022. Вип. 1 (51) С. 248-259 URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-1-51-248-259>

4. Виговська І.А. Щодо умов руху транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування. *Вісник Національного транспортного університету*. 2022. Вип. 3 (53) С. 68-74. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-3-53-068-074>

5. Поліщук В.П., Виговська І.А., Корчевська А.А., Нагребельна Л.П. Моделювання розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг. *Дороги і мости*. 2023. Вип. 27. С. 253–266. URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.253>

6. Поліщук В.П., Виговська І.А. Формування умов руху на мережі автомобільних доріг з ділянками зменшення величини пропускної здатності. *Вісник НТУ*. 2023. Вип. 1(55). С. 211–218. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-211-218>

Опубліковані праці апробаційного характеру:

7. Виговська І.А. Аналіз функціонування та синтез розвитку автомобільних міжнародних транспортних коридорів України. *II International Scientific and Practical Conference «MODERN SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS» 24 Hours of Participation STOCKHOLM, 3-5 May 2020*. С. 275-281. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/05/MODERN-SCIENCE-PROBLEMS-AND-INNOVATIONS-3-5.05.20.pdf>

8. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А., Виговська І.А., Шелест В.В. Інноваційні методи організації дорожнього руху при управлінні транспортними потоками. *Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт»*. К. : НТУ, 2022 С.185-190. URL: [DOI: 10.33744/978-966-632-318-0-2022-3](https://doi.org/10.33744/978-966-632-318-0-2022-3)

9. Виговська І.А. Мінімізація загального часу проїзду мережею автомобільних доріг через визначення критеріальної функції «безпечних та безперервних умов руху». *LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників*

відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. К. : НТУ, 2023. С. 184.

10. Нагребельна Л.П., Виговська І.А. Щодо умов руху транспортних потоків. *LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей.* К. : НТУ, 2023. С. 157

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

11. Поліщук В.П., Корчевська А.А., Виговська І.А. До питання технології проектування організації дорожнього руху з обмеженнями на дорожній мережі. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука».* – 2022. – №8. URL: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-8-8142>.

Свідоцтва та патенти:

12. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 100473 Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру: Дослідження відповідності ділянок автомобільних міжнародних та національних транспортних коридорів одночасному руху міжнародних, національних та місцевих транспортних потоків. Автори: Лановий О.Т., Виговська І.А. Дата реєстрації 16 листопада 2020. 14с.

13. Свідоцтво про реєстрацію авторського права №111954 Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Програма та методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Технічні засоби управління дорожнім рухом» для студентів за спеціальністю: 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», освітньо-професійна програма: «Інтелектуальні системи управління дорожнім рухом». Автори: Поліщук В.П., Лановий О.Т., Янішевський С.В., Дзюба О.П., Корчевська А.А., Коляда О.О., Виговська І.А., Нагребельна Л.П. Дата реєстрації 21 лютого 2022 р.

14. Свідоцтво про реєстрацію авторського права №120184 Україна. Стаття «Моделювання транспортних потоків на мережі автомобільних доріг». Автори: Поліщук В.П., Виговська І.А., Корчевська А.А., Нагребельна Л.П. Дата реєстрації 29 червня 2023 р.

АНОТАЦІЯ

Виговська І.А. Удосконалення методу управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг – на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи (275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»), Національний транспортний університет, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню методу управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг загального користування.

На основі проведених досліджень, розроблено математичну модель розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального

користування, що відрізняється від існуючих можливістю прогнозувати умови дорожнього руху при зменшенні величини пропускної здатності (виникненні перешкоди) на окремих ділянках такої мережі, а також забезпечувати її функціонування й управління у змінених режимах руху, проведено імітаційне моделювання на досліджуваній ділянці мережі з урахуванням управлінських рішень, спрямованих на здійснення оптимального перерозподілу об'ємів руху в межах представленого удосконаленого методу управління транспортними потоками.

Ключові слова: безпека руху, інтенсивність руху, імітаційна модель, мережа автомобільних доріг, модель, організація дорожнього руху, пропускна здатність, транспортний потік, управління транспортними потоками.

ABSTRACTS.

I. Vyhovska. Improvement Method of Traffic Flow Management the Road Network. – As a manuscript.

The thesis presents a model of traffic flow distribution, which differs from the existing ones in the ability to manage traffic flows in conditions of reduced capacity of the public road network and allows to ensure the functioning of the network in conditions of changing traffic modes, to estimate the amount of traffic flows on the public road network and to solve the issue of traffic flow distribution taking into account the impact of traffic obstacles.

As a criterion for the optimal distribution and admissibility of a given obstacle at a given point, the total travel time of all vehicles on the road network «before» and «after» the onset of traffic obstacles, as well as the condition of no congestion on the stretches and intersections of the network as a result of the redistribution of traffic caused by the impact of obstacles, are taken.

As a result of traffic on the stretches and intersections of the public road network, traffic flows of a certain volume are formed that do not follow the transit route of the network in question and form flows that are not subject to distribution and must be taken into account when solving distribution problems.

The distribution of transit traffic flows through the road network is carried out along all possible routes, provided that the return of transport to the already traveled part of the route is excluded. In this case, the essence of the distribution is to determine the routes and load them with traffic flows under the adopted criterion.

To formulate methods for solving the mathematical model, methodological foundations for solving the problem of the impact of traffic obstacles on public road networks have been developed. The developed methodological aspect is ensured through the formation of dependencies «intensity – speed» and «delays – intensity». At the same time, additional research was conducted on the mathematical statistics of physical processes, namely, determining the statistical sample for constructing a regression equation for the influence of changing traffic conditions on the characteristics of the traffic flow model, determining the physical

essence of the free term of the regression solution, and studying the scope of the obtained dependencies.

The practical application of the results of the research on the impact of traffic obstacles on the distribution of traffic flows on the road network is presented.

Using the methods of graph theory, it is theoretically possible to obtain a complete set of routes that correspond to a specific network traffic pattern. At the same time, the proposed set of routes is analyzed in terms of their selection on the basis of necessity and sufficiency.

Practical application of the research results was carried out on the sections of the highway M-06 Kyiv – Chop (Stoyanka – Kyiv) and P-04 Kyiv – Fastiv – Bila Tserkva – Tarascha – Zvenyhorodka (Kyiv, Ring Road – Bila Tserkva), part of the Ring Road (Kyiv) and the street and road network connecting the specified sections of public roads.

Three variants of vehicle traffic on a section of the public road of national importance M-06 were simulated. The first variant took into account the existing traffic conditions, the second - the occurrence of an obstacle to traffic in the existing conditions, the third - the consequences of introducing the distribution of traffic flows along different routes (in order to bypass the obstacle).

According to the modeling results, if under existing conditions the average speed of the traffic flow is 50 km/h with an average delay time of 20.46 seconds per vehicle, then in the event of an obstacle to traffic, the predicted average speed decreases to 37 km/h and the average delay time increases to 156 seconds. In turn, due to the implementation of the proposed measures (introduction of the above distribution), the average speed is expected to increase to 49 km/h and the average delay time is expected to decrease to 54.67 s.

Keywords: traffic safety, traffic intensity, simulation model, road network, model, traffic organization, traffic capacity, traffic flow, traffic management.