

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ВИГОВСЬКА ІННА АНАТОЛІЇВНА

УДК 656.13

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

05.22.01 – транспортні системи

27 Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ І.А. Виговська

Науковий керівник –
Поліщук Володимир Петрович
доктор технічних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02
_____ О. Ю. Усиченко



Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Виговська І.А. Удосконалення методу управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг. – Кваліфікаційна наукова праця 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.

У дисертаційній роботі представлена модель розподілу транспортних потоків, що відрізняється від існуючих можливістю управляти рухом транспортних потоків в умовах зменшення величини пропускної здатності мережі автомобільних доріг загального користування і надає можливість забезпечити функціонування мережі у змінених режимах руху, оцінити об'єми руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування та питання розподілу транспортних потоків з урахуванням впливу перешкод руху.

В якості критерію оптимальності розподілу і допустимості даної перешкоди на даній точці прийнято загальний час проїзду всіх автомобілів мережею автомобільних доріг «до» і «після» настання впливу перешкод руху, а також умова відсутності заторів на перегонах і пересіченнях мережі в результаті перерозподілу транспорту, викликаного впливом перешкод.

В результаті руху на перегонах і пересіченнях мережі автомобільних доріг загального користування утворюються транспортні потоки певного об'єму руху, що не сліднують транзитом розглянутим маршрутом мережі і формують потоки, що не підлягають розподілу і мають бути враховані при вирішенні задач розподілу.

Розподіл транзитних транспортних потоків мережею автомобільних доріг здійснюється по всіх можливих маршрутах руху за умови виключення повернення транспорту на вже пройденої частині маршруту. При цьому суть

розподілу полягає у визначенні маршрутів руху і завантаження їх транспортними потоками у відповідності з прийнятим критерієм.

Для формування методів розв'язання математичної моделі розроблені методичні основи вирішення задачі впливу перешкод руху на мережі автомобільних доріг загального користування. Розроблений методологічний аспект забезпечується через формування залежностей «інтенсивність – швидкість» і «затримки – інтенсивність». При цьому проведені додаткові дослідження з математичної статистики фізичних процесів, а саме – визначення статистичної вибірки для побудови регресійного рівняння впливу зміни умов руху на характеристики моделі транспортного потоку, визначення фізичної сутті вільного члену регресійного рішення, а також дослідження області використання одержаних залежностей.

Представлене практичне застосування результатів дослідження щодо впливу перешкод руху на розподіл транспортних потоків мережею автомобільних доріг.

Використовуючи методи теорії графів, теоретично можливо отримати повний набір маршрутів, що відповідають конкретній схемі руху мережею. При цьому запропонований набір маршрутів аналізується з точки зору їх вибору на підставі необхідності і достатності.

Практичне застосування результатів проведених досліджень було проведено на ділянках 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 імітаційне моделювання трьох варіантів руху транспортних засобів на ділянці автомобільної дороги загального користування державного значення М-06. Перший варіант враховував існуючі умови руху, другий – виникнення перешкоди для руху в існуючих умовах, третій – наслідки

введення розподілу транспортних потоків за різними маршрутами (з метою об'їзду перешкоди).

Як засвідчили результати моделювання, якщо в існуючих умовах величина середньої швидкості транспортного потоку становить 50 км/год при середньому часі затримки одного транспортного засобу 20,46 с, то при виникненні перешкоди для руху прогнозована середня швидкість зменшується до 37 км/год, а середній час затримки збільшується до 156 с. В свою чергу, за рахунок реалізації заходів, що пропонуються (введення вищевказаного розподілу), очікується збільшення середньої швидкості до 49 км/год та зменшення середнього часу затримки 54,67 с.

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

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

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*. 2019. Вип. 1 (43). С. 84–91. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2019-1-43-084-090> <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/43/084.pdf>

3. Лановий О.Т., Виговська І.А. Методи оцінки забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків

автомобільними дорогами. *Вісник НТУ*. 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 НТУ*. 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.

ABSTRACTS.

I.Vyhovska. Improvement Method of Traffic Flow Management the Road Network. A qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Engineering Sciences: Specialty 05.22.01 «Transport systems» (275 Transport technologies (on motor transport)) National Transport University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

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.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

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.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ.....	21
1.1 Розвиток мережі автомобільних доріг в Україні.....	21
1.2 Загальна оцінка об'ємів руху транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування України.....	38
1.3 Аналіз методів оцінки розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг з урахуванням перешкод.....	44
Висновки до розділу 1.....	54
РОЗДІЛ 2 ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ РУХУ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕШКОД.....	55
2.1 Пропускна здатність автомобільної дороги – критерій оцінки запропонованого методу управління дорожнім рухом.....	55
2.2 Розробка критерію безпечних та безперешкодних умов руху.....	69
2.3 Модель розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування.....	78
2.4 Аналіз моделі розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування.....	85
2.5 Рішення задачі розподілу транспортних потоків при наявності пріоритетних напрямків руху, а також за рівнобіжними маршрутами...	90
Висновки до розділу 2.....	96
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ПЕРЕШКОД РУХУ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ...	98
3.1 Формування методів рішення математичної моделі розподілу транспортних потоків.....	98
3.2 Формування залежностей «інтенсивність – швидкість» і «затримка – інтенсивність».....	107
3.3 Дослідження алгоритмів підготовки вихідних даних для	118

вирішення задачі розподілу транспортних потоків і аналізу перешкод	
3.4 Реалізація алгоритму рішення задачі аналізу впливу перешкод на умови руху мережею автомобільних доріг.....	128
Висновки до розділу 3.....	133
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	134
4.1 Формальні характеристики дорожніх умов і транспортних потоків на досліджуваній ділянці мережі автомобільних доріг.....	134
4.2 Розподіл транспортних потоків мережею автомобільних доріг.....	135
4.3 Результати прогнозування руху транспортних потоків на автомобільних дорогах з обмеженнями на мережі автомобільних доріг.....	145
4.4 Аналіз моделювання.....	151
Висновки до розділу 4.....	153
ВИСНОВКИ.....	155
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	157
ДОДАТОК А МАТРИЦЯ ЗВ'ЯЗКІВ	171
Додаток А. 1 Матриця відповідності маршрутів і перегонів для зв'язку 1-2.....	174
Додаток А. 2 Матриця зв'язків перегонів.....	174
ДОДАТОК Б СКАНКОПІЇ ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....	175
ДОДАТОК В СКАНКОПІЇ СВІДОЦТВ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР.....	180
ДОДАТОК Г СПИСОК ПОБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....	184

ВСТУП

Актуальність роботи. Аналіз розвитку мережі автомобільних доріг загального користування в Україні визначає значну недостатність сумарної пропускної здатності, 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 пропускної здатності (часткове чи повне припинення руху транспорту) на одній з ділянок мережі з точки зору управління може розглядатись як утворення певної перешкоди, а тому реагування на таку ситуацію вимагає визначення умов руху з оптимізацією загального часу проїзду.

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 у вирішенні цих проблем належить управлінню транспортними потоками мережею автомобільних доріг.

Проведено аналіз загального стану мережі, величин об'ємів руху транспортних потоків та методів оцінки їх розподілу на мережі автомобільних доріг загального користування з урахуванням перешкод. Через відсутність методів прогнозування руху транспортних потоків з перешкодами на мережі автомобільних доріг, виникають проблеми з управлінням дорожнього руху і, як наслідок – затримки транспорту та зниження рівня безпеки дорожнього руху.

Розроблена модель розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування через зменшення пропускної здатності або припинення руху на одній з ділянок (перегонів) мережі. На основі моделі запропонована критеріальна функція для рішення задачі розподілу транспортних потоків мережею при виникненні перешкоди.

Розроблена математична модель ґрунтується на умові оптимальності

розподілу транспортних потоків, що здійснюють об'їзд перешкод і відрізняється від відомих тим, що, окрім мінімізації сумарного часу проїзду транспорту мережею автомобільних доріг, вона виключає повернення транспортних засобів назад (на ділянку, яка вже пройдена) та враховує об'єми місцевих транспортних потоків.

Проведено імітаційне моделювання трьох варіантів руху транспортних засобів на ділянці автомобільної дороги загального користування державного значення М-06. Перший варіант – враховував існуючі умови руху, другий – виникнення перешкоди для руху в існуючих умовах, третій – наслідки введення розподілу транспортних потоків за різними маршрутами (з метою об'їзду перешкоди).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Наведені в дисертації основні результати і рекомендації розроблено на основі викання у Національному транспортному університеті наступних наукових 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», (2012-2013рр., 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-CBHE-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 (виникненні 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 розроблення 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 пропускної 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.

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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

1.1 Розвиток мережі автомобільних доріг загального користування в Україні

Дотепер дослідження у сфері автомобільних доріг були, головним чином присвячені вирішенню теоретичних і практичних проблем за такими напрямками як: проектування, будівництво, ремонт та утримання доріг, визначенню закономірностей руху окремих транспортних засобів чи транспортних потоків автомобільними дорогами.

Бурхливий розвиток промисловості, що ґрунтується на використанні досягнень технічного прогресу – є головною характеристикою розвитку світового суспільства за останні десятиріччя. В певній мірі, це стосується і розвитку автомобілебудування, наслідком якого є постійно прогресуючий процес зростання автомобільного парку.

Позитивне значення цього процесу для розвитку суспільства не викликає сумнівів, однак разом з тим він несе значний рівень небезпеки.

Метою розвитку мережі автомобільних доріг загального користування на етапі подальшої інтеграції країни з ЄС є створення умов для якнайшвидшого розвитку економіки та громадянського суспільства країни, стабілізація соціально-економічної ситуації й підвищення ділової активності населення шляхом задоволення попиту та доступності в автомобільних перевезеннях і залучення різних секторів економіки та населення країни до її реалізації.

З 2015 року Україна здійснює значні зусилля для розвитку мережі автомобільних доріг у країні. Було прийнято кілька важливих стратегічних рішень та запущено ряд проектів з метою покращення якості і доступності дорожньої інфраструктури.

Одним із ключових кроків було створення Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) у 2015 році, нині це Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України (Агентство відновлення). Ця організація реалізує державну політику у сфері дорожнього господарства та управління автомобільними дорогами загального користування державного значення, реалізує державну політику в частині здійснення заходів з будівництва (нового будівництва, реконструкції, реставрації, капітального ремонту), ремонту, модернізації інфраструктури тощо. Агентство відновлення, відповідно до покладених на нього завдань, забезпечує організацію будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування державного значення у нашій країні.

Агентство активно працює над модернізацією, удосконаленням та розширенням існуючих доріг, а також будівництвом нових. Було запущено декілька великих проектів, включаючи реконструкцію на таких автомобільних дорогах як: М-03 Київ – Харків – Довжанський, М-05 Київ – Одеса та М-06 Київ – Чоп.

Укравтодор активно працює над модернізацією та розширенням існуючих доріг, а також будівництвом нових. Було запущено декілька великих проектів, включаючи реконструкцію та розширення автомобільних доріг загального користування, таких як траса Київ – Харків, Київ – Одеса, та Київ – Чоп.

Було прийнято законодавчі акти та програми, спрямовані на забезпечення сталого розвитку дорожньої інфраструктури. Наприклад, була запроваджена Програма розвитку автомобільних доріг до 2022 року, яка передбачає реалізацію ряду проектів із будівництва та реконструкції доріг на всій території України.

Для залучення фінансування та технічної підтримки у реалізації проектів з розвитку автомобільних доріг Україна співпрацює з міжнародними фінансовими установами: Європейський банк реконструкції та розвитку та Європейський інвестиційний банк.

Україна також приєдналася до Європейського договору про міжнародні автомобільні перевезення (МДП) та працює над гармонізацією своїх стандартів та правил з дорожніми нормами Європейського Союзу.

Загалом, розвиток мережі автомобільних доріг в Україні з 2015 року відбувається активно, але все ще є потреба в подальших зусиллях для досягнення високих стандартів якості та безпеки дорожнього руху.

За період з 2010 по 2020 рік в Україні відбулася помітна автомобілізація.

У цей період значно зросло число зареєстрованих автомобілів в Україні. Поступове поліпшення економічної ситуації в країні, зміни в політиці і стимулювання внутрішнього споживання сприяли збільшенню числа приватних автомобілів. Крім того, відбулося помітне зростання імпорту нових і б/у автомобілів.

Зростання автомобілізації також стало причиною збільшення автомобільного парку в країні. За цей період були інтенсивно ввезені іноземні автомобілі, що дозволило громадянам мати більший вибір при покупці авто.

Проте, разом із збільшенням автомобільного парку виникли проблеми, пов'язані зростанням інтенсивності. Затори, недостатня інфраструктура, проблеми із паркуванням та забруднення довкілля стали актуальними питаннями. Для подолання цих проблем уряд України продовжує розробку та впровадження заходів, спрямованих на поліпшення дорожньої інфраструктури та розвиток громадського транспорту.

Тобто, розрив між темпами автомобілізації населення та темпами збільшення мережі автомобільних доріг буде зростати, а інтенсивність руху на атомобільних – підвищуватись.

З іншого боку, досвід країн з розвинутою економікою показує, що чим швидше зростає валовий внутрішній продукт, тим більше стає частка автомобільного транспорту. Тому, з урахуванням позитивного прогнозу економічного розвитку, очікується подальше збільшення кількості вантажних та легкових автомобілів на дорогах.

Показником автомобілізації є кількість автомобілів на 1000 чоловік

населення. За даними останніх доступних статистичних даних, на 2021 рік цей показник в Україні становив приблизно 256 автомобілів на 1000 чоловік.

Як свідчать дані дослідження, проведеного Міжнародною дорожньою федерацією (International Road Federation), світовими лідерами (топ-10) за рівнем автомобілізації населення були такі передові за економічним розвитком держави як: Сан-Марино (1139 автомобілів на 1000 осіб наявного населення держави), Ліхтенштейн (750 авт./1000 осіб), Монако (732 авт./1000 осіб), Люксембург (665 авт./1000 осіб), Ісландія (644 авт./1000 осіб), Пуерто-Ріко (621 авт./1000 осіб), Італія (602 авт./1000 осіб), Нова Зеландія (599 авт./1000 осіб), Мальта (579 авт./1000 осіб) та Австралія (556 авт./1000 осіб). В Україні рівень автомобілізації складає 191 автомобіль на 1000 осіб. [1]

Показник забезпеченості дорогами (щільність) в розрахунку на 1000 км² території в Україні – 280,9 км/1000 км². Одночасно щільність автодоріг європейських країн, найбільш порівняних за територією з Україною, становить у Франції – 1459,3 км/1000 км², Польщі – 960,5 км/1000 км², Іспанії – 627,7 км/1000 км²[2,3].

По відношенню до чисельності населення щільність автодоріг в Україні становить 3,5 км на 1000 мешканців, що є, практично, найнижчим показником в Європі. Для порівняння у Франції забезпеченість дорогами на 1000 мешканців складає 14,6 км, Іспанії – 8,2 км, Польщі – 8,1 км. Отже, за забезпеченістю дорогами на 1000 мешканців та на 1000 км² території Україна займає останні місця серед країн Європи [2].

Іншим прикритим наслідком незадовільного стану дорожніх умов є десятки тисяч ДТП, які щороку трапляються на автомобільних дорогах України, в яких кожного року гинуть близько 6 тис. людей [5-7]. У порівнянні з країнами з розвинутою ринковою економікою в Україні кількість ДТП на тисячу транспортних засобів в 7-10 разів вище, ніж у США, Японії, Німеччині, Франції, Фінляндії та інших країнах [8]. У роботі [9] проведений статистичний аналіз ДТП та наведений прогноз смертних випадків.

Дорожньо-транспортні пригоди найчастіше виникають у місцях, де водії повинні різко змінювати режими руху через раптове ускладнення дорожніх умов, наприклад, на транспортних спорудах або кривих малого радіусу. У цих місцях, у зв'язку з несприятливими сполученнями елементів плану і профілю, погіршенням рівності дорожнього покриття, можливістю раптової появи пішоходів і т.п., припустимою є тільки обмежена швидкість. У той же час, на попередніх ділянках причини для обмеження швидкості відсутні. Тому водії, які мають підвищений час реакції або такі, що послабили увагу, є недосвідченими чи недисциплінованими та рухаються з високою швидкістю, незважаючи на особливості розташованих перед ними ділянок дороги й зненацька зіштовхуючись з необхідністю різкого зниження швидкості, можуть потрапити в критичну дорожньо-транспортну ситуацію [10-13].

Для вирішення проблем удосконалення й розвитку мережі автомобільних доріг України, накопичених у транспортно-дорожньому комплексі, необхідний системний підхід та вирішення цілого ряду задач:

- розвиток мережі автомобільних доріг має бути взаємопов'язаним із станом економіки, а також з розвитком єдиної транспортної системи в Україні.
- ефективне управління транспортними потоками сприятимуть зменшенню заторів і збільшенню пропускної здатності мережі автомобільних доріг;
- комплексно розглядатися питання розвитку всіх автомобільних (позаміських) доріг незалежно від їх значення;
- охоплюватися комплекс проблем, включаючи питання удосконалення управління, законодавчої та нормативної бази, державного регулювання, тощо;
- підходи мають базуватися на сучасних, загальноприйнятих у світовій практиці методах вивчення ринкової економіки та транспортної логістики.

Автомобільна дорога – лінійний комплекс інженерних споруд, призначений для безперервного, безпечного та зручного руху транспортних засобів [14]. Мережа автомобільних доріг загального користування в Україні

нараховує 46 640 тис. км 97,8% доріг мають тверде покриття.

Мережа автомобільних доріг України за останні 80 років зазнала значних змін. У 1940 році загальна довжина автомобільних доріг складала 270,7 тисяч кілометрів, але переважно це були дороги з ґрунтовим покриттям. Лише 10,8% доріг мали тверде покриття. Тому головною задачею дорожнього господарства протягом практично всього радянського періоду було будівництво доріг із твердим покриттям [15-17].

Через більш раціональне розташування нових доріг з твердим покриттям, деякі ґрунтові дороги втратили свою роль як дороги загального користування, що призвело до скорочення загальної довжини доріг.

Найбільш інтенсивними темпами будівництво та реконструкція доріг в Україні проводилась у 60-70 роки [18]. З ХХ століття і на момент розпаду Радянського Союзу існуюча на даний час в Україні мережа автомобільних доріг загального користування була фактично збудована.

Принципово нова класифікація автомобільних доріг України, викладена в Законі України «Про автомобільні дороги» [14], спрямована на врегулювання на законодавчому рівні питань функціонування мережі доріг усіх рівнів на території України в сучасних умовах з урахуванням: перспектив розвитку, входження в Європейську транспортну систему, вимог законодавства Європейського Союзу.

Автомобільні дороги України поділяються на [14,15]:

- автомобільні дороги загального користування;
- вулиці і дороги міст та інших населених пунктів;
- відомчі (технологічні) автомобільні дороги;
- автомобільні дороги на приватних територіях;
- автомобільні дороги оборонного значення.

Класифікацію автомобільних доріг наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Класифікація автомобільних доріг України

Автомобільні дороги загального користування є загальнодержавною власністю, що не підлягає приватизації. Вони призначені задовольняти потреби суспільства в автомобільних пасажирських і вантажних перевезеннях у складі транспортної системи країни.

Статистика свідчить що майже половина (41%) усіх доріг районні, (31%) обласні, (13%) територіальні, (6%) міжнародні, (5%) територіальні, (4%) національні.

Загальна протяжність автомобільних доріг державного значення станом на 30.01.2019 становить 46 640 км (до 2019 року було – 49117,4 км). Завдяки Національній програмі «Велике будівництво» за 2020-2021 роки в Україні вдалося оновити й побудувати понад 14 тис. км автомобільних доріг.

Розподіл автомобільних доріг загального користування України (за значенням) наведено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Розподіл автомобільних доріг України (за значенням)

Всі розміщені вздовж автомобільних доріг об'єкти інфраструктури повинні відповідати вимогам безпеки дорожнього руху.

Підвищення безпеки руху на автомобільних дорогах загального користування є важливим завданням для розвитку цього сегменту, заходи, які можуть сприяти покращенню безпеки руху. Важливо визначити чіткі правила та законодавчу базу, що регулюють діяльність дорожніх служб і користувачів автомобільних доріг загального користування та контроль дотримання вимог до водіїв, транспортних засобів у відповідності до правил дорожнього руху.

Об'єкти транспортної інфраструктури забезпечують умови безпечної та ефективної роботи транспорту, зручність для користувачів.

Основні принципи планування та будівництва транспортної інфраструктури:

- головним пріоритетом має бути безпека користувачів доріг, об'єкти транспортної інфраструктури повинні враховувати принципи проектування, що сприяють запобіганню дорожньо-транспортним пригодам та мінімізації їх наслідків.
- пропускна здатність автомобільних доріг повинна бути розрахована на ефективний рух транспортних потоків та задоволення потреб у перевезеннях. Вона повинна забезпечувати достатню пропускну здатність,

уникати заторів та оптимізувати рух транспорту.

- комфорт: об'єкти транспортної інфраструктури повинні бути зручними для користувачів, забезпечуючи швидкість переміщення та доступ до різних місць.
- екологічна сталість при проектуванні та будівництві транспортної інфраструктури необхідно враховувати екологічні аспекти, які включають зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, використання енергоефективних технологій та розвиток сталого транспорту.

У Законі України «Про автомобільні дороги» врегульовані правові засади функціонування та розвитку автомобільних доріг загального користування, а також вулиць і доріг міст та населених пунктів, відомчих (технологічних) автомобільних доріг та автомобільних доріг на приватних територіях, що до цього не мали законодавчого забезпечення.

Автомобільні дороги загального користування поділяються на автомобільні дороги державного та місцевого значення.

Автомобільні дороги державного значення діляться на: міжнародні, національні, регіональні, територіальні.

До *міжнародних автомобільних доріг* належать дороги, що суміщаються з міжнародними транспортними коридорами та/або входять до Європейської мережі основних, проміжних, з'єднувальних автомобільних доріг та відгалужень, мають відповідну міжнародну індексацію і забезпечують міжнародні автомобільні перевезення.

Загальна протяжність міжнародних автомобільних доріг на території України – 9311.2 км (до 30.01.2019 – 8652,7 км).

До *національних автомобільних доріг* належать автомобільні дороги, що суміщені з національними транспортними коридорами і не належать до міжнародних автомобільних доріг, та автомобільні дороги, що з'єднують столицю України – місто Київ, адміністративний центр Автономної Республіки Крим, адміністративні центри областей, місто Севастополь між

собою, великі промислові і культурні центри з міжнародними автомобільними дорогами.

Загальна протяжність національних автомобільних доріг – 7175.2 км (до 30.01.2019 – 4830,4 км).

До *регіональних автомобільних доріг* належать автомобільні дороги, що з'єднують дві або більше областей між собою, автомобільні дороги, що з'єднують основні міжнародні автомобільні пункти пропуску через державний кордон, морські та авіаційні порти міжнародного значення, найважливіші об'єкти національної культурної спадщини, курортні зони з міжнародними та національними автомобільними дорогами.

Загальна протяжність регіональних автомобільних доріг – 8492.6 км (до 30.01.2019р. – 10089,8 км).

До *територіальних автомобільних доріг* належать автомобільні дороги, що з'єднують адміністративні центри Автономної Республіки Крим і областей з адміністративними центрами районів, містами обласного значення, міста обласного значення між собою, адміністративні центри районів між собою, а також автомобільні дороги, що з'єднують з дорогами державного значення основні аеропорти, морські та річкові порти, залізничні вузли, об'єкти національно-культурного надбання та курортного і природно-заповідного фонду, автомобільні пункти пропуску міжнародного та міждержавного значення через державний кордон.

Загальна довжина територіальних доріг становить 21 661 км (до 30.01.2019 – 25544,5 км)

Автомобільні дороги місцевого значення поділяються на: обласні, районні.

До *обласних автомобільних доріг* належать автомобільні дороги, що з'єднують адміністративні центри Автономної Республіки Крим і областей з іншими населеними пунктами в межах Автономної Республіки Крим чи області та із залізничними станціями, аеропортами, річковими портами, пунктами пропуску через державний кордон, місцями відпочинку і не

належать до доріг державного значення.

До *районних автомобільних доріг* належать автомобільні дороги, що з'єднують адміністративні районні центри з іншими населеними пунктами, інші населені пункти між собою, з підприємствами, об'єктами культурного значення, іншими дорогами загального користування у межах району.

За новою класифікацією місцеві дороги з високою інтенсивністю руху перейшли в категорію регіональних та частково національних державних доріг, внаслідок чого загальна протяжність доріг державного значення зросла до 25-26 тис. км.

Крім адміністративно-господарської класифікації існує інженерна або технічна класифікація автомобільних доріг.

За технічними даними автомобільні дороги розподіляються на 5 категорій. Категорія дороги визначається під час її проектування в залежності від розрахункової інтенсивності або найбільшої перспективної годинної інтенсивності дорожнього руху (табл. 1.1). Інтенсивність руху визначають сумарно в обох напрямках за даними досліджень. За розрахунковий перспективний період для визначення категорії дороги приймають 20 років з часу завершення розробки проекту.

Технічну класифікацію автомобільних доріг за категоріями залежно від розрахункової середньорічної добової перспективної інтенсивності руху наведено в таблиці 1.1 [19].

Таблиця 1.1 - Технічна класифікація автомобільних доріг за категоріями [19].

Категорія дороги	Розрахункова інтенсивність руху, авт./добу	
	транспортних одиниць	приведена до легкового автомобіля
I-а – I-б	понад 10000	понад 14000
II	від 3000 до 10000	від 5000 до 14000
III	від 1500 до 3000	від 2500 до 5000
IV	від 150 до 1500	від 300 до 2500
V	до 150	до 300
Примітка. При однакових вимогах до доріг I-а та I-б категорій далі вони позначаються як дороги I категорії.		

Розрахункова інтенсивність руху є усередненою на останній рік перспективного періоду добовою характеристикою інтенсивності дорожнього руху для кожної ділянки автодороги.

Найбільша перспективна годинна інтенсивність руху враховує пікові умови дорожнього руху з метою забезпечення нормального проїзду зазначеною ділянкою дороги такої кількості автомобілів.

Від категорії і розрахункової швидкості руху залежать основні параметри дороги. За розрахункову швидкість приймається найбільш можлива безпечна швидкість поодиноких автомобілів при нормальних погодних умовах і забезпеченості необхідного зчеплення шин автомобілів з поверхнею проїзної частини з урахуванням складності ділянок дороги (табл. 1.2) . Розрахункова швидкість руху пов'язана з такими показниками, як: радіуси кривих, довжина прямої вставки, похил дороги, найменша відстань видимості.

Таблиця 1.2 - Розрахункова швидкість руху для доріг різної категорії, км/год [19].

Категорія дороги	Розрахункова швидкість руху, км/год.		
	Основна на рівній місцевості	допустима на складних ділянках місцевості	
		горбистій	гірської
Ia	130	100	80
Iб	110	90	70
II	90	70	60
III	90	60	50
IV	90	50	30
V	90	40	30
Примітка 1. До горбистої місцевості належить рельєф, часто порізаний глибокими долинами з різницею позначок дна долин і вододілів понад 50 м на відстані не більше 0,5 км, з бічними глибокими ярами і нестійкими схилами, з долинами передгірських рік з бічними притоками. Примітка 2. До гірської місцевості належать ділянки перевалів (плюс один кілометр в кожний бік від перевалу) через гірські хребти і ділянки гірських ущелин із складними, сильно порізаними або нестійкими схилами, ділянки розповсюдження пластичних зсувів ґрунтів та осипів, долини гірських рік з бічними притоками.			

Отже, технічні параметри яких найбільше відповідають сучасним європейським і світовим вимогам, становлять всього 14,7 тис. км, тобто 8,7 % загальної довжини (9 % від протяжності доріг з твердим покриттям). Найвищий відсоток таких доріг в Київській – 16,5 %, Донецькій – 14,3 %, Запорізькій – 14,0 % і Львівській – 11,5 % областях, а також в Автономній республіці Крим – 12,6 %, зокрема у зоні м. Севастополь – 32,9 %. Гірше за всіх забезпечені сучасними дорогами I і II категорії Кіровоградська область – 4,0 %, Чернігівська – 4,2 %, Сумська – 5,2 %, Полтавська – 5,3 % [15,20].

Проведено технічно-економічний аналіз за 2018 рік [21-25].

Дороги I категорії з обов'язковою розділювальною смугою і 2-4 смугами для руху в одному напрямку мають протяжність всього 2,2 тис. км або 1,3 % від протяжності доріг з твердим покриттям. Це значно менше від потреби, яка становить близько 10 тис. км. Найбільше доріг I категорії в Київській області – 419 км. Після неї йдуть Житомирська – 233 км, Донецька – 277,5 км, Дніпропетровська – 296,7 км і Харківська – 180,6 км. Деякі області практично не мають доріг такої якості: Кіровоградська – 0 км, Сумська – 3,8 км, Закарпатська – 18,5 км і Чернівецька – 18,5 км.

55 % державних доріг (7,8 тис. км) – це дороги II категорії.

68 % місцевих доріг (106,2 тис. км) становлять дороги IV категорії.

Середньозважений показник категорій доріг в Україні становить 3,71, що набагато нижче порівняно з будь-якою європейською країною. Це означає, що національна мережа доріг загального користування відповідає в основному IV технічній категорії з шириною проїзної частини 6-7 м. Здійснення переважної більшості перевезень такими дорогами призводить до значних втрат як продукції, так і пального.

Існуюча мережа автомобільних доріг характеризується незадовільним транспортно-експлуатаційним станом. Відповідно до інформації Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор), на даний час термінового ремонту потребують близько 80 % мережі автошляхів,

капітального ремонту та перебудови – понад 60 % автодорожніх мостів, рівень зношеності дорожніх споруд складає 43,7 % [27].

Через низький технічний рівень, невідповідність параметрів автомобільних доріг вимогам транспортних потоків, перевантаження їх окремих ділянок середня швидкість руху ними складає 30 км/г, що призводить до збільшення собівартості автомобільних перевезень на 20 – 25 %. Через вплив рівності покриття проїзної частини, що на більшій частині наших доріг оцінюється як задовільна, вартість перевезень додатково зростає на 30 – 50 %. За даного технічного стану доріг автомобіль витрачає в 1,5 рази більше пального, ніж у розвинених країнах. У поганих дорожніх умовах вартість обслуговування автомобілів зростає у 2,5 – 3,4 рази, термін служби покришок скорочується в 1,15 – 1,8 рази, термін служби автомобіля скорочується на 30 %, а його продуктивність значно падає [28].

Забезпеченість твердим покриттям на дорогах державного значення становить 100 %, на місцевих – 96,5 %. На 100 відсотків забезпечені дорогами з твердим покриттям Республіка Крим, Івано-Франківська і Полтавська області. Далі розташовані:

- Дніпропетровська – 99,9 %,
- Чернівецька – 99,8 %,
- Закарпатська, Миколаївська і Київська – 99,5 %,
- Донецька – 99,2 %,
- Тернопільська і Хмельницька – 99,1 %.

Найнижчі показники мають:

- Кіровоградська – 86,9 % (935 км ґрунтових доріг),
- Сумська – 89,1 % (791 км ґрунтових доріг),
- Волинська – 89,5 % (661 км ґрунтових доріг),
- Чернігівська – 91,9 % (626 км ґрунтових доріг),
- Вінницька – 93,9 % (576 км ґрунтових доріг) області.

81 % державних доріг мають асфальтобетонне покриття, 8,7 % – цементобетонне і 10,2 % – чорне.

Із загальної протяжності доріг з твердим покриттям в Україні 78,7 % складають дороги з удосконаленими типами покриття. Найвища частка таких доріг в:

- Луганській області – 98,4 %,
- Донецькій області – 97,8 %
- Дніпропетровській області – 97,6 %,
- Київській області – 96,0 %,
- Харківській та Запорізькій областях – по 94,8 %.

В західних областях, при майже повній забезпеченості дорогами з твердим покриттям, ще дуже високий рівень доріг з перехідними типами покриття (біле шосе, гравійні дороги, бруківка). Найбільше таких доріг у наступних областях:

- Чернівецькій – 51,8 %,
- Рівненській – 51,8 %,
- Волинській – 53,7 %
- Вінницькій – 57,3 %.

Рівень транспортної забезпеченості та доступності населених пунктів є необхідною передумовою їх соціально-економічного розвитку.

Підсумовуючи наведене, можна зробити висновок, що значне відставання розвитку мережі автомобільних доріг від темпів автомобілізації призведе до наступних негативних наслідків:

- збільшення часу в дорозі пасажирів та вантажів;
- зростання транспортних витрат;
- займання транспортними спорудами землі в межах населених пунктів (до 20-30 % території у великих містах);
- збільшення кількості скоєних дорожньо-транспортних пригод;
- загострення проблем забруднення навколишнього середовища;
- погіршення роботи міського пасажирського транспорту;
- збільшення витрат пального і, як наслідок, вартості перевезень на 20 %;

- зростання терміну доставки вантажу, витрат на оплату праці водія та вартості обслуговування автомобілів, що підвищує вартість перевезень приблизно на 20 %;
- зростання в незадовільних дорожніх умовах вартості обслуговування автомобілів, скорочення терміну їх служби (до 30 %) та зменшення продуктивності.
- незадовільного стану автомобільних доріг і мостових споруд України, який постійно погіршується внаслідок недоремонтів, викликаних хронічним недофінансуванням дорожнього господарства, низькою якістю матеріалів, незадовільним рівнем кваліфікації виконавців;
- хронічне відставання темпів розвитку мережі автомобільних доріг від темпів автомобілізації;
- зростаюча на деяких напрямках швидкими темпами інтенсивність руху, на яку не розраховані українські дороги переважно IV категорії;
- збільшення кількості вантажних транспортних засобів, вагові та габаритні параметри яких перевищують нормативно допустимі для наших доріг;
- низька середня швидкість руху.

Через низький технічний рівень мережі доріг, невідповідність параметрів доріг інтенсивності дорожнього руху та складу рухомого парку, перевантаження окремих ділянок доріг середня швидкість руху на українських дорогах складає 30 км/год, що у два рази нижче за європейські показники [18].

Все це доводить, що мережа автомобільних доріг України знаходиться в катастрофічному стані й без прийняття негайних заходів щодо її «оздоровлення» призведе до параліча дорожнього руху.

Для досягнення позитивних результатів на шляху наближення до Європейських показників потрібен системний, комплексний підхід.

Враховуючи значні темпи зростання інтенсивності руху автотранспортних засобів на окремих ділянках доріг протягом останніх років, а також фактичний стан автомобільних доріг, можна з упевненістю говорити

про те, що мережа автомобільних доріг України потребує реконструкції та розвитку відповідно до сучасних вимог.

Особливо велике завантаження мають магістральні дороги, якими крім транзитних перевезень здійснюється понад 70% внутрішніх перевезень. В результаті, інтенсивність руху на них зростає в середньому на 15-20 % на рік, в той час як на дорогах місцевого значення зростання знаходиться в межах 1 - 2 %.

Проблеми функціонування автомобільних доріг загального користування наведено в працях [20,29-31].

Таким чином, низька категорія місцевих доріг, їх недостатність і поганий стан спричиняють до невиправданого переходу частини перевезень з місцевих доріг на більш якісні магістральні, що суттєво збільшує завантаженість магістральних доріг.

Перспективи розвитку мережі автомобільних доріг включають наступні аспекти:

1) Розбудова мережі автомобільних доріг 1а та 1б категорії може забезпечити більш швидкий та ефективний рух між містами і регіонами. Введення мережі швидкісних автомобільних доріг дозволяє зменшити час подорожі та полегшити перевезення вантажів.

2) Впровадження сучасних технологій інформаційних систем. Використання сучасних технологій інформаційних систем, таких як смарт-дороги, системи керування рухом, системи електронного толу та інші, може покращити ефективність та безпеку дорожнього руху.

3) Створення інтегрованих транспортних систем, які поєднують різні види транспорту, такі як автомобільний, громадський та велосипедний транспорт, може забезпечити зручність та вибір для користувачів, а також зменшити затори та екологічний вплив.

Ці перспективи вимагають інвестицій у транспортну інфраструктуру, довгострокових планувань та співпраці між різними стейкхолдерами для досягнення сталого та ефективного розвитку мережі автомобільних доріг.

1.2 Загальна оцінка об'ємів руху транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування України

Автомобільний транспорт міцно увійшов до сучасного життя, забезпечуючи великий об'єм перевезень у всіх сферах людської діяльності. Промисловість, будівельна індустрія, сільське господарство, торгівля не можуть нормально функціонувати без широкого використання автомобілів. Автомобільні перевезення стали невід'ємною ланкою транспортного процесу практично на всіх видах транспорту, оскільки підвезення вантажів і пасажирів до залізничних станцій, водних і повітряних портів забезпечується головним чином автомобілями.

Дослідження транспортних потоків на автомобільних дорогах є важливою частиною транспортного планування та управління, що допомагає визначати умови руху: швидкість, щільність, інтенсивність та пропускна здатність на загальну ефективність та безпеку дорожнього руху.

Методи дослідження транспортних потоків:

- Відеоспостереження. За допомогою відеокамер можна збирати дані про рух транспорту на конкретних ділянках дороги. Ці дані потім можна аналізувати для визначення параметрів транспортного потоку, таких як інтенсивність, швидкість та склад транспортного потоку.

- Датчики руху. Інфрачервоні датчики, магнітні петлі та інші технології можуть використовуватися для вимірювання інтенсивності руху та швидкості транспортного потоку.

- Мобільний збір даних. GPS-дані з мобільних додатків та інші технології можуть використовуватися для відстеження руху транспорту в режимі реального часу.

- Анкетування водіїв. Іноді корисно збирати інформацію безпосередньо від водіїв про їхні маршрути, час подорожі та інші аспекти їхньої поведінки на дорозі.

- Моделювання руху. Ці методи використовуються для прогнозування майбутніх умов руху та оцінки можливих впливів різних стратегій управління руху.

- Дослідження транспортних потоків допомагає розробляти стратегії для покращення ефективності та безпеки дорожнього руху, включаючи планування нових доріг, вдосконалення дизайну доріг та оптимізацію систем управління руху.

Дослідженням транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування та вивчення закономірностей руху займались: Хом'як А.Я., Поліщук В.П., Лановий О.Т., Янішевський С.В., Вознюк А.Б., Пальчик А.М., Дрю Д.Р.

Основні характеристики руху транспортних потоків та аналіз мережі доріг України розглянуто в роботах [32-34].

У роботі [35] підвищення ефективності функціонування мережі автомобільних доріг на основі прогнозування попиту користувачів доріг за умови безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків, урахування вартості та термінів будівництва і витрат на утримання доріг, специфіки роботи дорожнього господарства, показників розвитку суспільства та економіки країни, а також розробка методу формування системи управління функціонуванням і розвитком мережі автомобільних доріг загального користування України.

У роботі [36] встановлено загальний вигляд рівнянь залежності середньої швидкості руху транспортного потоку від радіусів горизонтальних кривих та швидкості руху від поздовжнього похилу; проаналізований вплив дорожніх умов на швидкість руху, згідно дослідження графіків середніх швидкостей до та після покращення умов руху на ділянках дороги.

За останні роки спостерігається негативна тенденція допустимих норм навантаження автомобілів, що призвело до швидкого руйнування дорожнього покриття.

У роботі [37] розглянуті загальні тенденції щодо створення систем управління дорожнім рухом (HTMS) як складової інтелектуальних транспортних систем, що займається збором даних для подальшого управління. Автором розглянуті останні технологічні розробки що дозволяють створювати нові програми з використанням неоднорідних даних про дорожній рух, а також основні моменти майбутніх напрямків досліджень у цій галузі.

Створення Системи WIM (Система зважування в русі) в Україні здійснюється відповідно до Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018 – 2022 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 21 березня 2018 року № 382, з метою збереження дорожнього покриття та скорочення видатків на утримання автомобільних доріг загального користування державного значення.

Наприкінці 2019 року Укравтодором спільно зі Службами автомобільних доріг в областях та Укртрансбезпекою було складено перелік ділянок (приблизно 250) автомобільних доріг загального користування, рекомендованих для спорудження майданчиків WIM з огляду на наступні причини [38]:

- зазнають значного руйнівного впливу від великовагових транспортних засобів;
- знаходяться поблизу підприємств або організацій, які створюють або поглинають великовагові транспортні потоки, наприклад, порти, елеватори, кар'єри тощо;
- мають прийнятні геометричні характеристики, точки підключення до електромереж та ліній зв'язку;
- були нещодавно відремонтовані або ремонтні роботи заплановані на найближчі роки, для забезпечення необхідних характеристик дорожнього одягу: міцність та рівність.

Робота системи WIM позитивно впливає на безпеку дорожнього руху з наступних причин:

Виявлення перевантажень. Система WIM дозволяє виявляти перевантажені транспортні засоби, що можуть негативно впливати на стан дорожнього покриття їх довговічність. Перевантажені вантажівки можуть стати причиною пошкоджень дорожнього полотна, зруйнування мостів або спричинити нестабільність руху. За допомогою системи WIM можна ефективно виявляти такі транспортні засоби та вживати заходи щодо їхнього контролю.

Забезпечення дотримання вагових обмежень. Система WIM допомагає контролювати виконання вагових обмежень для різних категорій транспортних засобів. Це важливо, оскільки перевантажені вантажівки можуть бути менш стійкими та складніше керуваними, що збільшує ризик виникнення аварій та небезпеку для інших учасників дорожнього руху.

Зменшення нестабільності транспортних засобів. Виявлення перевантажень за допомогою системи WIM сприяє забезпеченню рівномірного розподілу вантажу та зниженню нестабільності транспортних засобів, особливо великогабаритних вантажівок. Це допомагає зберегти контроль над транспортним засобом та зменшити ризик виникнення аварій.

Запобігання пошкодженням доріг. Перевантажені транспортні засоби можуть призводити до пошкоджень дорожнього покриття, що може стати причиною виникнення ям, тріщин та інших небезпечних умов на дорогах. Виявлення перевантажень за допомогою системи WIM дозволяє вживати заходів для запобігання таким пошкодженням та збереження якості дорожнього покриття.

В цілому, система WIM впливає на безпеку дорожнього руху шляхом виявлення перевантажень, контролю вагових обмежень та запобігання пошкодженням доріг. Це сприяє зменшенню ризику виникнення дорожньо-транспортних подій та підвищенню стабільності та безпеки на дорозі.

Системи зважування також накопичують статистичні дані про інтенсивність руху, швидкість руху та склад транспортних потоків.

Об'єм середньорічної добової інтенсивності руху на автомобільних

дорогах загального користування наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – 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

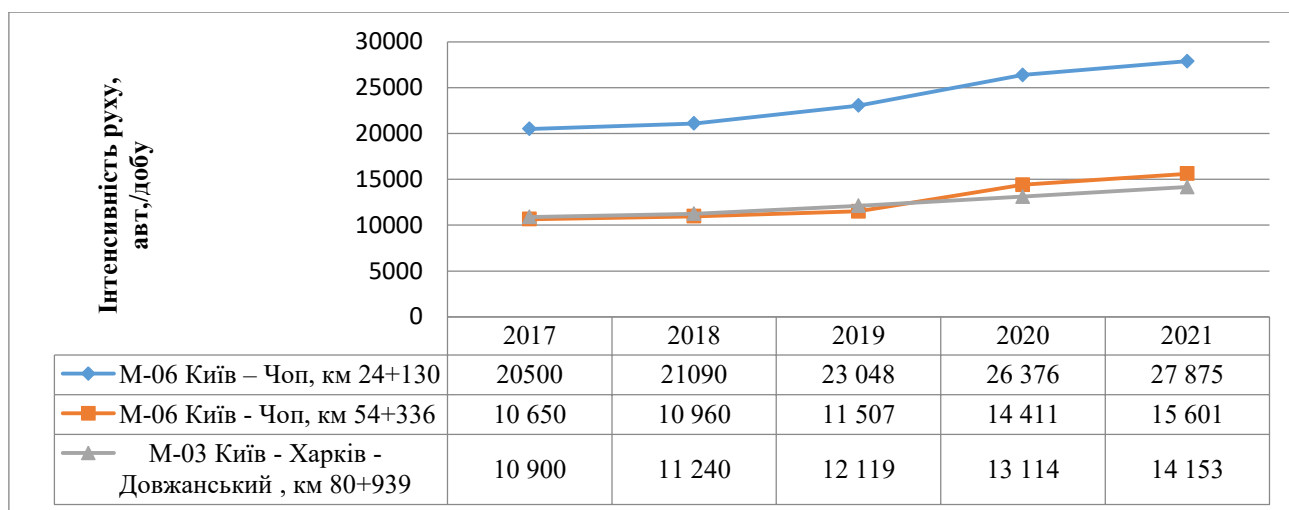


Рисунок 1.3 – Середньорічна добова інтенсивність руху, авт./год

Розподіл величини інтенсивності руху протягом доби

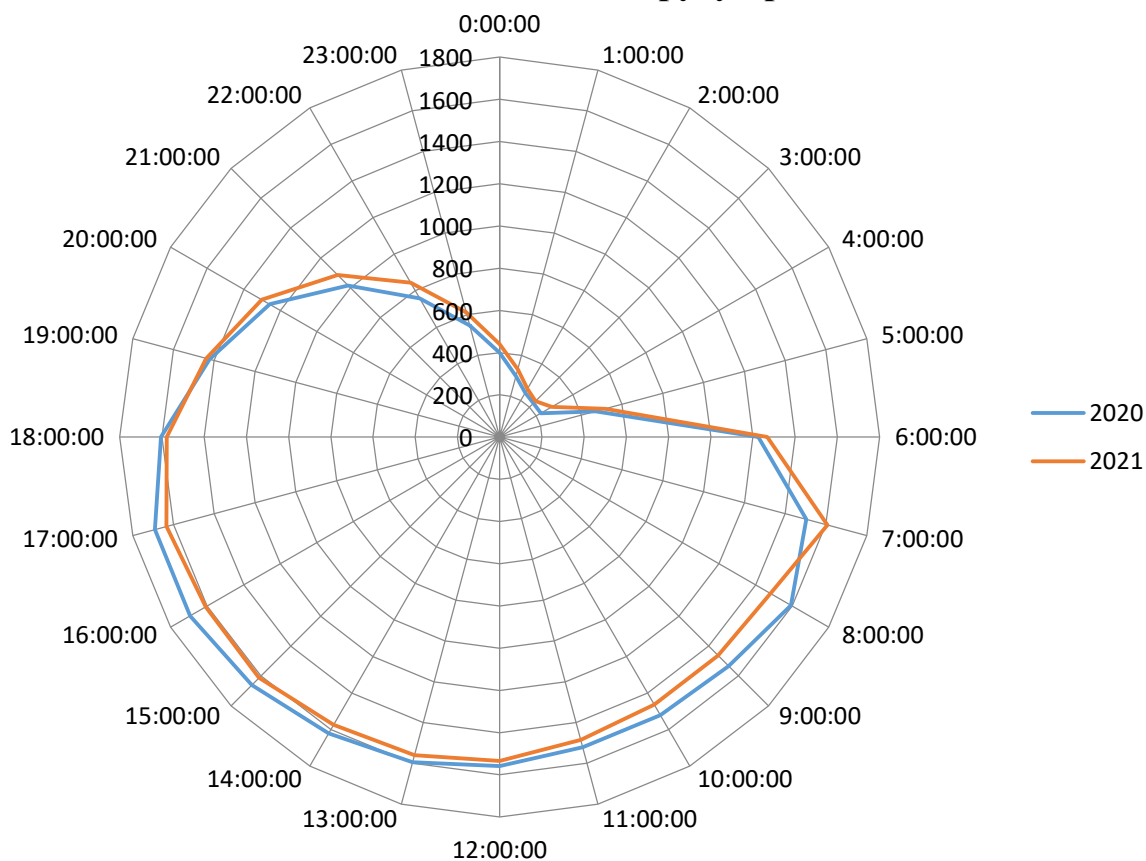


Рисунок 1.4 – Розподіл інтенсивності руху протягом доби

Таблиця 1.4 – Середня величина інтенсивності руху на майданчику WIM01 у 2021 році [39]

Проміжок часу	Середня інтенсивність руху за днями тижня, авто/год						
	понеділок	вівторок	середа	четвер	п'ятниця	субота	неділя
00-01	522	455	427	418	418	425	369
01-02	366	351	328	329	330	309	256
02-03	267	282	269	276	266	250	190
03-04	237	266	239	260	249	222	162
04-05	287	323	298	302	299	272	169
05-06	651	620	545	570	546	428	234
06-07	1 677	1 588	1 497	1 494	1 425	768	435
07-08	1 569	1 540	1 598	1 612	1 548	957	583
08-09	1 622	1 682	1 666	1 696	1 675	1222	776
09-10	1 527	1 554	1 573	1 591	1 562	1 402	1022
10-11	1 492	1 489	1 509	1 532	1 491	1 470	1 230
11-12	1 487	1 438	1 467	1 475	1 491	1 541	1 478
12-13	1 504	1 437	1 454	1 493	1 486	1 596	1 733
13-14	1 524	1 443	1 476	1 496	1 476	1 618	1 879
14-15	1 506	1 420	1 440	1 517	1 501	1 667	1 951
15-16	1 512	1 459	1 482	1 564	1 551	1 701	1 939
16-17	1 547	1 496	1553	1 584	1 583	1 723	1 726
17-18	1565	1 542	1609	1683	1 650	1 717	1 639
18-19	1 538	1 496	1564	1622	1 555	1 653	1 582
19-20	1389	1 335	1344	1420	1 392	1562	1 621
20-21	1275	1207	1215	1266	1229	1381	1 523
21-22	1056	983	989	1035	1001	1116	1389
22-23	841	775	765	776	788	785	1158
23-00	620	565	561	577	573	540	795

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. 1.4).

В роботі [40] описуються та порівнюються заходи ідентифікації та кількісної оцінки заторів на основі аналізу даних.

Результати проведеного аналізу свідчать, що середньорічна добова величина інтенсивності на дорогах загального користування з кожним роком зростає, розвиток мережі автомобільних доріг 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.

1.3 Аналіз методів оцінки розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг з урахуванням перешкод

Перспективи розвитку мережі автомобільних доріг загального користування базуються на вирішенні наявних проблем транспортно-дорожнього комплексу. Згідно до Транспортної стратегії України на період до 2020 року [41], Транспортної політики України та її наближення до норм Європейського Союзу (ЄС) [42], Проекту «Велике будівництво» – масштабна розбудова якісної інфраструктури України [43] розвиток автомобільних доріг загального користування повинен здійснюватися в напрямку їх інтеграції до Європейської транспортної мережі, що спрямована на приведення стану доріг до відповідних міжнародних вимог.

Проблеми організації дорожнього руху на мережі автомобільних доріг наведено у наукових працях Хомяка Я.В., Сильянова В.В., Поліщука В.П., Цибенка О.Ю., Кисельова В.Б., Ланового О.Т., Дзюби О.П., Вознюка А.Б та інші.

У роботах [44-48] розглянуто основні характеристики руху транспортних потоків та дорожніх умов, методи дослідження характеристик дорожнього руху, відомості про пропускну здатність автомобільних доріг. Показано методи та заходи щодо забезпечення економічного, безпечного та комфортабельного руху транспортних та пішохідних потоків у різних дорожніх умовах.

Основним показником, що характеризує вплив дорожніх умов, навколишнього середовища, технічного стану автомобіля та психофізіологічних факторів на водія, визначено швидкість руху як окремих транспортних засобів, так і транспортного потоку за певний період часу та на певній ділянці автомобільної дороги. Для оцінювання впливу кожного з факторів на швидкість руху, проводились натурні спостереження на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп. Було проведено кластерний аналіз даних натурних спостережень з використанням програмного комплексу

Statistica 12, встановлено зв'язки в середині сукупності даних та організовано отримані дані в певні структури [49].

У роботі [50] проведено оцінювання доріг державного значення за рівнем безпеки (за визначеними показниками), що дозволяє зробити висновок про відповідність мережі.

Для розробки методів оптимізації планування виконання дорожніх робіт на мережі автомобільних доріг з метою створення умов безпечного та безперешкодного та зручного руху транспорту необхідне детальне вивчення та аналіз впливу перешкод руху, що виникають внаслідок проведення робіт, та розподіл транспортних потоків дорожньою мережею.

Розподіл транспортних потоків маршрутами через перешкоду на мережі автомобільних доріг може залежати від різних умов включаючи: розмір перешкоди, наявність альтернативних маршрутів, обмеження шляхопроводів, а також психологію водіїв. Ось декілька загальних сценаріїв розподілу транспортних потоків:

У разі повного блокування автомобільної дороги через перешкоду (наприклад, дорожньо-транспортна пригода) транспортні потоки можуть бути спрямовані на об'їзну дорогу або альтернативний маршрут. що може включати використання запасних доріг, вузьких вулиць або об'їзних шляхів, що дозволяють уникнути перешкоди.

Розподіл транспортних потоків у таких ситуаціях здійснюється відповідними службами, органами поліцією або організаторами дорожнього руху. Організація та контроль руху можуть включати встановлення дорожніх знаків, направляючих стрілок, поліцейських постів та інших заходів для забезпечення умов руху.

Планові дорожні роботи істотно впливають на зміну характеристик руху транспорту мережею автомобільних доріг загального користування. При цьому сумарний вплив виникаючих перешкод на мережі з оптимальною схемою руху транспорту, нерідко призводить до різкого погіршення умов руху на окремих ділянках мережі: зниження швидкості руху, перевищення

допустимих меж загазованості повітря, зростання кількості дорожньо-транспортних пригод як безпосередньо на ділянках де проводяться дорожні роботи, так і на прилеглих до цих ділянок мережі.

Розподіл транспортних потоків, з урахуванням впливу перешкод руху транспорту, повинен передбачати максимально повне використання пропускної здатності мережі автомобільних доріг загального користування.

При цьому передбачається, що при об'їзді місць виникнення перешкод руху або ділянок заторів водії обиратимуть маршрути руху, виходячи з умов мінімальних перепробігів та втрат часу. Таким чином, при побудові математичної моделі розподілу транспортних потоків можна використовувати методику оптимізації розподілу потоків по мережі доріг, вирішуючи задачу оптимізації розподілу після введення кожної перешкоди [51,52].

У випадках застосування схеми розподілу потоків, де в якості критерію приймається мінімум сумарних витрат часу на пересування, завдання зводиться до визначення найкоротших відстаней між пунктами відправлення та призначення. Це завдання вирішується методами динамічного програмування.

Центральним завданням розробки транспортної моделі є визначення рівноважного стану транспортної системи, тобто проблема розподілу потоків у мережі. Пошук нових методів розв'язання оптимізаційних задач слабоформалізованих процесів зумовлений наявністю процесів та явищ, які важко описати методами класичної математики через їх невизначеність та недостовірність, неповноту та нечіткість вихідної інформації. Математична модель оптимізаційної задачі описується цільовою функцією та обмеженнями. Класичне математичне програмування та його різновиди є значною мірою нормативною методологією для ефективного вибору. Нечітке програмування підкреслює природну множинність неточно визначених цілей, обмежень та їх значень [53].

Розподіл поїздок є складною і важливою моделлю в процесі планування руху транспорту. Авторами створено та оцінено задовільну модель етапу

розподілу поїздок за допомогою двох моделей, гравітаційного та фратарного методів. Для розробки моделі було використано велику вибірку. Методологія дослідження залежить від теоретичних основ різних методів оцінки розподілу поїздок і вивченні придатності цих основ до умов обраного району дослідження. Було використано дві різні моделі, а саме: модель Фратера та гравітаційна модель. Ці моделі були відкалібровані з використанням реальних даних. У дослідженні перевірено точність моделей, включаючи загальні статистичні оцінки прогнозованих рухів. Результати дослідження доводять необхідність використання методу Фратара. Ці результати підтвердили літературні дані про те, що якщо територія однорідно зростає, то найкращою моделлю є фактор росту (метод Фратара), а якщо територія зазнає швидких змін, то найкращою моделлю є гравітаційна модель (метод Фратара) [54].

Повсюдне поширення стільникового зв'язку та Wi-Fi, потужні та економічно ефективні обчислювальні можливості, сучасне програмне забезпечення та бази даних ГІС, передові платформи для управління та планування транспортних операцій тощо – все це разом уможлиблює впровадження нових послуг та технологій мобільності, які дедалі більше порушують традиційну поведінку під час поїздок та «правила гри» з точки зору експлуатації транспортної мережі та регулювання продуктивності системи. Наслідки цих великих змін, зумовлених інформатизацією, для транспортного моделювання є настільки ж руйнівними і важливими. Вони включають зміни в поведінці пасажирів, продуктивності транспортної системи, даних, доступних для розробки та застосування моделей, а також у методах моделювання [55].

Авторами [56] надано огляд загальної структури транспортних моделей та їх застосування, дослідження доцільності транспортного моделювання. Основні характеристики транспортних моделей аналізуються з особливою увагою до чотирьох основних компонентів: генерація поїздок, розподіл поїздок, розподіл по видах транспорту та розподіл мережі. Дається опис практичних питань при побудові та використанні цих моделей на практиці, з

особливою увагою до контролю якості. Основна увага приділяється пасажирському транспорту, але коротко розглядаються суміжні моделі для вантажних перевезень, а також взаємодія між землекористуванням і транспортом.

Будівництво та ремонт доріг спричиняють затори і затримки в русі, а також створюють проблеми для забезпечення безпеки як водіїв, так і дорожніх робітників. Автори надають результати практичної оцінки тимчасової системи управління дорожнім рухом, встановленої та протестованої на головній автомагістралі в Чеській Республіці під час проведення дорожніх робіт. Автори продемонстрували збільшення пропускної здатності зони дорожніх робіт більш ніж на 20% та зменшення середньої затримки одного транспортного засобу майже на 30 секунд [57].

Зі стрімким економічним, технологічним і промисловим розвитком транспортна мережа зазнає зростаючого навантаження. Оптимальне використання ресурсів існуючої мережі автомобільних доріг та ресурсів управління дорожнім рухом, покращення управління дорожнім рухом і поїздками, а також підвищення ефективності використання доріг є важливими проблемами, з якими ми повинні зіткнутися. У цьому дослідженні традиційна модель BPR модифікована для врахування таких ускладнень, як перехрестя, дорожньо-транспортні пригоди, технічне обслуговування доріг під час заторів і час затримки через черги під час заторів. Час очікування в черзі щільного транспортного потоку оцінюється за допомогою методу відстеження траєкторії з використанням сигналу мобільного телефону водія та даних базової станції в мережі потоку. Традиційна модель BPR була творчо модифікована для розробки модифікованої функціональної моделі BPR для оцінки затримки руху, які можна застосувати при плануванні транспортної мережі. Остаточна експериментальна модель створює ефект затримки руху під час руху транспортного засобу, відображаючи дорожній потік і забезпечуючи підтримку ефекту для планування мережі автомобільних доріг [58].

Аналіз зазначених методів розподілу транспортних потоків показує, що незважаючи на оптимальність одержуваних зав'язків між вихідними пунктами на мережі автомобільних доріг, транспортні потоки на ділянках цієї мережі залишаються «стихійними», так як не обумовлюється момент появи транспортних засобів на мережі автомобільних доріг, а також не враховуються характеристики цієї мережі, і в першу чергу, пропускна здатність. Все це могло спричинити перевантаження окремих маршрутів, а отже – утворення заторів та підвищення собівартості перевезень.

Ця ситуація найімовірніша на мережі автомобільних доріг, де пропускна здатність дороги визначається пропускною здатністю перетинів і примикань. Підхід до вирішення завдань оптимального розподілу транспортних потоків у різних країнах здебільшого полягає у розробках автоматизованих систем управління рухом на мережі.

Розроблений у роботі [59] метод базується на статистичній обробці результатів вибіркового підрахунку кількості транспортних засобів, що пройшли через поперечний переріз, використовується модифіковане визначення Вардропа (Wardrop) рівноважного розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг, що ґрунтується на припущенні, що зміна маршруту руху водієм проводиться тільки в тому випадку, якщо новий маршрут характеризується меншими матеріальними витратами та втратами часу.

Подані методи розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг мають досить чітку принципову постановку. Проте чи всі прийняті принципи може бути сформульовані як математичної моделі. Наявність математичної моделі дає можливість формалізувати завдання, оптимізувати рішення і провести детальну оцінку цього рішення.

Існують різні методи оптимізації розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг для визначення маршрутів об'їзду перешкод які виникли. Так, в деяких випадках, в основу оптимізації є застосування

принципу мінімізації дорожньо-транспортних витрат, а саме розподілення транспортних потоків здійснюється найкоротшими маршрутами [60, 61].

У роботі [65] представлена математична модель розподілу транспортних потоків у системах управління рухом, що забезпечує мінімум загального часу руху транспортних засобів мережею автомобільних доріг відповідно до цільової функції, що враховує інтенсивність рівномірного потоку.

Модель, що використовується для аналізу розподілу транспортних потоків при впливі перешкод на проїжджій частині, може враховувати сумарний час руху транспорту мережею автомобільних доріг або ділянки мережі як критерій допустимості створення однієї або кількох перешкод у цей проміжок часу. З цієї точки зору цікавою є математична модель розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг, що забезпечує мінімум сумарного часу проїзду всіх транспортних засобів [66]:

$$\begin{aligned}
 T &= \min \sum N_z t_z(N_z); \\
 AN^k &= N_y^k; \quad (k=1, n) \\
 N_z &= \sum_{k=1}^n N_z^k; \\
 N_z &\geq 0; \\
 N_z &\leq N_{\max, z}; \\
 A &= (a_{z,k}), \\
 a_{z,k} &= \begin{cases} 1, \text{ якщо } z-a \text{ ділянка дороги починається на пересіченні } k \\ -1, \text{ якщо } z-a \text{ ділянка дороги закінчується на пересіченні } k \\ 0, \text{ якщо } z-a \text{ ділянка дороги не входить у вершину } k \end{cases}
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

де N_z – інтенсивність руху по z -му перегону, авт./год.;

t_z – час руху по z -му перегону, с;

N^k – інтенсивність руху, авт./год.;

$N_{\max, z}$ – пропускна здатність z -му перегону, авт./год.

Представлена математична модель ґрунтуються на єдиному критерії – мінімум сумарного часу руху всіх транспортних засобів по мережі автомобільних доріг. Застосування такого критерію дозволяє врахувати

характеристики мережі, взаємодію транспортних потоків, залежність характеристик останніх від дорожніх умов.

Представлена модель, однак, має різні обмеження. Так, якщо в моделі, описаній у роботах [65], обмеження накладаються на довжину черги по перегонах, то в моделі (1) величини інтенсивності руху на перегонах обмежуються їх пропускною здатністю.

Оптимізація розподілу транспортних потоків на основі зазначеного вище критерію можлива в умовах незмінної за накресленням та геометричними параметрами мережі автомобільних доріг.

Застосування цього критерію не виключає виникнення перепробігів окремої частини розподіленої сукупності транспортних засобів, і така ситуація виникатиме на тих мережах, де на перегонах буде перевищено пропускну здатність перегону, що є найбільш характерним для місць проведення дорожніх робіт.

Разом з тим, обмеження, що накладаються на критеріальну функцію, значно впливають на ступінь надійності одержуваного результату розподілу потоків, оскільки обмеження виражають суть фізичного процесу руху транспорту, що розподіляється. Тому, наприклад, обмеження черг довжиною перегону не враховуючи часу існування черги може призвести до порушення функціонування всієї системи, тобто невідповідності отриманого рішення фактичному перебігу процесу.

Обмеження тільки за пропускною здатністю перегонів без урахування пропускної здатності вузлів, так само як і обмеження лише за часом проїзду, може сприяти переповненню окремих перегонів мережі та утворенню заторів. Щоб уникнути таких ситуацій, а також для можливості аналізу впливу перешкод руху транспорту на характеристики руху, математична модель повинна враховувати пропускну здатність перегонів та перехресть об'їзних маршрутів для проїзду додаткових потоків транспортних засобів, що здійснюють об'їзд ділянки впливу перешкоди.

Математична модель розподілу транспортних потоків, розроблена Майклом Дж. Кессіді [66], базується на концепції «мережі транспортних потоків», де кожен вузол представляє точку, де транспортні засоби в'їжджають або виїжджають із системи, наприклад, перехрестя або в'їзд на дорогу. Кожна ланка з'єднує два вузли мережі. Модель використовує математичні рівняння для розрахунку очікуваного об'єм руху на кожному вузлі з урахуванням певних вхідних даних, таких як дорожні умови, величини швидкості та інші фактори. Модель враховує вплив поведінки водія відповідно до схеми дорожнього руху.

Авторами [67] розглянуто затори що виникають у вузьких місцях на з'їздах з автомобільних доріг в роботі пропонується оптимальна стратегія управління диференціальним обмеженням змінної швидкості в умовах змішаного транспортного потоку. Запропоноване управління DVSL враховує характеристики потоку на рампі, поза рампою та змішаного транспортного потоку (тобто, КТЗ співіснують з ГТЗ). Запропоноване оптимальне керування DVSL може описувати і прогнозувати динаміку транспортного потоку і може встановлювати різні обмеження швидкості на кожній смугі за допомогою багатоцільової функції загального часу в дорозі і загальної відстані в дорозі. Для оптимізації алгоритму керування DVSL було використано підхід модельного керування (MPC). Розроблене управління DVSL було проведено дослідження на реальній ділянці автомагістралі із змодельованим вузьким місцем на з'їзді з автомобільної дороги. Результати моделювання показують, що запропонована стратегія управління перевершує інші існуючі методи з точки зору покращення мобільності на з'їзді з автомагістралі та максимізації екологічних переваг.

Математична модель розподілу транспортних потоків Вілфріда С. Діксона [68] базується на ідеї, що транспортні потоки можна моделювати як випадковий процес. Модель передбачає, що транспортний потік є випадковим процесом, на який впливають як зовнішні так і внутрішні фактори: дорожні умови, фіксація заторів і час утворення. Крім того враховується, наприклад

вплив зовнішніх факторів, таких як погода, періоди свят, та особливі події. Модель передбачає, кількість транспорту, що переміщатиметься між двома точками за певний період часу. Мета полягає в передбаченні об'ємів руху, між двома точками в будь-який момент часу. Модель базується на наборі рівнянь, що описують вплив різних параметрів на об'єми руху в часі. Ці рівняння враховують різні фактори, такі як дорожні умови, час доби та утворення заторів. Рівняння використовуються для оцінки кількості транспортних засобів за певний період часу. Модель Діксона використовувалась для розробки ефективних систем маршрутизації громадського транспорту, планування мереж доріг.

Математична модель розподілу транспортного потоку Скотт С. Логан і Джон Д. Пауелл [69], використовує комбінацію лінійного та динамічного програмування для оптимізації об'ємів руху транспортних засобів на мережі доріг. Модель враховує такі фактори: кількість смуг на кожній дорозі, обмеження швидкості та інтенсивність руху на кожній ділянці дороги, щоб мінімізувати затори та збільшити пропускну здатність.

Розроблена Стівеном Юбенком [70] математична модель розподілу транспортних потоків, використовує теорію графів, використовує методи лінійного програмування з урахуванням обмежень.

У розглянутих вище моделях, орієнтованих на облік часу проїзду, немає обмеження повернення транспортних засобів на вже пройдені ділянки дороги. В результаті, хоч і досягається мінімальний сумарний час руху по мережі, але не забезпечується мінімальний час знаходження всіх транспортних засобів на мережі, оскільки сам факт повернення несе в собі невизначеність, оскільки виникає неузгодженість появи транспортних засобів на пройдених ділянках дороги.

На мережі автомобільних доріг початковими та кінцевими пунктами руху фактично є не перехрестя мережі, як це представлено в моделях, а точки відправлення та призначення на перегонах. У зв'язку з цим на мережі з'являються транспортні потоки, що проходять початкове перехрестя

перегону, але не доходять до кінцевого. Таким чином, з'являється місцева інтенсивність руху, яка не може розподілятися, але повинна враховуватися при аналізі пропускної здатності маршрутів об'їзду.

Таким чином, для аналізу сумарного впливу на транспортні потоки перешкод, розташованих у різних точках мережі, необхідно розробити нову модель, яка б задовольняла наступним вимогам:

- виключення повернення транспортних засобів на пройдену частину дороги;
- облік обсягу транспорту, що не підлягає розподілу;
- виключення можливості заторних ситуацій у мережі, не пов'язаних із впливом перешкод руху;
- мінімізація часу проїзду транспорту.

Висновки до розділу 1

Проведений аналіз загального стану організації дорожнього руху і методичних основ управління рухом транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування на основі використання методів оцінки розподілу транспортних потоків мережею.

Розподіл транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування під впливом перешкод руху на її ділянках впливає на характеристики транспортних потоків на перегонах і перехрестях мережі і є важливим показником, що дозволяє вчасно прогнозувати умови дорожнього руху.

Через відсутність методів прогнозування руху транспортних потоків на автомобільних дорогах з обмеженнями на мережі, виникають проблеми в управлінні дорожнім рухом із затримкою транспорту та зниженням рівня безпеки дорожнього руху.

Результати досліджень першого розділу викладено у наступних публікаціях [29,30,51,52].

РОЗДІЛ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ РУХУ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕШКОД

2.1 Пропускна здатність автомобільної дороги – критерій оцінки запропонованого методу управління дорожнім рухом

При вирішенні практично задачі управління дорожнім рухом на мережі автомобільних доріг необхідно врахувати вплив дорожніх умов на рух транспортних потоків, зокрема щодо зменшення величини пропускної здатності окремих ділянок. В реальних умовах дорожнього руху таке зменшення може бути наслідком виникнення певної перешкоди. Наслідком якого є повне або часткове зменшення пропускної здатності.

Перешкода – це будь-який об'єкт або проблема, що перешкоджає вільному руху транспортних потоків. У контексті транспортних систем і логістики перешкоди руху впливають на швидкість доставки та ефективність перевезень.

В дисертаційній роботі в якості перешкоди приймається ділянка дороги, що обмежує рух транспортних потоків або впливає на погіршення умов руху і сприяє утворенню затримки транспорту та погіршенню умов руху.

У деяких випадках, коли перешкода виникає на одному напрямку руху, може бути введена тимчасова зміна напрямку руху на зустрічній смузі, що дозволяє транспортним потокам уникнути перешкоди руху, проте вимагає додаткової організації і заходів з безпеки руху.

Перешкоди, що виникають з різних причин на мережі автомобільних доріг можна поділити на: плановані та випадкові.

Планові перешкоди, що впливають на транспортні потоки – це перешкоди на мережі автомобільних доріг, що виникли у результаті ремонтів, організація блокпостів, що обмежують рух тощо.

1. **Дорожні роботи.** Періодичні ремонти і обслуговування автомобільних

доріг є плановими подіями. Під час виконання дорожніх робіт може бути обмежено доступ до певних ділянок дороги, запропоновані об'їзди або обмеження в швидкості руху. Такі роботи можуть охоплювати як невеликі ділянки локального облаштування, так і великі будівельні проекти.

2. **Закриття вулиць.** Ділянки вулиць, що використовуються для розміщення дорожньо-будівельних матеріалів, та позначаються спеціальними технічними знаками організації дорожнього руху.
3. **Спеціальні пересічні рівні.** Встановлення шлагбаумів на дорогах, що перетинають залізничні колії, є запроектованою перешкодою для руху автомобілів, що обмежують рух автомобілів під час переміщення залізничних поїздів через дорогу.
4. **Спеціальні обмеження швидкості.** Зміни обмеження швидкості на дорогах можуть бути викликані плановими подіями, через зміни в роботі або масові зібрання. Органи правопорядку можуть встановлювати тимчасові обмеження швидкості для забезпечення безпеки через заходи, що проводяться на проїзній частині.

Планові перешкоди у русі часто плануються та контролюються дорожніми службами та органами правопорядку і мають на меті забезпечити безпеку руху на мережі автомобільних доріг під час виконання робіт чи планових подій. Водії повинні дотримуватися сигналів та обмежень, що встановлені відповідними органами, для забезпечення безпеки руху та ліквідації заторів.

Випадкові перешкоди на автомобільних дорогах – це непередбачувані чи тимчасові перешкоди, що виникають на шляху руху автотранспорту і можуть призвести до небезпеки для учасників руху. Ось декілька загальних прикладів таких перешкод: погодні умови, падіння дерев або гілок, дорожньо-транспортні пригоди та затори, тварини на автомобільній дорозі, ділянка проведення дорожніх робіт, обвалення ґрунту, падіння предметів з транспортних засобів, розлиття рідини:

- недостатня видимість через туман, дощ, сніг чи град може створити небезпеку на автомобільній дорозі. Ожеледь або ожеледиця також можуть призвести до нестабільного транспортного потоку;
- під час сильних вітрів або після грози може виникнути ризик падіння дерев або гілок на автомобільну дорогу;
- дорожньо-транспортні пригоди, затори та інші подібні події можуть виникнути в будь-який момент і перекрити рух на автомобільній дорозі;
- вибігання диких або домашніх тварин на дорогу може стати перешкодою для транспортних потоків;
- ремонтні роботи, будівництво і дорожні роботи можуть призвести до часткового або повного закриття дороги, а також до введення обмежень величини швидкості;
- обвалення ґрунту у регіонах з підвищеним ризиком їх утворення може виникнути небезпека таких подій на автомобільних дорогах;
- дорожньо-транспортні події за участю вантажівок, що перевозять небезпечні вантажі: Викиди небезпечних речовин можуть створити загрозу для безпеки на дорозі;
- падіння предметів з транспортних засобів, що впали з інших автомобілів, можуть становити небезпеку для інших водіїв;
- розлиття рідини, такої як пальне, масло чи антифриз, може підвищити ризик зіткнення.

Для зменшення ризику при зіткненні з такими випадковими перешкодами, водії повинні пристосовувати свою їзду до погодних умов та вчасно реагувати на потенційні небезпеки на дорозі.

Для оцінки впливу різних видів перешкод на характеристики руху транспортних потоків необхідно розглянути особливості руху потоків з погляду можливостей виникнення заторів на ділянці звуження проїзної частини внаслідок впливу перешкоди, а також з погляду оптимальної кількості смуг проїзної частини, що зменшуються.

Наявність ділянок, що спричиняють різке зменшення швидкості, є

основною причиною появи на дорогах заторів. Затор виникає в той момент, коли інтенсивність руху автомобілів, що прибувають на дану ділянку дороги, перевищує пропускну здатність цієї ділянки. Процеси виникнення заторів були детально розглянуті у роботах Карлоса Доганзо, який висуває гіпотезу про те, що причиною заторів є «вузькі місця» – звужені чи розширені дороги. Вони являються причиною створення, зростання та розповсюдження черг на дорогах. Доганзо виділяє декілька типів «вузькі місця»: активні вузькі місця, злиття, розширення. Аналіз цих процесів надзвичайно важливий для дослідження впливу перешкоди, що виникає на дорозі, та впливає на характеристики руху.

К. Доганзо вважає, що на вільній дорозі транспортний потік не створює черг, якщо мале збурення швидкостей, яке виникло в деякій точці дороги. Не розповсюджується вверх за потоком. Проте, якщо це збурення поширюється за межі даної ділянки дороги, виникають скупчення автомобілів і затори. Доганзо стверджує, що дослідження повинні фокусуватися на чергах, їх властивостях, структурі та поведінці, оскільки це дозволить краще розуміти природу заторів [71, 72].

У статті роботі [73] представлені дослідження швидкісні руху транспортних потоків на дорогах. Проаналізовано швидкість руху транспортного засобу як одну з основних причин дорожньо-транспортних пригод.

Б. Кернер у своїй концепції, яка була розроблена протягом 1996-2000 років на основі емпіричного аналізу транспортних потоків, ввів поняття синхронізованого потоку. Він також запропонував теорію фазових станів транспортного потоку, яка ґрунтується на аналогії з рухом замерзаючої рідини. Це дозволяє краще розуміти та передбачати розвиток транспортних потоків, їх фазові переходи та інші характеристики, що виникають у подібних системах. [74]

У разі виникнення затору, спричиненого перешкодою, або при наближенні характеристик дорожнього руху до стану затору під впливом

перешкоди на мережі та наближення характеристик дорожнього руху до стану затору, починається перерозподіл транспортних потоків мережею автомобільних доріг з метою об'їзду ділянки затору. Цей перерозподіл може бути примусовим: маршрут об'їзду заплановано під час підготовки робіт і жорстко регламентовано дорожніми знаками, в іншому разі відбувається довільний розподіл транспортних потоків. У такому разі учасники руху прагнуть обрати найкоротші за часом проїзду маршрути. При цьому обрані маршрути не обов'язково є найкоротшими, а час проїзду залежить від умов руху на маршруті та величини його пропускної здатності.

У дослідженні [75] розглянуто забезпечення безпеки руху в процесі реконструкції та розширення автомобільної дороги досліджено встановлення знаків обмеження швидкості в стані вільного руху перед зонами проведення робіт.

Аналіз виникнення заторів у вузьких місця на ділянках з'їзду в умовах змішаного руху [76,77].

Під час виконання робіт, пов'язаних із повним закриттям руху в даному напрямку або за значного звуження проїзної частини, обов'язково позначаються маршрути об'їзду транспорту. Об'їзди, як правило, не організовують під час робіт із незначним перекриттям проїзної частини. Довільний розподіл може виникати також у разі аварійних ситуацій на проїзній частині.

Завдання аналізу розподілу транспортних потоків при виникненні «перешкод» вирішується методом математичного моделювання. Для цього існують різні варіанти моделей, що відрізняються один від одного критерієм вибору маршруту.

В окремих моделях розподіл транспортних потоків мережею автомобільних доріг здійснюється з урахуванням величини інтенсивності руху транспортних потоків мережею, величини пропускної здатності перегонів розглянутої мережі та зміни величини інтенсивності руху на вхідних перехрестях у часі.

У статистичних моделях розподіл транспортних потоків проводиться через задані проміжки часу.

Динамічні моделі, в яких використовується фільтр Кальмана, проводять безперервну оцінку параметрів транспортного потоку. Модель із використанням модифікованого визначення Вардропа (Wardrop) рівноважного розподілу транспортних потоків на мережі ґрунтується на припущенні, що зміна маршруту руху водієм відбувається тільки в тому разі, якщо новий маршрут характеризується меншими матеріальними витратами і меншими втратами часу. В таких моделях сформульовано умови рівноваги і стаціонарності розподілу, визначено умови, що гарантують існування, стійкість рівноважного стану розподілу транспортних потоків по мережі [59].

У роботі [78] проаналізовано вплив швидкості рухомого вузького місця в моделюванні транспортного потоку для вивчення впливу рухомого вузького місця на еволюцію та поширення транспортного потоку при рівномірному потоці та невеликому збуренні.

Під час моделювання розподілу потоку транспортних потоків, що здійснюють об'їзд перешкоди, що виникла на мережі, необхідно враховувати, що водії прагнуть здійснити об'їзд найближчими прилеглими дорогами, тобто з мінімальним перепробігом.

При цьому часто не береться до уваги величина пропускної здатності об'їзних доріг, внаслідок чого на них також можливе різке погіршення умов руху. Відповідно однією з основних умов оптимального розподілу транспортних потоків під час затвердження схеми об'їзду місця впливу перешкоди, має бути умова, що величина пропускної здатності об'їзних маршрутів із врахуванням наявних на них транспортних потоків має бути не меншою за величину пропускної здатності мережі дороги, на якій виникла «перешкода».

Розподіл транспортних потоків може здійснюватися на мережі автомобільних доріг різних класів: на автомобільних дорогах загального користування, оборонного значення, вулицях і дорогах міст та інших

населених пунктах. У роботі розглядаєте розподіл транспортних потоків на мережі автомобільних доріг.

Здійснення перевезень за можливо найменших дорожньо-транспортних витрат відповідає скороченню витрат засобів виробництва, спожитих на транспорті, а прийнятий критерій для оцінки оптимальності полягає в зниженні витрат на перевезення.

Пропускна здатність дороги є однією з основних характеристик, що використовується при розробці заходів з покращення якості дорожнього руху та підвищення продуктивності роботи автомобільного транспорту. Ця характеристика грає важливу роль у проектуванні та оптимізації доріг.

Пропускна здатність дороги визначається як максимальна кількість автомобілів, що може пропустити певна ділянка дороги протягом певного періоду часу в одному або обох напрямках руху, при розгляді різних погодно-кліматичних та дорожніх умов[79].

Для оцінки пропускну здатності доріг часто використовуються динамічні моделі транспортного потоку, оскільки в інтенсивному русі, коли кількість автомобілів близька або рівна максимальній пропускну здатності, відбувається взаємодія між транспортними засобами. Вивчення такої взаємодії дозволяє ефективно управляти рухом транспортних потоків і запобігати виникненню заторів.

Динамічні моделі допускають два підходи - мікроскопічний, коли моделюється динаміка взаємодії між окремими автомобілями, і макроскопічний, при якому моделюється рух потоку у цілому. До мікроскопічного підходу відносять спрощені динамічні моделі і модель «слідування за лідером» [80].

Аналіз наукової літератури виявив, що розрізняють теоретичну, практичну та розрахункову величини пропускну здатності.

Теоретична пропускна здатність автомобільної дороги визначається на основі різних факторів і параметрів, що впливають на рух транспортних потоків на мережі. Важливою є різниця між теоретичною та практичною

пропускною здатністю, оскільки реальні умови на дорозі можуть відрізнятися від ідеальних теоретичних розрахунків. Теоретична пропускна здатність може бути визначена такими чинниками: ширина дороги, швидкість руху, відстань між автомобілями, склад транспортного потоку, вплив перешкод.

Теоретична пропускна здатність є важливою для планування дорожньої інфраструктури та оптимізації руху на мережі, але в реальних умовах на неї також можуть впливати інші фактори, такі як погодні умови, дорожні роботи, аварії і т. д. Тому важливо розуміти, що теоретична пропускна здатність може відрізнятися від практичної.

Теоретична пропускна здатність визначається розрахунком для прямої ділянки дороги при русі однорідного за складом транспортного потоку - легкові автомобілі - з постійними інтервалами між автомобілями. Теоретична пропускна здатність обчислюється на підставі динамічних моделей і складає 2000 - 2400 автомобілів на годину на одну смугу руху. Це максимальна величина пропускної здатності, що може бути досягнута при керуванні автомобіля людиною [81-83].

Практична пропускна здатність – це максимальне число автомобілів, яке може пропустити ділянка дороги у реальних дорожніх умовах в одиницю часу. Існує два види пропускної практичної здатності: максимальна, котра спостерігається на еталонній ділянці, і практична – для конкретних дорожніх умов. Під еталонним розуміють горизонтальна прямолінійна ділянка, із шириною смуги 3,75м, укріпленими узбіччями, шириною 3 м, покриття сухе, рівне, шорстке, відстань між пересіченнями більше 5 км, відстань видимості більше 800 м, транспортний потік складається більше 800 легкових автомобілів, відсутні бічні перешкоди на узбіччях, погодно-кліматичні умови сприятливі [81].

Практична пропускна здатність – це пропускна здатність ділянок, що мають гірші умови у порівнянні з еталонним. Практична пропускна здатність є випадковою величиною, що залежить від цілого ряду формуючих її факторів. Значення її величини може змінюватися у значних межах.

Така зміна практичної пропускної здатності у часі для конкретної ділянки дороги з постійними дорожніми умовами може бути викликано такими факторами: зміною складу транспортного потоку, водійського складу, технічного стану транспортних засобів, погодно-кліматичних умов, виникненням ДТП.

У зв'язку з тим, що практична пропускна здатність доріг має випадковий характер, для техніко-економічних розрахунків вводиться поняття розрахункової пропускної здатності. Це поняття характеризує економічно доцільне число автомобілів, що може пропустити ділянка дороги в одиницю часу, враховуючи конкретні дорожні умови і прийняту схему організації руху. Таке уявлення дозволяє більш точно оцінити потенційну пропускну здатність дороги та спроектувати відповідні транспортні системи для ефективного управління рухом:

$$P_{розр} = k_p \cdot P_T \quad (2.1)$$

де k_p – коефіцієнт переходу від теоретичної пропускної здатності до розрахункової;

P_T – теоретична пропускна здатність (легкових автомобілів на годину).

Положення, про те, що величину пропускної здатності формує цілий ряд факторів, сполучення яких носить випадковий характер, дозволяє говорити про пропускну здатність як про імовірнісну просторово-часову характеристику.

В основі методу визначення практичної пропускної здатності лежить використання коефіцієнта зниження максимальної практичної пропускної здатності.

Цей коефіцієнт дорівнює відношенню пропускної здатності конкретної ділянки дороги до пропускної здатності еталонної ділянки, тобто до максимальної пропускної здатності:

Величина практичної пропускної здатності, як показує досвід, залежить від великого числа факторів, сполучення яких визначає її значення у кожному конкретному випадку, дорожні умови при цьому є визначальними.

Пропускна здатність тієї самої ділянки дороги з постійними умовами під впливом інших, крім дорожніх, факторів може змінюватися в 1,5 - 1,7 рази.

Для точної та повної, оцінки пропускної здатності необхідний аналіз внутрішньої структури транспортного потоку. При русі транспортного потоку у режимі пропускної здатності, коли середня швидкість потоку складає 50-55 % від швидкості вільного руху, не усі фактори роблять понижуючий вплив на величину пропускної здатності. У результаті одержують занижені її значення.

Аналіз методів визначення пропускної здатності говорить про те, що на пропускну здатність дороги в умовах, відмінних від ідеальних, впливають наступні фактори: ширина дороги; відстань до бічних перешкод;

- частка важких вантажних автомобілів у потоці;
- розташування дороги стосовно населеного пункту;
- знання водієм дороги і ціль поїздки.

Під ідеальними умовами розуміють таке: рівнинна місцевість, ширина смуги руху 3,5 м, мінімальна відстань до перешкод на узбіччі 1,8 м від краю проїзної частини, легковий потік автомобілів, наявність розділювальної смуги на приміських дорогах.

Головним показником для оцінки умов руху є щільність, що визначає ступінь можливості маневрування у транспортному потоці.

Граничним значенням рівнів свободи руху відповідають відстані між автомобілями, що рухаються у потоці.

Одним з важливих показників, використовуваних для оцінки умов руху, є коефіцієнт завантаження дороги рухом, що представляє собою відношення фактичної інтенсивності руху до величини практичної пропускної здатності розглянутої ділянки дороги

Оцінка пропускної здатності дороги як імовірнісної просторово-часової характеристики

На величину пропускної здатності показує вплив велика кількість факторів. Усі вони взаємозалежні і являють собою характеристики системи

«Дорожні умови – транспортні потоки».

Їх взаємодія формує величину пропускної здатності. Усі ці фактори можуть бути об'єднані у такі групи: фактори, пов'язані з дорожніми умовами; характеристики транспортного потоку; фактори, пов'язані з погодними умовами; фактори, пов'язані з психофізіологією водія; фактор часу; технічний стан автомобіля; рівень кваліфікації водія; рівень безпеки руху; соціальні фактори.

У кожному конкретному випадку величина пропускної здатності визначається сполученням зазначених факторів. Ця величина змінюється як по довжині дороги, так і за часом (рис. 2.1) [84].

На рисунку 2.1. приведені графіки залежності величини пропускної здатності від дорожніх умов. Особливо великим є цей вплив при рівнях зручності Б и В, головним чином, на величину середньої швидкості транспортного потоку.

Найбільший вплив на величину швидкості та щільності транспортного потоку при постійній ширині проїзної частини роблять ділянки підйомів і спусків, горизонтальні криві малих радіусів, наявність пересічень на одному рівні, трасування через населені пункти та ін. Ступінь впливу похилів подовжнього профілю залежить від крутості підйомів і спусків, їх довжини, здатності автомобіля долати ухили.

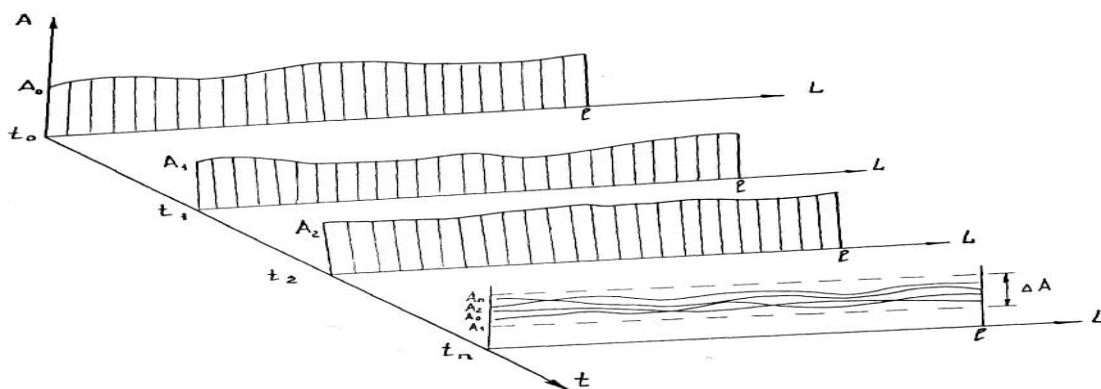


Рисунок 2.1. Процес зміни величини практичної пропускної здатності у просторі та у часі [52].

У порівнянні з горизонтальними ділянками дороги на підйомах відбувається перерозподіл інтервалів між автомобілями у транспортному потоці. Щільність транспортного потоку починає збільшуватися на початку підйому і досягає максимуму на його вершині. При спуску найбільша щільність спостерігається на підході до спуска і наприкінці його.

Горизонтальні криві малих радіусів і ділянки з обмеженою видимістю також сприяють збільшенню щільності транспортного потоку. Більше за усе знижуються відстані між автомобілями на горизонтальних кривих радіусів, менших за 300 м.

Вплив населених пунктів на режим руху транспортних потоків викликано обмеженням швидкості у них, а також впливом місцевого транспорту. Підвищується щільність транспортного потоку, змінюються характеристики розподілу інтервалів.

Наявність пересічень на одному рівні впливає на величину швидкості, розподіл інтервалів між автомобілями, пропускну здатність дороги. Величина, зниження швидкості потоку на підході до пересічення залежить від інтенсивності руху на другорядній дорозі, забезпечення видимості на пересіченні, типу пересічення та від наявності рівнобіжних маршрутів.

Вплив несприятливих погодних умов на водія виражається у зниженні швидкості реакції, підвищенні стомлюваності, зниженні швидкості переробки інформації.

Дія факторів, погодних умов на стан проїзної частини виявляється через сприйняття водієм її стану, а також через взаємодію автомобіля з дорогою і спричиняє зміну режиму руху.

Таким чином, зміна практичної пропускну здатності дороги може бути викликана дією цілого ряду факторів, що говорить про необхідність оцінки величини практичної пропускну здатності як просторової характеристики.

У кожному конкретному випадку величина пропускну здатності буде залежати від того, які фактори беруть участь у процесі її формування. Сполучення цих факторів носить випадковий характер.

Сама участь людини у транспортному процесі визначає його випадковий характер. Отже, говорячи про величину пропускної здатності, необхідно комплексно оцінювати стан системи «Дорожні умови – транспортні потоки», і розглядати пропускну здатність як імовірнісну просторово-часову характеристику.

З точки зору визначення величини пропускної здатності викликає інтерес дослідження мінімальних часових інтервалів, які спостерігаються у щільному транспортному потоці, що рухається, у режимі, наближеному до режиму пропускної здатності.

Таким чином, одним з аспектів гіпотези про можливість використання розподілу часових інтервалів для оцінки величини пропускної здатності є те, що при русі транспортного потоку у режимі, близькому до режиму пропускної здатності, автомобілі рухаються з різними інтервалами, тобто має місце їх розподіл.

В реальних умовах руху у щільному транспортному потоці 30 – 40 % водіїв рухаються з порушенням безпечного інтервалу слідування, тобто спостерігаються небезпечні умови руху внаслідок неприпустимо малих часових інтервалів між автомобілями, що спричиняє виникнення ДТП, пов'язаних із супутніми зіткненнями.

Будучи просторово – часовою характеристикою, що відображає стан системи «ДУ – ТП», пропускну здатність конкретної ділянки дороги може змінюватися у широких межах в залежності від сполучення факторів, що впливають.

Для прийняття рішень по ряду «критичних» ситуацій необхідно мати дані про величину пропускної здатності в існуючий момент часу, а також необхідно знати, яким є резерв пропускної здатності у даний момент часу має система. До таких «критичних» ситуацій відносяться наступні:

- критична ситуація при наявності інтенсивності, близької до пропускної здатності;
- величина пропускної здатності, за якої приймається рішення про

закриття в'їздів на магістраль;

- необхідність пропуску спеціальних автомобілів;
- виникнення дорожньо – транспортної події;
- проведення дорожньо – ремонтних робіт.

Імовірісно – просторово – часова характеристика описує взаємозв'язок між ймовірністю події, просторовими характеристиками об'єкта та часом. При оцінці пропускної здатності дороги можна використовувати підходи, що враховують ці характеристики, для прогнозування транспортного потоку в майбутньому. Такі підходи дозволяють більш точно визначити оптимальні параметри дорожнього покриття, розташування технічних засобів організації дорожнього руху, а також організацію руху для досягнення найбільш ефективної пропускної здатності дороги.

Загалом, імовірісно – просторово – часовий підхід дозволяє враховувати багатофакторність і непередбачуваність дорожнього руху, що дозволяє більш точно моделювати його та планувати інфраструктурні проекти для забезпечення оптимальної пропускної здатності доріг.

Управління дорожнім рухом на мережі автомобільних дорогах при виникненні перешкод включає ряд заходів, які спрямовані на забезпечення безпеки і зручності руху транспортних засобів. Основні підходи до управління дорожнім рухом в таких ситуаціях включають:

- надання достовірної інформації водіям про наявність перешкоди та рекомендовані маршрути об'їзду. Це може бути здійснено за допомогою дорожніх знаків, електронних інформаційних табло, радіо, мобільних додатків або спеціальних патрульних автомобілів.
- заборона або обмеження доступу до ділянки дороги, де є перешкода. Це може включати встановлення бар'єрів, перешкод або виїздів з дороги, що забезпечують фізичне обмеження руху транспорту.
- забезпечення співпраці між різними службами, такими як поліція, пожежна охорона, медичні служби та служби дорожнього управління дозволяє ефективно керувати ситуацією, включаючи екстрені роботи, видалення

перешкоди та розподіл руху.

- забезпечення альтернативних маршрутів об'їзду для руху транспорту може включати встановлення додаткових знаків, організацію направляючих смуг або використання навігаційних систем для спрямування водіїв по іншому шляху.

Ці заходи допомагають забезпечити безпечну і ефективну організацію руху на автомобільних дорогах з урахуванням перешкоди та зменшити вплив перешкоди на рух транспортних потоків.

2.2 Розробка критерію безпечних та безперешкодних умов руху

Для обґрунтування критерію безпечних та безперешкодних умов руху необхідно враховувати процес формування руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування під впливом різного роду перешкод. При обґрунтуванні критерію оптимальності необхідно виходити, що кінцевою метою проведених досліджень і запропонованих заходів має бути забезпечена ефективність перевезень мережею автомобільних доріг загального користування на певному рівні, запобігання зниженню цього рівня в тих випадках, коли цьому зниженню можна запобігти шляхом раціонального розподілу транспортних потоків.

Найбільш ефективними способами досягнення мінімуму витрат для забезпечення певного обсягу перевезень є зменшення тривалості пробігу і вжиття заходів щодо поліпшення транспортно-експлуатаційних показників мережі автомобільних доріг загального користування.

Перешкоди, що виникають на мережі автомобільних доріг загального користування, навпаки, призводять до збільшення пробігу через об'їзд закритих або перекритих ділянок мережі, а також зменшення транспортно-експлуатаційних показників. Виникнення тієї чи іншої перешкоди можна вважати «неминучим» явищем – будь то надзвичайні ситуації або заплановані дорожні роботи, що «так чи інакше» потрібно проводити.

Забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху

автомобільними дорогами встановлюють пріоритетність планування і виконання дорожніх робіт, спрямованих на забезпечення транспортної доступності різних територій України, а також підвищення безпеки та поліпшення зручності дорожнього руху шляхом позачергового, першочергового й чергового удосконалення дорожніх умов на тих ділянках мережі доріг, що не відповідають вимогам з боку транспортних потоків, а також надавати подальшого розвитку мережі автомобільних доріг через удосконалення їхнього транспортно-експлуатаційного стану для задоволення попиту користувачів на рух ними [85].

Умови безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами характеризуються інтегральними динамічними параметрами дорожніх умов, транспортних потоків, погодно-кліматичних умов і станом аварійності, а також наявним ресурсним забезпеченням їхнього функціонування із застосуванням суспільно-економічної оцінки роботи автомобільної дороги як підприємства у транспортній системі регіону АДДМ-НМТП [86].

Задача оптимізації, полягає в розподілі транспортних потоків таким чином, щоб уникнути різкого падіння транспортно-експлуатаційних показників через перешкоду на будь-якій ділянці мережі автомобільних доріг загального користування.

Критерії, за якими буде здійснюватися оцінка транспортно-експлуатаційних показників в результаті загального впливу перешкод руху. Перешкоди впливають практично на всі транспортні та експлуатаційні показники: час руху, швидкість, збільшення шляху руху через об'їзд, збільшення транспортних витрат.

Для оцінки впливу перешкод руху мережею прийнято такі припущення:

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

$$0 \leq N_Z \leq N_{MAX,Z} \quad (2.2)$$

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.

$$0 \leq N_{ij} \leq N_{MAX\ ij} \quad (2.3)$$

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.

Оцінка допустимого збільшення загального часу проїзду транспорту мережею автомобільних доріг загального користування при обґрунтуванні критеріальної функції.

Допустима межа для збільшення загального часу руху транспортних потоків в результаті перешкод у русі і, як наслідок, перерозподілу транспортних потоків, необхідно оцінити характеристики системи «Дорожні умови – транспортні потоки» і вплив «критичних ділянок», що знижують ефективність функціонування мережі. Тому, необхідно мати інформацію про обсяги і величини швидкості руху перегонами, величини витрат часу, щільність та інтенсивність руху.

Таку інформацію необхідно отримати в період найбільшої інтенсивності руху протягом дня. У цьому випадку вплив кожного критичного розділу можна кількісно оцінити величиною часу затримки, що виникає внаслідок збільшення інтенсивності та щільності руху.

Для аналізу умов дорожнього руху необхідно розділити мережу на окремі ділянки за певними ознаками однорідності. Така однорідність визначається або величиною інтенсивністю руху, або геометричними елементами дороги.

Таким чином, на кожній ділянці розрізняють «вхід» і «вихід» та

визначаються місця істотної зміни умов руху. Для зручності обробки та аналізу отриманих матеріалів шифруються всі мережеві магістралі, кодуються окремі секції. Дані про щільність потоку, швидкість руху, час у дорозі, а також інтенсивність руху повинні бути об'єднані таким чином, щоб одержати кількісну оцінку затримок, які відбуваються на «критичних ділянках».

Загальні затримки по часу в будь-якій області i за j -тий період визначаються за формулою:

$$N_{ij} = \frac{N_{ij}^{im} \cdot L_i}{\bar{V}_{ij}}, \quad (2.4)$$

де N_{ij}^{im} – інтенсивність руху на ділянці i в періоді часу j , авт./год;

L_i – довжина i -ої ділянки, км;

$\bar{V}_{ij}$ – середня швидкість руху по всіх смугах ділянки за час j , км/год.

Загальні втрати на мережі автомобільних доріг загального користування за певний період часу:

$$N = \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^m \frac{N_{ij} \cdot L_i}{\bar{V}_{ij}}, \quad (2.5)$$

де n – кількість періодів часу;

m – кількість ділянок на мережі автомобільних доріг.

Кількість автомобілів на мережі автомобільних доріг за період t :

$$N(t)_i = L_i \cdot k_i \cdot \bar{\lambda}(t), \quad (2.6)$$

де k_i – кількість смуг руху на ділянці i ;

$\bar{\lambda}(t)$ – середня щільність на ділянці i за період часу t .

Кількість автомобілів, що перебуває на ділянці i за період часу t у j -тий період часу вимірювання кількості автомобілів, що рухаються через ділянку i

за через середню щільність $\bar{\lambda}_{ij}$

$\bar{\lambda}_{ij}$ – це середня щільність на ділянці i в період часу t , коли усереднення здійснювалось у період часу j

$$N_{ij} = L_i \cdot k_i \cdot \bar{\lambda}_{ij}, \quad (2.7)$$

Загальна кількість автомобілів на мережі автомобільних доріг за період що розглядається:

$$N(t) = \sum_{i=1}^n L_i k_i \bar{\lambda}(t)_i; \quad (2.8)$$

Загальні втрати часу на даній мережі автомобільних доріг за час між t_o і t_n :

$$N = \int_{t_o}^{t_n} N(t) dt. \quad (2.9)$$

За результатами попередніх досліджень втрати часу та швидкість руху є нормальною, оскільки вони пов'язані з проходженням мережею автомобільних доріг від початку до кінця і можуть бути різними в залежності від часу доби. Затримки – це збільшення втрати часу на проїзд мережею автомобільних доріг вище нормальних. Така ситуація виникає, коли умови руху не дозволяють зберегти величину втрату часу на одному рівні. Для визначення критичного значення швидкості руху, нижче якого умови руху слід вважати «нетиповим».

Затримка одного автомобіля на ділянці i :

$$t_{затр,ij} = \frac{L_i}{V_{ij}} - \frac{L_i}{V_{kp}} = L_i \left(\frac{1}{V_{ij}} - \frac{1}{V_{kp}} \right), \quad (2.10)$$

де $\bar{V}_{ij}$ – швидкість руху автомобіля в нормальних умовах, км/год;

V_{kp} – критична швидкість, нижче якої відбуваються затримки руху, км/год.

Для значення швидкості $V_{кр}$ вводимо поняття критичної інтенсивності та критичної щільності транспортного потоку $N_{кр}^{int}$ та $\lambda_{кр}$.

Загальна затримка всіх автомобілів на ділянці i протягом часу j :

$$N_{i,кр} = \frac{N_{кр}^{int} \cdot L_i}{V_{кр}}, \quad (2.11)$$

$$N_{i,кр} = L_i \cdot k_i \cdot \lambda_{кр}, \quad (2.12)$$

$\lambda_{кр}$ – критична щільність потоку, авт./год.

Згідно до фундаментальної діаграми транспортного потоку N^{int} у певному наближенні можна вважати, що критичному значенні ($\lambda_{кр}$) відповідає певне критичне значення $N_{кр}^{int}$. При цьому рух вже є синхронізований, що призводить до зменшення швидкості транспортного потоку, починаючи з певного значення $V_{кр}$. Що призводить до затримки по часу.

Тоді в рівняннях (2.4) і (2.7) можна прирівняти праві частини і визначити час проходження автомобілем i -тої ділянки у j -тий період часу:

$$\begin{aligned} \frac{N_{ij}^{int} \cdot L_i}{\bar{V}_{ij}} &= L_i \cdot k_i \cdot \bar{\lambda}_{ij}; \\ \frac{L_i}{\bar{V}_{ij}} &= \frac{L_i \cdot k_i \cdot \bar{\lambda}_{ij}}{N_{ij}^{int}}. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Відповідно в рівняннях (2.11) і (2.12) можна прирівняти праві частини і знайти час проходження ділянки i автомобілем з критичною швидкістю руху:

$$\begin{aligned} \frac{N_{кр}^{int} \cdot L_i}{V_{кр}} &= L_i \cdot k_i \cdot \lambda_{кр}, \\ \frac{L_i}{V_{кр}} &= \frac{L_i \cdot k_i \cdot \lambda_{кр}}{N_{кр}^{int}}. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Загальну затримку часу на мережі можна визначити наступним чином:

$$t_{затр} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m t_{затр,ij}, \quad (2.15)$$

де m – кількість об'єктів, де виникла критична ситуація;

n – кількість часових періодів, протягом яких існує критична ситуація.

Для визначення загального часу затримки підставимо вираз (2.13) і (2.14) у (2.10):

$$t_{затр,ij}^1 = \frac{L_i}{\bar{V}_{ij}} - \frac{L_i}{V_{кр}} = \frac{L_i \cdot k_i \cdot \bar{\lambda}_{ij}}{N_{ij}^{инт}} - \frac{L_i \cdot k_i \cdot \lambda_{кр}}{N_{кр}^{инт}} = L_i \cdot k_i \left(\frac{\bar{\lambda}_{ij}}{N_{ij}^{инт}} - \frac{\lambda_{кр}}{N_{кр}^{инт}} \right) \quad (2.16)$$

Тоді для N_{ij} автомобілів, що перебуває на ділянці i у період часу j визначається формулою:

$$t_{затр}^{N_{ij}} = N_{ij} \cdot L_i \cdot k_i \left(\frac{\bar{\lambda}_{ij}}{N_{ij}^{инт}} - \frac{\lambda_{кр}}{N_{кр}^{инт}} \right) \quad (2.17)$$

Відповідно загальна затримка часу на мережі автомобільних доріг згідно (2.15) – (2.17) визначається наступним чином:

$$t_{затр} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m N_{ij} \cdot L_i \cdot k_i \left(\frac{\bar{\lambda}_{ij}}{N_{ij}^{инт}} - \frac{\lambda_{кр}}{N_{кр}^{инт}} \right), \quad (2.18)$$

Процес утворення «критичної ділянки» відбувається у вигляді накопичення автомобілів у зв'язку зі збільшенням інтенсивності руху за період t :

$$S(t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^m \left(L_i k_i \left(\bar{\lambda}(t_j)_i - \lambda_{кр} \right) \right) & \text{при } \bar{\lambda}(t_j)_i > \lambda_{кр} \\ 0 & \text{при } \bar{\lambda}(t_j)_i \leq \lambda_{кр} \end{cases} \quad (2.19)$$

Рівняння (2.19) може бути модифіковане з урахуванням накопичення, через надходження автомобілів на дану ділянку:

$$S(t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^m (L_i k_i (\bar{\lambda}(t_j)_i - \lambda_{kp})) + S_{nij} & \text{при } \bar{\lambda}(t_j)_i > \lambda_{kp} \\ 0 & \text{при } \bar{\lambda}(t_j)_i \leq \lambda_{kp} \end{cases} \quad (2.20)$$

За наявності з'їзду в зоні ділянки (а саме на початку) частина скупчення автомобілів може використовувати його для вибору іншого маршруту руху за умови:

$$d_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{(i-1)j}} < 1,$$

де $N_{(i-1)j}$ – інтенсивність руху на попередній ділянці автомобільних доріг.

Тоді скупчення автомобілів на «критичній ділянці»:

$$S(t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^m \left(d_{ij} \left(L_i k_i (\bar{\lambda}(t_j)_i - \lambda_{kp}) \right) \right) + S_{nij} & \text{при } \bar{\lambda}(t_j)_i > \lambda_{kp} \\ 0 & \text{при } \bar{\lambda}(t_j)_i \leq \lambda_{kp} \end{cases} \quad (2.21)$$

Характеристики умов руху мережею автомобільних доріг загального користування дають можливість визначити допустиму межу збільшення сумарного часу руху транспортних засобів внаслідок впливу перешкод руху.

Критеріальна функція.

У загальному вигляді критеріальна функція може бути описана:

$$T_p \leq k_t \cdot T, \quad (2.22)$$

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 перешкод, год;

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

При цьому

$$T = \sum_{i=1}^{N_a} t(a,i), \quad (2.23)$$

де $t(a,i)$ – час проїзду i -им транспортним засобом дорожньою мережею, год;
 N_a – загальна кількість транспортних засобів на мережі автомобільних доріг, авт.;

В результаті руху на перегонах та перехрестях мережею автомобільних доріг формуються транспортні потоки певної інтенсивності, таким чином, сумарний час руху транспорту мережею автомобільних доріг можна представити в наступному вигляді:

$$T = \sum_{z=1}^{m_n} N_z t_z(N_z) + \sum_{i=1}^{m_y} \sum_{j=1}^{n_i} t_{i,j}(N_{i,j}), \quad (2.24)$$

де N_z – інтенсивність руху транспорту по z -му перегону, авт./год;

t_z – час проїзду z -го перегону;

m_n – кількість перегонів на мережі, шт;

$N_{i,j}$ – інтенсивність руху транспорту в j -му напрямку руху i -го перехрестя, авто/год;

$t_{i,j}(N_{i,j})$ – час проїзду i -го перехрестя в j -ому напрямку руху;

n_i – загальна кількість напрямків руху на i -му перехресті мережі, шт;

m_y – загальна кількість перехресть на мережі, шт.

Оскільки ефективне функціонування мережі автомобільних доріг може здійснюватися за умови, що інтенсивність руху на перегонах та перехрестях не повинна перевищувати їх пропускну здатність, тому умови (2.2) та (2.3) є обмеженнями для критеріальної функції (2.24).

Загалом, порядок вирішення задачі оптимізації планування виконання робіт на мережі автомобільних доріг загального користування за допомогою критеріальної функції буде наступний:

- а) задається певна мережа автомобільних доріг;
- б) обчислюється мінімальний сумарний час руху транспортних засобів мережею автомобільних доріг;
- в) моделюються оптимальне розподілення транспортних засобів за напрямками руху;
- г) вводиться перешкода руху на даний перегін;
- д) моделюється оптимальний розподіл транспортних засобів за напрямками руху з урахуванням впливу даної перешкоди;
- є) на перехрестях та перегонах маршрутів об'їзду аналізуються величини пропускної здатності.

2.3 Модель розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування

Для вирішення завдання визначення та мінімізації сумарного впливу перешкод, що виникають на мережі автомобільних доріг, необхідно побудувати загальну модель розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг в результаті зменшення пропускної здатності або закриття руху на одному з перегонів мережі автомобільних доріг. З цією метою використовується наведена вище критеріальна функція та її обмеження.

Для оцінки впливу перешкод руху на розподіл транспортних потоків необхідно побудувати модель оптимального розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг, як з точки зору довжини маршрутів, так і з точки зору часу проїзду, оскільки передбачається, що водії транспортних засобів, що здійснюють об'їзд місця виникнення перешкоди, вибирають оптимальні для себе маршрути об'їзду.

Побудову загальної моделі зручно розглядати, починаючи з формування вихідних даних. Як вихідні дані є необхідним розглянути три групи характеристик, що впливають на процес розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг:

- 1) характеристики мережі автомобільних доріг, до яких належать:
 - топологія мережі автомобільних доріг;

- наявність магістральних доріг у заданій дорожній мережі;
- геометричні елементи перегонів та перехресть;
- величини пропускних здатностей перегонів та перехресть за напрямками руху;
- тип та стан покриття;
- дислокація на мережі точок входу та виходу транспортних потоків, що розподіляються.

Мережа автомобільних доріг має бути представлена певною кількістю перегонів та перехресть, перегони призначаються між перехрестями. У разі зміни геометричних характеристик, стану покриття або інших дорожніх умов протягом довжини перегону, вводяться додаткові умовні перегони.

2) характеристики транспортних потоків, що рухаються мережею автомобільних доріг, до яких належать:

- величини інтенсивності руху транспортних потоків на перегонах мережі автомобільних доріг;
- величини середніх швидкостей руху транспортних потоків на перегонах мережі автомобільних доріг залежно від інтенсивності руху та дорожніх умов;
- склад транспортних потоків на перегонах мережі автомобільних доріг.

3) характеристики перешкод руху транспорту, що виникають на мережі автомобільних доріг, до яких належать:

- топологія перешкод;
- ступінь впливу цієї перешкоди на величину пропускної здатності мережі автомобільних доріг.

Для побудови загальної моделі розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг внаслідок зменшення пропускної здатності або закриття руху на одному з перегонів мережею автомобільних доріг необхідні також дані про існуючу схему організації руху, величини затримок на перехрестях залежно від їх характеристик, інтенсивність відповідних потоків та способів регулювання.

При цьому будь-який транспортний потік між точками входу і виходу може бути розглянутий як транзитний, тобто загальна модель розподілу

транспортних потоків мережею автомобільних доріг зводиться до розподілу транзитних транспортних потоків.

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.

Побудова моделі починають з формування формалізованої схеми мережі автомобільних доріг (рис. 2.1).

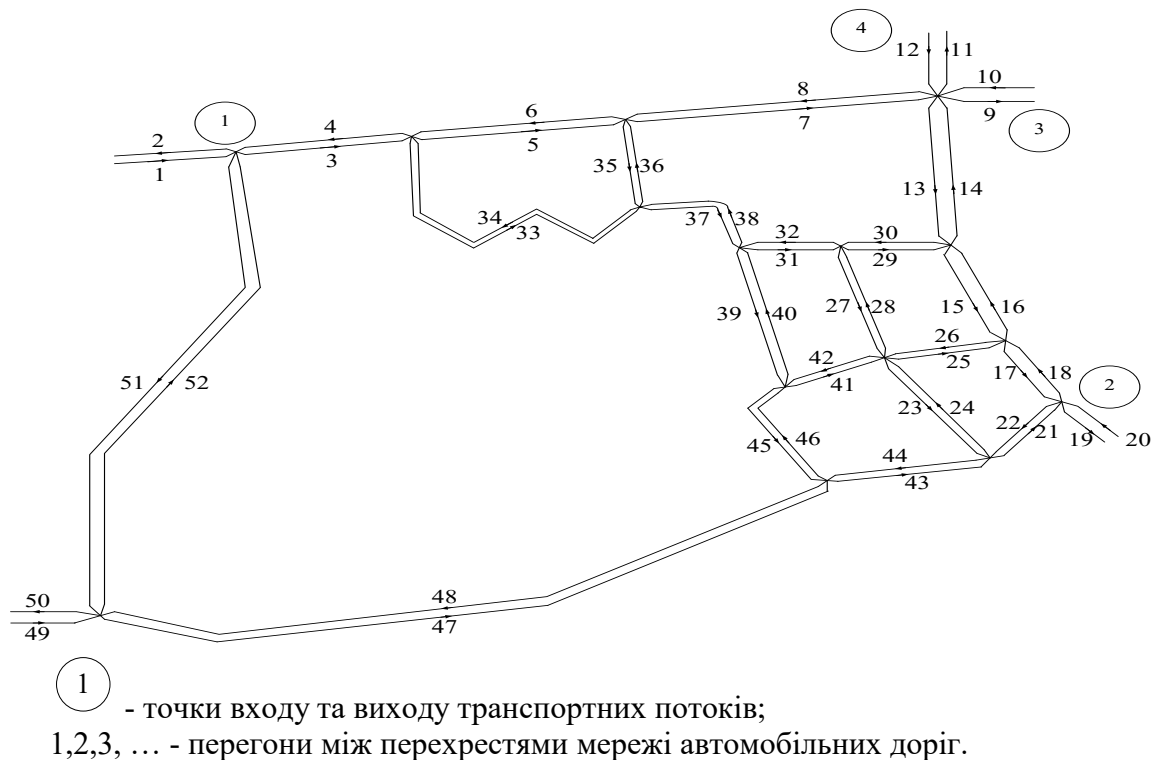


Рисунок 2.1 – Формалізована схема мережі автомобільних доріг

Мережа автомобільних доріг представлена перегонами, перехрестями та точками входу та виходу транспортних потоків. Точки входу та виходу нумеруються у довільному порядку, а перегони між перехрестями мережі нумеруються за напрямками руху.

Таким чином, є ξ входів і η виходів на автомобільну дорогу. 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:

$$M_{\xi} = \sum_{\eta}^n n_{\xi,\eta}; \xi \neq \eta. \quad (2.25)$$

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

$$M = \sum_{\eta}^n M_{\xi}. \quad (2.26)$$

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

Наприклад, для мережі автомобільних доріг (рис. 2.1) 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)

тобто $n_{\xi,\eta} = n_{1,2} = 9$.

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

$$K = K(\xi, \eta, K_1) = \sum_{i=1}^{\xi-1} \left(\sum_{j=1}^{i-1} n_{i,j} + \sum_{j=i+1}^n n_{i,j} \right) + \sum_{i=1}^{\xi-1} n_{\xi,1} + \sum_{i=\xi+1}^{\eta-1} n_{\xi,i} + K_1, \quad (2.27)$$

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 перегonom подається в матричній формі:

$$A = |a_{k,z}|, \quad (2.28)$$

де $a_{k,z}$ елемент матриці, який рівний 1 за наявності зв'язку та дорівнює 0 за

відсутності зв'язку;

z – номер перегону.

Наприклад, для мережі, що представлена на рис. 2.1 матриця для зв'язку 1-2 має такий вигляд: (Додаток А.1).

У зв'язку з тим, що кожному входу і ξ -ому виходу і η -ому виходу $\xi \neq \eta$ відповідає $n_{\xi,\eta}$ кількість маршрутів, то вхідний транспортний потік $N_{\xi,\eta}$, величина якого може змінюватися в часі, розподіляється тільки за $n_{\xi,\eta}$ кількістю маршрутів, причому має виконуватися така умова:

$$N_{\xi,\eta} = \sum_{K(\xi,\eta-1,1)}^{K(\xi,\eta-1, n_{\xi,\eta})} N(k), \quad (2.29)$$

де $N(k)$ – інтенсивність руху розподілених транспортних потоків по k -м маршрутам руху.

Розподілені потоки на перегонах до k -го маршруту визначаються залежно:

$$N_z(k) = a_{k,z} N(k). \quad (2.30)$$

З урахуванням викладеного, цільова функція розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг без урахування затримок на перехрестях та місцевій інтенсивності має вигляд:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \frac{l_z \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k)}{V_z \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k)}, \quad (2.31)$$

де T_n – сумарний час руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг, год;

l_z – довжина z -го перегону, км;

v_z – середня швидкість руху на z -ом перегоні, що залежить від інтенсивності руху на ньому, км/год.

Для визначення часу затримок на перехрестях необхідно врахувати розподіл транспортного потоку, що входить за напрямками, у зв'язку з чим

будується матриця зв'язків перегонів (Додаток А.2).

$$B = |b_{z,q}| \quad (2.32)$$

де z – номер перегону, за яким транспортний потік входить на перехрестя;

q – номер перегону, за яким транспортний потік виходить із перехрестя;

$b_{z,q}$ – елемент матриці, що вказує на наявність зв'язку між перегонами, зв'язок існує при $b_{z,q} = 1$, відсутня зв'язок при $b_{z,q} = 0$, $z, q = 1, 2, \dots, m(n)$, $z \neq q$.

З урахуванням матриць (2.28) і (2.32) транспортний потік що розподіляється на перехресті розраховується за формулою:

$$N_{z,q} = b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N(k). \quad (2.33)$$

Величина сумарного часу затримок транспортних потоків, що розподіляються, на перехрестях визначається за залежністю:

$$T_y = \sum_{z=1}^{m_n} \sum_{q=1}^{m_n} b_{z,q} t_{z,q} (N_{z,q}). \quad (2.34)$$

де $t_{z,q}(N_{z,q})$ – величина затримок транспортних засобів у напрямку руху на перехресті.

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

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z \cdot \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k)}{V_z \cdot \left(\sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k) \right)} + \sum_{q=1}^{m_n} b_{z,q} t_{z,q} (N_{z,q}) \right), \quad (2.35)$$

Оскільки цільова функція розподілу транспортних потоків повинна враховувати інтенсивності руху місцевих транспортних потоків на перегонах мережі. Тому функція (2.35) набуває вигляду:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z (N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))}{V_z \left(N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k) \right)} + \sum_{q=1}^{m_n} t_{z,q} \left(N_{M,Z,q} + b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) \right) \right), \quad (2.36)$$

де $N_T(k)$ – інтенсивність руху розподіленого транспортного потоку по k -му

маршруту, авт./год;

$N_{M,Z}$ – інтенсивність руху не розподіленого транспортного потоку по Z -му перегону, авто/год.

$N_{M,Z,q}$ – величина інтенсивності руху транспортного потоку, що не розподіляється, між Z -м і q -м перегонами, авт./год.

Оптимізація за критерієм (2.36) проводиться за умови виключення виникнення заторів на перехрестях та перегонах мережі автомобільних доріг в зоні управління:

$$0 \leq \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) \leq N_{MAX,Z} - N_{M,Z}; \quad (2.37)$$

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

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

$$N_{\xi,\eta} = \sum_{K(\xi,\eta-1,1)}^{K(\xi,\eta-1,n_{\xi,\eta})} N_T(k), \quad (2.38)$$

де $N_{MAX,Z}$ – величина пропускної здатності Z -го перегону;

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

Мінімізація критеріальної (цільової) функції (2.36) при виконанні граничних умов (2.37) та (2.38) дозволяє здійснити оптимальний розподіл транспортних потоків мережею автомобільних доріг через перерозподіл транспортних потоків на перехрестях та перегонах транспортної мережі. Аналіз критеріальної функції (2.36) 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.

2.4 Аналіз моделі розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування

Оптимальний розподіл транспортних засобів мережею автомобільних доріг здійснюється шляхом мінімізації функції (2.36) за заданих умов (2.37) та (2.38). Для аналізу збурюючого впливу перешкод руху, що виникають у різних точках мережі автомобільних доріг, необхідно досліджувати математичну модель розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг, вводячи в модель різні перешкоди, дія яких полягає у зниженні пропускної здатності або закритті руху на окремих перегонах мережі.

Дослідження функції (2.36), а також умов (2.37) та (2.38) теоретично можна здійснити методами динамічного програмування, які ґрунтуються на цілеспрямованому переборі варіантів рішення. Кількість варіантів та точність рішення залежить від кількості маршрутів руху та кроку переборів. Достатня точність розв'язання цього класу завдань досягається малим кроком (10-20 автомобілів).

Практична реалізація математичної моделі можлива з урахуванням використання методів класичного функціонального аналізу. Для цього обмеження, що накладаються на критеріальну функцію, не повинні включати нерівності. При цьому критеріальна функція має бути безперервною і мати похідні першого та другого порядку. Вимоги щодо обмежень у вигляді нерівностей для перегонів може бути враховано залежно від «інтенсивності – швидкості», що входить у критеріальну функцію (2.36), якщо ця залежність задовольняє умовам:

$$V_z = 0 \text{ при } \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) > N_{MAX,Z} - N_{M,Z};$$

$$V_z = 0 \text{ при } \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) < 0,$$
(2.39)

яка являється безперервною функцією та має похідні до другого порядку включно.

Існуючі залежності середньої швидкості руху транспортних потоків від інтенсивності їх руху є рівняннями як лінійного, і нелінійного виду.

Усі лінійні залежності можуть бути зведені до одного загального вигляду:

$$V = a - bN, \quad (2.40)$$

де аргумент N має область визначення від мінус нескінченності до нескінченності.

Нелінійні залежності можуть бути представлені двома основними групами:

- отриманими на основі імовірнісних моделей;
- отриманими на основі динамічних моделей.

Нелінійні залежності, отримані на основі імовірнісних моделей, мають загальну властивість аргумент має область визначення від нуля до нескінченності.

Існуючі нелінійні залежності між інтенсивністю та швидкістю руху, отримані на основі динамічних моделей транспортних потоків, в основному мають наступний функціональний вигляд:

$$N = f(v(\lambda)), \quad (2.41)$$

де λ – щільність транспортного потоку.

Залежність виду (2.38), як показано у ряді робіт різних авторів [87-91], не лише недостатньо відображає фізичну сутність процесу руху, але й практично не реалізується в завданнях класу, в яких розглядається. Розподілу підлягає величина інтенсивності руху, а щільність є функцією цього розподілу. Крім того, необхідно прагнути зменшення обсягу вихідних даних.

Отримані наближені залежності виду $v = f(N)$ із залежності (2.41) мають загальну властивість – функція визначена в області $(0, N_{MAX})$ і є розривною.

Таким чином, наведений вище аналіз існуючих залежностей «швидкість – інтенсивність» показує невідповідність цих залежностей висунутим вимогам.

Отримати залежність $v = f(N)$, що задовольняє висунутим вимогам, на основі натурного спостереження за рухом транспортного потоку неможливо.

Тому виходячи із фізичної сутності процесу необхідно створити залежність, поклавши в основу вже існуючі залежності «інтенсивність – швидкість».

Аналогічно вимога щодо обмежень у вигляді нерівностей для перехресть може бути врахована в залежності «затримка – інтенсивність руху», що входить у критеріальну функцію, якщо залежність:

$$t_{z,q} = t_{z,q} \left(N_{M,Z,q} + b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) \right);$$

Задовольняє умовам:

$t_{z,q}$ – прагне в безкінечність при

$$\begin{cases} b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) > N_{MAX,Z,q} - N_{M,Z,q}; \\ b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) < 0. \end{cases} \quad (2.42)$$

Є безперервною функцією та має похідні до другого порядку включно.

Аналіз існуючих залежностей величини затримки на перехрестях від інтенсивності відповідних потоків, проведений у роботах різних авторів [87, 91-94], показує, що вони мають загальну властивість – функція визначена в області $]-\infty, \infty[$ і залежності можуть бути виражені рівнянням:

$$t = d + cN, \quad (2.43)$$

тобто вони не задовольняють висунутим вимогам.

Отримання необхідної залежності можливе при виборі даних окремих досліджень.

Залежності $v = f(N)$ і $t = \varphi(N)$ мають бути побудовані теоретико-експериментальним шляхом, причому область існування залежностей визначається експериментальним шляхом, а висунуті вище умови можна досягти застосуванням апарату R - функції [95].

У разі отримання таких залежностей та включення їх у критеріальну функцію, завдання зводиться до мінімізації критеріальної функції з граничними умовами у вигляді рівностей, що супроводжується зменшенням кількості граничних умов. Тоді математична модель розподілу транспортних

потоків запишеться як:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z (N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k))}{V_z \left(N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) \right)} + \sum_{q=1}^{m_n} t_{z,q} \left(N_{M,Z,q} + b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) \right) \right); \quad (2.44)$$

$$N_{\xi,\eta} = \sum_{K(\xi,\eta-1,1)}^{K(\xi,\eta-1, n_{\xi,\eta})} N_T(k), \quad (2.45)$$

$$\xi, \eta = 1, 2, \dots, n; \quad \xi \neq \eta.$$

Для отримання оптимального розподілу транспортних потоків у даних умовах руху мінімізуємо функцію (2.44) за умов (2.45) за допомогою функції Лагранжа:

$$\Pi = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z (N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k))}{V_z} + \sum_{q=1}^{m_n} t_{z,q} \right) + \sum_{\xi=1}^n \sum_{\eta=1}^n \lambda_{\xi,\eta} \left(\sum_{K(\xi,\eta-1,1)}^{K(\xi,\eta-1, n_{\xi,\eta})} N_T(k) - N_{\xi,\eta} \right), \quad (2.46)$$

де $\lambda_{\xi,\eta}$ – множник Лагранжа.

Розв'язавши систему рівнянь:

$$\sum_{z=1}^{m_n} a_{k,z} \left(l_z \frac{V_z - \frac{\partial V_z}{\partial N_T(k)} \left(N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) \right)}{V_z^2} + \sum_{q=1}^{m_n} b_{z,q} a_{k,q} \frac{\partial t_{z,q}}{\partial N_T(k)} \right) + \lambda_{\xi,\eta} = 0; \quad (2.47)$$

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

При $k=1, 2, \dots, M; \xi, \eta=1, 2, \dots, n; \xi \neq \eta; n=const$, для $k \in [k(\xi, \eta-1, 1), k(\xi, \eta-1, n_{\xi,\eta})]$ отримаємо шуканий оптимальний розподіл транзитних транспортних потоків за існуючих дорожніх умов, а також відповідні йому оптимальні маршрути руху.

При цьому сумарний час проїзду мережі транспортними засобами буде мінімальним. Вводячи перешкоди руху на перегонах мережі, необхідно

провести аналіз оптимального розподілу потоків при впливі перешкод і порівняти значення мінімумів критеріальної функції до введення перешкод після нього.

Нині у математиці немає прийнятного аналітичного методу розв'язання систем виду (2.47) У зв'язку з цим реалізувати рішення даної системи дозволяють методи наближених обчислень. Для вирішення даної системи застосовуємо метод Ньютона, основою якого покладено принцип зведення нелінійної системи рівнянь до розв'язання лінійної системи рівнянь.

Аналіз системи рівнянь (2.47) дозволяє стверджувати, що для вирішення задачі моделювання оптимального розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг при впливі перешкод руху достатньо досягти рівності перших часових похідних від критеріальної функції маршрутів заданих напрямів.

2.5 Рішення задачі розподілу транспортних потоків при наявності пріоритетних напрямків руху, а також рівнобіжними маршрутами

У практиці можуть мати місце випадки, коли на мережі автомобільних доріг існує настільки потужна пара «пункт відправлення – пункт призначення», що рух між ними найчастіше є усталеним за напрямками.

У зв'язку з цим можна значно спростити процес моделювання розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг, використовуючи розподіл транспорту за пріоритетними напрямками. Пріоритетність того чи іншого маршруту визначається при моделюванні розподілу транспортного потоку, що здійснює об'їзд перешкоди руху, що виникла на магістралі цього напрямку. Таким чином, постає завдання обґрунтування пріоритетності за напрямками руху.

Пріоритет того чи іншого напрямку руху залежить від наступних факторів:

- кількості можливих маршрутів руху;
- сумарної довжини маршрутів руху;

– запасу пропускної здатності напрямку руху для транзитного транспорту.

Чим менша кількість можливих маршрутів за напрямком руху, тим вищий пріоритет спрямування.

Серед сукупності напрямків руху, що мають однакову кількість маршрутів руху, вищим пріоритетом має той напрямок, який характеризується меншим запасом пропускної здатності для транзитного транспорту. Серед обраної сукупності напрямів руху, які мають однакову кількість маршрутів і запасом за пропускною здатністю, вищим пріоритетом матиме той напрямок руху, який характеризується меншою сумарною довжиною маршрутів. У разі рівності вищевказаних параметрів напрямків пріоритетність напрямку вибирається довільно.

Суть запропонованого методу полягає в оптимізації розподілу транспортного потоку по кожному напрямку руху (з точки виходу в точку входу):

$$T = \sum_{\xi=1}^n \sum_{\eta=1}^n \min T(\xi, \eta), \xi \neq \eta; \quad (2.48)$$

де $\min T(\xi, \eta)$ – оптимальний час руху за маршрутами ξ -го входу та η -го виходу мережі. Визначається відповідно до 2.3 з урахуванням вибору перегонів та вузлів, що становлять маршрут руху:

$$T(\xi, \eta) = \sum_{z=1}^{m_n} a_{k,z} \left(\overline{a_{k,z}} \frac{l_z \sum_{k(\xi, \eta-1, 1)}^{k(\xi, \eta-1, n_{\xi, \eta})} (N_{M,Z} + a_{k,z} N_T(k))}{V_z \left(N_{M,Z} + \sum_{k(\xi, \eta-1, 1)}^{k(\xi, \eta-1, n_{\xi, \eta})} a_{k,z} N_T(k) \right)} + \sum_{z=1}^{m_n} a_{z,q} t_{z,q} \left(N_{M,Z} + \sum_{k(\xi, \eta-1, 1)}^{k(\xi, \eta-1, n_{\xi, \eta})} a_{k,z} N_T(k) \right) \right); \quad (2.49)$$

де

$$\overline{a_{k,z}} = \left(1 + \sum_{k(\xi, \eta-1, 1)}^{k(\xi, \eta-1, n_{\xi, \eta})} a_{k,z} - \left(1 - \sum_{k(\xi, \eta-1, 1)}^{k(\xi, \eta-1, n_{\xi, \eta})} a_{k,z} \right) \right);$$

$$\overline{b_{k,z}} = \left(1 + b_{k,q} \sum_{k(\xi, \eta-1, 1)}^{k(\xi, \eta-1, n_{\xi, \eta})} a_{k,z} a_{k,q} - \left(1 - b_{k,q} \sum_{k(\xi, \eta-1, 1)}^{k(\xi, \eta-1, n_{\xi, \eta})} a_{k,z} a_{k,q} \right) \right).$$

Слід зазначити, що при вирішенні завдання розподілу транспортних потоків за черговим пріоритетним напрямом, розподіл транспорту за попередніми пріоритетами враховується у вигляді представлення вже розподілених потоків величинами місцевих інтенсивностей, що не підлягають подальшому розподілу, тобто перебіг розрахунку здійснюється від першого пріоритету до останнього в порядку їх зростання.

В результаті проведених таким чином розрахунків за різних умов руху отримаємо розподіл транзитних транспортних потоків по заданій мережі автомобільних доріг. При цьому, як зазначалося раніше, під транзитним потоком розумітимемо транспортний потік даного напрямку, що рухається по цій магістралі. У разі виникнення перешкоди руху на цій мережі автомобільних доріг транзитний потік підлягає розподілу об'їзними маршрутами даного напрямку. Транспортні потоки об'їзних маршрутів розглядаються як місцева інтенсивність руху.

Отримане раціональне розв'язання задачі має істотну перевагу - значно менший час розв'язання порівняно з описаним у другому розділі рішенням загальної моделі. Це твердження випливає з аналізу кількості операцій, яку необхідно зробити ЕОМ на вирішення системи лінійних рівнянь при реалізації існуючих методів вирішення таких систем [97-98]. Таким чином, запропонований метод розподілу транспортних потоків з урахуванням пріоритету дозволяє ефективно розв'язати задачу отримання розподілу транспорту, що здійснює об'їзд перешкоди руху.

При цьому для отримання рішення для всієї мережі або ділянки мережі необхідно провести коригування розподілу по кожному напрямку з урахуванням впливу на нього вже отриманих розподілів за напрямками руху.

Отримання рішення у всій мережі передбачає наявність зворотного зв'язку, тобто попереднє рішення в свою чергу залежить від наступного рішення. Відсутність такого зв'язку в запропонованому методі визначає раціональність, але не оптимальність розподілу. Ступінь достовірності раціонального рішення стосовно оптимального залежить від черговості розподілу по кожному напрямку руху.

Для отримання рішення можна використати описаний вище алгоритм.

Послідовність розрахунку за $p = (n - 1) n$ напрямками проводиться за такою схемою:

- 1) проводиться розподіл транзитного транспортного потоку згідно з функціоналом (2.48) $(p-1)$ -го напрямку руху. Результати розподілу транзитних потоків за всіма іншими напрямками руху представляються у вигляді місцевої інтенсивності;
- 2) проводиться розподіл транзитного транспортного потоку $(p-2)$ -го напрямку руху. Результати розподілу транзитних потоків за всіма іншими напрямками руху представляються у вигляді місцевої інтенсивності, і так далі, включаючи перший пріоритетний напрямок;
- 3) вводиться перешкода руху на даному напрямку та повторюються дії, зазначені у п. 1 та 2;
- 4) результат розподілу слід порівнювати з попереднім результатом розподілу за величиною сумарного часу руху дорожньою мережею. Якщо розбіжності між аналізованими величинами по порівнюваним наближенням перевищують задану точність, необхідно зробити наступне наближення, у своїй хід розрахунку приймається зворотним ходом розрахунку попередньому наближенню. Якщо розбіжності виявляються в межах заданої похибки, то отриманий результат розподілу є оптимальним для умов руху на мережі.

Дане твердження впливає із виконання умови (2.47).

- 5) отриманий результат розподілу транспортних потоків порівнюється з попереднім результатом оптимального розподілу (без урахування перешкод) також за величиною сумарного часу руху по мережі автомобільних доріг.

Як видно з вищесказаного, розподіл транзитних транспортних потоків пов'язаний зі значною кількістю послідовних наближень і призводить до збільшення часу вирішення завдання.

Застосування того чи іншого способу вирішення задачі розподілу транспортних потоків автомобілів, що здійснюють об'їзд перешкоди руху, що виникла на даній ділянці мережі автомобільних доріг, залежить від обсягу магістральної мережі, її розгалуженості, кількості точок входу та виходу,

існуючих технічних засобів, що дозволяють реалізовувати розподіл транспортних потоків .

В результаті реалізації вищевказаних методик буде сформульовано:

- напрями руху транзитних транспортних потоків, що розподіляються;
- пріоритети напрямів руху;
- маршрути для розподілу транзитних транспортних потоків у кожному напрямі руху;
- перегони, з яких складається кожен маршрут транзитних транспортних потоків, що розподіляються;
- перехрестя магістральної мережі, через які проходять маршрути транспортного потоку, що розподіляється;
- характеристики пропускної здатності перехресть, перегонів і напрямів руху транспортних потоків що розподіляються;
- величини місцевих інтенсивності руху на кожному з перегонів та його розподіл кожному перехресті;
- геометричні характеристики кожного перегону;
- величини інтенсивності транспортних потоків, що підлягають розподілу;
- залежності зміни середньої швидкості руху від інтенсивності руху кожного перегону;
- залежності, що визначають величини затримок транспортних потоків від інтенсивності руху на перехрестях магістральної мережі.

У практиці організації дорожнього руху розглядаються різні типи завдань розподілу транспортних потоків.

При розв'язанні задачі про розподіл транзитного транспорту визначаються маршрути його руху з метою якнайшвидшого пропуску через існуючу дорожню мережу без істотної зміни умов руху місцевого транспорту [98-102, 122-123].

Для того, щоб рух розподілених потоків за маршрутами об'їзду перешкоди руху був оптимальним і не призводив до перевантаження окремих

магістралей або їх ділянок, потрібно вирішити задачу оптимального завантаження маршрутів об'їзду в залежності від характеристик дорожніх умов та характеристик транспортних потоків.

Вищезазначені завдання, незважаючи на їх зовнішню різницю, за своїм характером мають єдині передумови виникнення, а отже, мають загальний метод вирішення - розподіл транспортних потоків.

Якщо на мережі автомобільних доріг, представлений декількома рівнобіжними магістралями, існує їх нерівномірне завантаження, може виникнути завдання оптимізації завантаження магістралей руху шляхом перерозподілу транспортних потоків за цими рівнобіжними маршрутами. Під рівнобіжними маються на увазі маршрути, що не перетинаються між собою в одному рівні і мають спільні точки входу та виходу на мережі автомобільних доріг. При цьому нумерація перегонів здійснюється від точки входу до точки виходу з мережі рівнобіжних маршрутів із послідовним перебором усіх маршрутів (рис. 2.1.).

Таким чином, завдання зводиться до поділу транспортного потоку на місцевий та транзитний та подальшого розподілу останнього. Як зазначалося, завантаження магістралей рухом проводиться з урахуванням наявності місцевого транспорту.

Зважаючи на те, що рівнобіжні маршрути не перетинаються між собою, цільова функція розподілу транспортного потоку (2.44) трансформується до виду:

$$T = \sum_{k=1}^M \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z \left(N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) \right)}{V_z \left(N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) \right)} \right) + t_{ex,\kappa} + \sum_{q=z(k)+1}^{m_n(k)} t_{q-1,q} + t_{ex,\kappa} ; \quad (2.50)$$

$$z(k) = \sum_{i=1}^{k-1} m_i + 1;$$

$$m_n(k) = \sum_{i=1}^{k-1} m_i;$$

$$t_{ex,\kappa} = t_{ex,\kappa(z)}^{(BX)} \left(N_{M,Z} + N_T(k) \right);$$

$$t_{q-1,q} = t_{q(k)-1,q(k)} \cdot \left(N_{M,q(k)-1,q(k)} + N_T(k) \right) \quad (\text{вих})$$

$$t_{\text{вих},\kappa} = t_{\text{вих}, m_n(\kappa)-1} \left(N_{M, m_n(\kappa)-1} + N_T(k) \right);$$

де m_i – кількість перегонів на i -му маршруті руху;

$z(k)$ – початкові номери перегонів на даному маршруті руху;

$m_n(\kappa)$ – сумарна кількість перегонів по маршрутах руху до κ -го включно;

$t_{\text{вх},\kappa}$ – величина затримки транспорту на вході до маршруту руху;

$t_{\text{вх},\kappa(z)}$ – величина затримки транспорту при вході на початковий перегін до κ -го маршруту, що залежить від інтенсивності руху;

(вх)

$N_{M,Z}$ – величина інтенсивності руху місцевого транспортного потоку при вході на початковий перегін до κ -го маршруту руху;

$t_{q(k)-1,q(k)}$ – величина затримки транспорту на перехрестях між перегонами κ -го маршруту руху;

$N_{M,q(k)-1,q(k)}$ – величина інтенсивності руху місцевого транспортного потоку на перехресті між перегонами κ -го маршруту;

$t_{\text{вих},\kappa}$ – величина затримки транспорту при виході із κ -го маршруту

$t_{\text{вих},m_n(\kappa)-1}$ – величина затримки транспорту при виході із кінцевого перегону κ -го маршруту, в залежності від інтенсивності руху;

(вих)

$N_{M,m_n(\kappa)-1}$ – величина інтенсивності руху місцевого транспортного потоку із кінцевого перегону κ -го маршруту.

Тоді функція Лагранжа для розглянутого випадку має вигляд:

$$L = \sum_{k=1}^M \left(\sum_{z=z(k)}^{m_n(k)} \left(\frac{l_z \left(N_{M,Z} + N_T(k) \right)}{V_z \left(N_{M,Z} + N_T(k) \right)} + t_{\text{вх},\kappa} + \sum_{q=z(k)+1}^{m_n(k)} t_{q-1,q} + t_{\text{вих},\kappa} \right) + \lambda_n \left(\sum_{k=1}^M N_T(k) - N_{\text{розн}} \right) \right);$$

де $N_{\text{розн}}$ – величина розподіленого потоку за рівнобіжними маршрутами;

$N_{\text{розн}}$ – множник Лагранжа.

Диференціюючи функцію Лагранжа по $N_T(k)$ та λ_n отримаємо систему

рівнянь:

$$\sum_{k=1}^M \left(\sum_{z=z(k)}^{m_n(k)} l_z \frac{V_z + \frac{\partial V_z}{\partial N_T(k)} (N_{M,Z} + N_T(k))}{V_z^2} + \frac{\partial t_{ex,\kappa}}{\partial N_T(k)} + \sum_{q=z(k)+1}^{m_n(k)} \frac{\partial t_{q-1,q}}{\partial N_T(k)} + \frac{\partial t_{uix,\kappa}}{\partial N_T(k)} \right) + \lambda_n = 0; \quad (2.51)$$

$$\sum_{k=1}^M N_T(k) - N_{розп} = 0;$$

де

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_{ex,\kappa}}{\partial N_T(k)} &= \frac{\partial t_{ex,z(k)}}{\partial N_T(k)}; \\ \frac{\partial t_{q-1,q}}{\partial N_T(k)} &= \frac{\partial t_{q(k)-1,q(k)}}{\partial N_T(k)}; \\ \frac{\partial t_{uix,\kappa}}{\partial N_T(k)} &= \frac{\partial t_{uix,m(k)-1}}{\partial N_T(k)}. \end{aligned}$$

Рішення системи рівнянь (2.51) дає можливість визначити величини розподілу транспортного потоку, що шукається, в результаті чого відбувається оптимальне завантаження рівнобіжних маршрутів.

Висновки до розділу 2

Визначено критерій безпечних та безперервних умов руху з урахуванням процесу руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування під впливом перешкод.

Розроблена модель розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування в результаті зменшення пропускної здатності або закриття руху на одному з перегонів мережі автомобільних доріг. На основі моделі розроблена критеріальна функція та її обмеження.

Проведений аналіз математичної моделі розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування можливий з

урахуванням використання методів класичного функціонального аналізу. Для цього обмеження, що накладаються на критеріальну функцію, не повинні включати нерівності. При цьому критеріальна функція має бути безперервною і мати похідні першого та другого порядку.

Результати досліджень другого розділу викладено у наступних публікаціях [85,103, 104]

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ПЕРЕШКОД РУХУ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

3.1 Формування методів рішення математичної моделі розподілу транспортних потоків

Формування методів рішення математичної моделі розподілу транспортних потоків включає наступні кроки:

Визначення цілей та об'єкта моделювання: Першим кроком є чітке визначення цілей моделювання та об'єкта дослідження. Наприклад, ціллю може бути покращення ефективності руху транспортних потоків у мережі автомобільних доріг.

Збір та аналіз даних. Для побудови математичної моделі необхідно зібрати дані про мережу автомобільних доріг, транспортні потоки, дорожні умови та інші відомості, які впливають на розподіл транспортних потоків. Ці дані можуть бути отримані з різних джерел, включаючи дорожні облікові системи, анкетування, натурні спостереження тощо.

Формулювання математичної моделі. На основі зібраних даних та поставлених цілей створюється математична модель, яка описує залежності та взаємодії між різними елементами системи. Ця модель може базуватися на різних математичних методах, таких як теорія черг, теорія оптимізації, статистичний аналіз тощо.

Визначення параметрів та критеріїв. В моделі необхідно визначити параметри, які впливають на розподіл транспортних потоків, такі як пропускна здатність доріг, швидкість руху, обсяги потоків тощо. Також необхідно визначити критерії, за якими буде оцінюватися ефективність розподілу.

Вибір методу розв'язання. Існує багато методів розв'язання математичних моделей розподілу транспортних потоків, таких як лінійне програмування, динамічне програмування, генетичні алгоритми, симуляційне моделювання тощо. Вибір методу залежить від складності моделі, кількості

змінних та обмежень, а також від поставлених цілей та обмежень.

Калібрування та перевірка моделі: Після розробки математичної моделі необхідно провести її калібрування та перевірку на реальних даних. Це дозволяє оцінити точність моделі та внести необхідні корективи.

Застосування та аналіз результатів: Після калібрування моделі можна проводити симуляції та робити аналіз результатів. Це дозволяє оцінити ефективність запропонованих рішень та виявити можливі шляхи покращення.

Для вирішення розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг необхідно вирішити систему рівнянь (2.47):

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

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

Оскільки зазначена система представлена у загальному вигляді, для вирішення необхідна конкретизація залежностей в умовах щільного транспортного потоку (3.1).

Залежності можуть бути прийняті у вигляді:

$$\begin{aligned} v &= a - b N, \\ t &= d + c N. \end{aligned} \quad (3.1)$$

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.

Використання лінійних залежностей обумовлюється не лише простотою їх натурного отримання в різних дорожніх умовах, але й достатньою надійністю опису фактичного процесу руху транспортного потоку мережею

автомобільних доріг, а також фактичного процесу утворення затримок автомобільного транспорту на перехрестях, що підтверджується численними дослідженнями [107-111].

Тоді цільова функція (2.35) набуває наступного вигляду:

$$T = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z \left(N_{M,Z} + \sum_{k=1}^M a_{k,z} N_T(k) \right)}{a_z - b_z \left(N_{M,Z} + \sum_{k=1}^M a_{k,z} N_T(k) \right)} + \sum_{q=1}^{m_n} d_{z,q} + c_{z,q} \left(N_{M,Z,q} + b_{z,q} \sum_{k=1}^M a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) \right) \right); \quad (3.2)$$

де a_z – величина вільної швидкості руху на перегоні;

b_z – коефіцієнт кореляції;

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

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

(Інші ознаки наведені в розділі 2).

В рамках наближення мереж автомобільних доріг загального користування великої розмірності матриці у цільовій функції (12) 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:

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

є час руху всіх автомобілів по z -му перегону у разі обліку величини інтенсивності руху місцевих транспортних потоків на перегонах, який у загальному вигляді можна записати:

$$t_{n,m} = \frac{l_z (N_{n,m} + N_{n,m})}{a_n - b_n (N_{n,m} + N_{n,m})}; \quad (3.3)$$

з іншого боку, якщо вказані інтенсивності не враховуються:

$$t_n = \frac{l_n N_n}{a_n - b_n N_{n,m}}, \quad (3.4)$$

де $N_{п,м}, N_{п,т}$ – відповідно інтенсивності руху місцевого та транзитного транспортних потоків на перегоні, авто/год;

$a_{п}$ – середня швидкість на перегоні, км/год;

$b_{п}$ – коефіцієнт кореляції на перегоні.

Вказані вирази (3.3), (3.4) мають графічне зображення, представлене на рис.3.1.

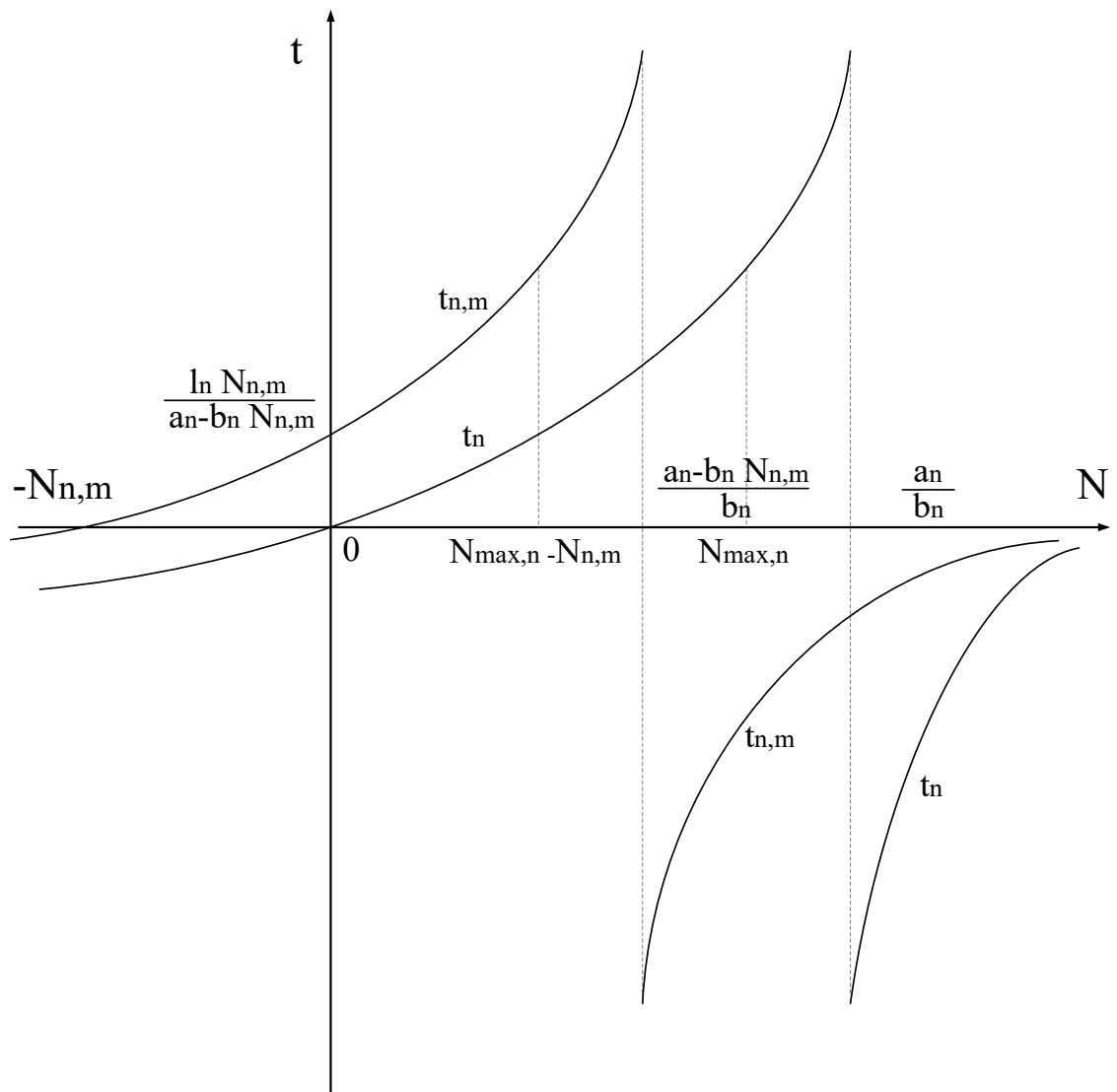


Рисунок 3.1 – Графік функції $t_{n,m}, t_n$

$$t_{y,z,d} = d_{z,q} + c_{z,q} \left(N_{M,Z,q} + b_{z,q} \sum_{k=1}^M a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) \right)$$

- час затримки всіх автомобілів на перехресті між z -м і q -м перегонами.

У разі обліку або не обліку величини інтенсивності місцевого руху на перехресті в заданому напрямку, воно може бути записане в загальному вигляді:

$$\begin{aligned} t_{y,M} &= d_y + c_y (N_{y,m} + N_{y,m}) \\ t_y &= d_y + c_y N_y \end{aligned} \quad (3.5)$$

при цьому вказані вирази мають графічний вигляд (рис3.2),

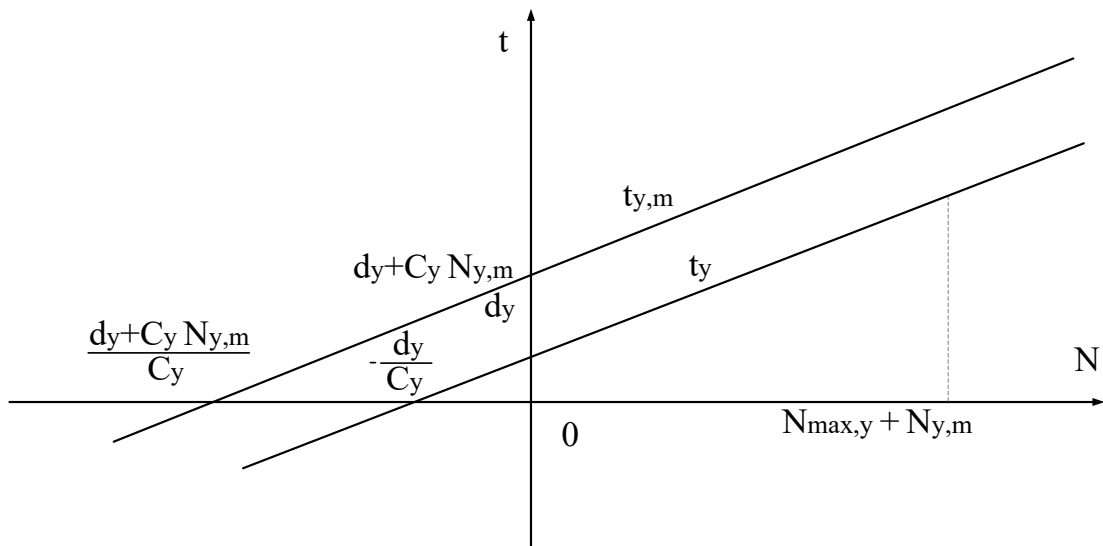


Рисунок 3.2 – Графік функції $t_{y,m}$, t_y

де $t_{y,M}$ – затримка в вузлі з урахуванням місцевих $N_{y,m}$ і транзитних $N_{y,T}$ транспортних потоків;

d_y – параметр;

c_y – параметр;

N_y – транспортний потік на мережі автомобільних доріг;

t_y – затримка у вузлі всього розподіленого потоку.

Для аналізу стану транспортних потоків на перегонах мережі автомобільних доріг при впливі перешкод руху на заданих перегонах необхідно побудувати і проаналізувати математичні моделі оптимального

розподілу транспортного потоку мережею автомобільних доріг до і після початку впливу перешкоди.

Як вказувалося в розділі 2, необхідною та достатньою умовою оптимального розподілу транспортних потоків є рівність перших часових похідних від сумарного часу руху по перегонах та перехрестях маршрутів заданого напрямку.

Розглянемо перші часові похідних від функцій $t_{n,m}$, t_n , $t_{y,m}$, t_y ;

$$\frac{\partial t_{n,m}}{\partial N_{n,m}} = \frac{l_n a_n}{(a_n - b_n (N_{n,m} + N_{n,m}))^2},$$

$$\frac{\partial t_n}{\partial N_n} = \frac{l_n a_n}{(a_n - b_n N_n)^2},$$

$$\frac{\partial t_{y,m}}{\partial N_{y,m}} = c_y$$

$$\frac{\partial t_y}{\partial N_y} = c_y$$

і представимо їх графічно на рис. 3.3.

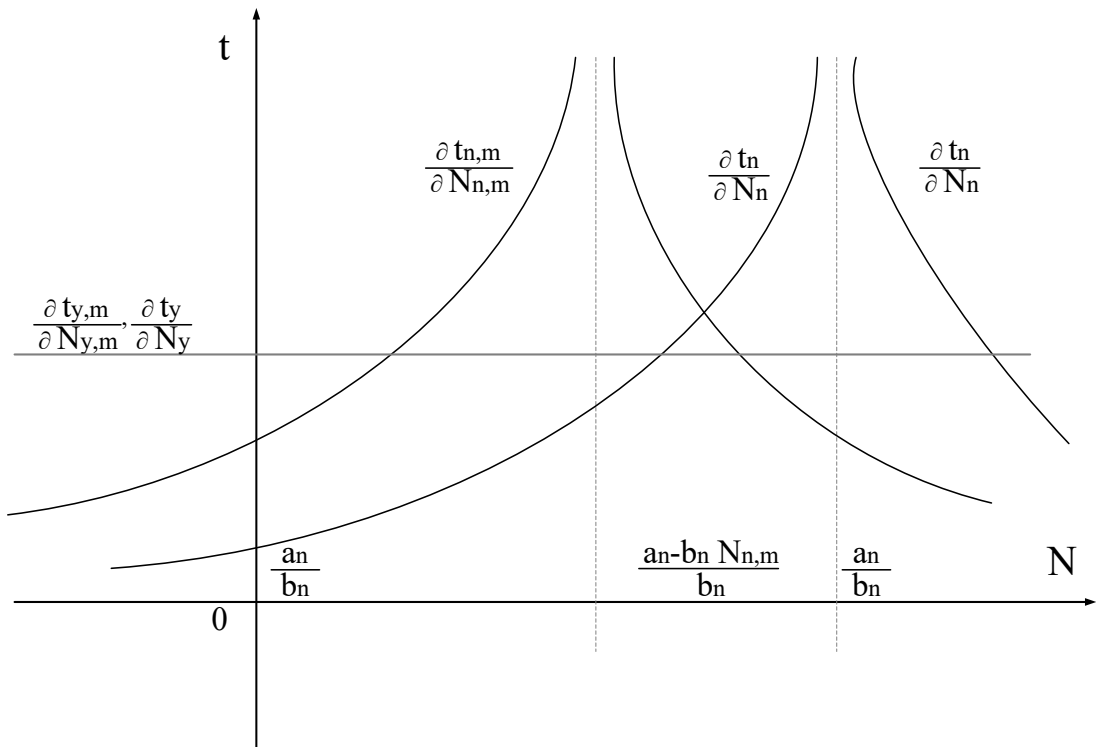


Рисунок 3.3 – Графік перших похідних від функції $t_{n,m}$, t_n , $t_{y,m}$, t_y

Із графіка видно, що перша частина похідної $\partial t_{\Pi, M} / \partial N_{\Pi, T}$ в межах визначення від мінус безкінечності до $(a_{\Pi} - b_{\Pi} N_{\Pi, M}) / b_{\Pi}$ являє собою монотонно зростаючу неперервну функцію, в межах $(a_{\Pi} - b_{\Pi} N_{\Pi, M}) / b_{\Pi}$ до безкінечності, являє собою монотонно спадаючу неперервну функцію, при $N_{\Pi, T} = (a_{\Pi} - b_{\Pi} N_{\Pi, M}) / b_{\Pi}$ значення похідної прямує до безкінечності.

Перша частина похідної $\partial t_{\Pi} / \partial N_{\Pi}$ являє собою функцію, яка визначена в межах від мінус безкінечності до a_{Π} / b_{Π} і є монотонно зростаючою функцією, визначена в межах від a_{Π} / b_{Π} до безкінечності і є неперервна монотонно зменшуюча функція, при $N_{\Pi} = a_{\Pi} / b_{\Pi}$ значення похідної прямує до безкінечності.

Перші частини похідних $\partial t_{y, M} / \partial N_{y, T}$, $\partial t_y / \partial N_y$ являють собою неперервні функції визначені в області від мінус безкінечності до плюс нескінченості, значення якої залишаються постійними.

При $N=0$ функції $t_{n, m}$, t_n , $t_{y, m}$, t_y мають різні значення, що обумовлена 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 ділянкам і перехрестях, то вони також неперервні і при $N=0$ мають різні значення (рис 3.4).

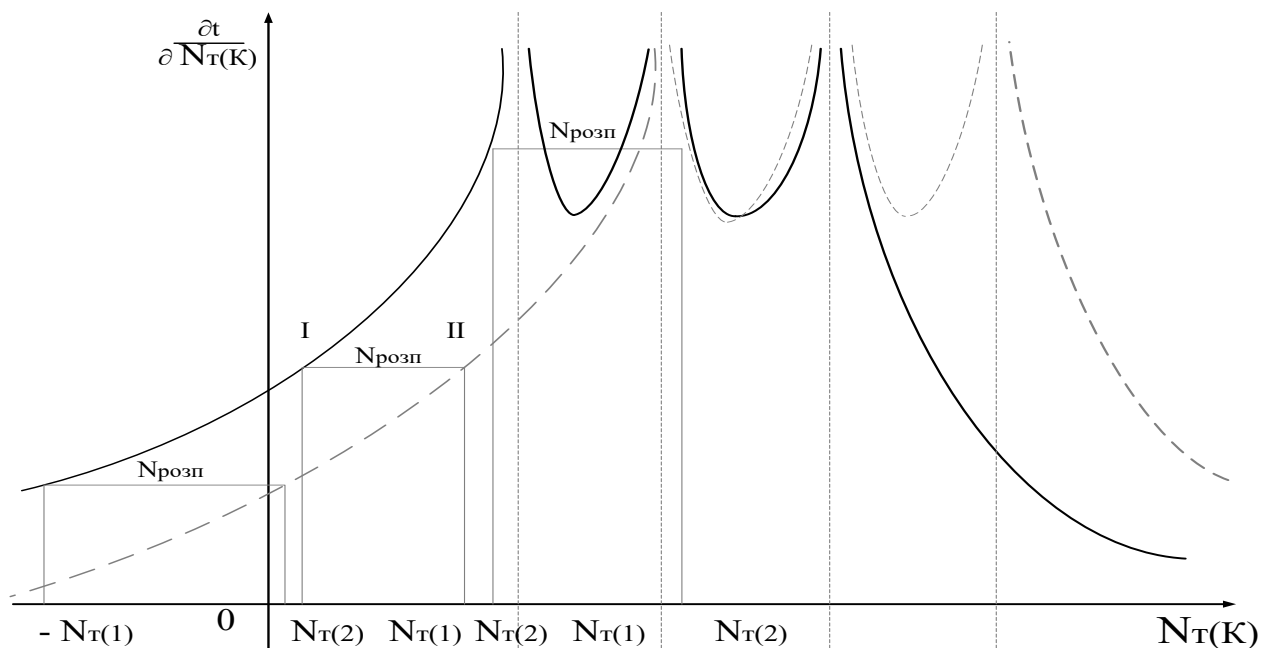


Рисунок 3.4 – Графік перших похідних на маршрутах руху I та II

Із рисунку 3.4 видно, що умови рівності похідних при наявності розподіленні транспортного потоку завжди досягаються. При цьому буде виконана умова (2.45), так як завжди можна буде знайти таку алгебраїчну суму $N_T(1)$ і $N_T(2)$, яка буде рівна розподіленому по напрямках потоку. Алгебраїчна сума може визначатися як сума чисел, так і їх різницею. На рисунку 3.4 представлені можливі випадки рівності похідних при виконанні умови (2.45).

Ситуація 1. Умова (2.45) матиме такий вид:

$$N_T(2) - N_T(1) = N_{\text{позн}} .$$

Ситуація 2. Умова (2.45) матиме такий вид:

$$N_T(1) + N_T(2) = N_{\text{позн}} .$$

Ситуація 3. Умова (2.45) матиме такий вид:

$$N_T(1) + N_T(2) > N_{\text{позн}} .$$

Таким чином, у ситуації 1 маршрут 2 має таку величину пропускної 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 що завжди є можливим, що відповідає умові (2.37). При досягненні ситуації 2 оптимальний розподіл транспортного потоку маршрутами за умови (2.37), (2.38). Наявність ситуації 3 вказує на те, що умова (2.37) щодо резерву величини пропускної 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 із боку пропускних здатностей перегонів та перехресть.

Виходячи з фізичної сутності процесу необхідно побудувати функції

$v = f(N)$ і $v = \varphi(N)$ таким чином, щоб

$$\begin{aligned} t_{\Pi,M} &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max,\Pi} - N_{\Pi,M} < N_{\Pi,T} < N_{\max,\Pi} - N_{\Pi,M} + \delta; \\ t_{\Pi} &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max,\Pi} < N_{\Pi} < N_{\max,\Pi} + \delta; \\ t_{\Pi,M} &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max,\Pi} - N_{y,M} < N_{y,T} < N_{\max,y} - N_{y,M} + \delta; \\ t_y &\rightarrow \infty \text{ при } N_{\max,y} < N_y < N_{\max,y} + \delta; \end{aligned} \quad (3.6)$$

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 змінюватися, 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 до виключення ситуації 3 при можливому виникненні ситуації 1. 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 застосувати 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 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

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

$$\begin{aligned}
\frac{\partial t_{\Pi,M}}{\partial N_{\Pi,T}} = 0 \quad \text{при} \quad N_{\Pi,T} = 0 \\
\frac{\partial t_{\Pi}}{\partial N_{\Pi}} = 0 \quad \text{при} \quad N_{\Pi,T} = 0 \\
\frac{\partial t_{y,M}}{\partial N_{y,T}} = 0 \quad \text{при} \quad N_{y,T} = 0 \\
\frac{\partial t_y}{\partial N_y} = 0 \quad \text{при} \quad N_y = 0,
\end{aligned}
\tag{3.7}$$

Виконання умов (3.7) призводить до виконання обмежень (2.37), відповідно до яких мінімум критерію (2.36) завжди буде знаходитися в області позитивних значень. Це дає певну похибку рішення, проте її величина може коригуватись.

Таким чином, за відсутності пріоритетних напрямів руху використання другого підходу дає можливість значно скоротити час розв'язання задачі за відсутності пріоритетних напрямків руху за рахунок спрощення розв'язання системи рівнянь (2.37) оскільки виключені випадки 1 та 3.

3.2 Формування залежностей «інтенсивність – швидкість» і «затримка – інтенсивність»

Як вказується в 3.1, функції $v = f(N)it = \varphi(N)$, задовільні умови (3.6), можна побудувати, використовувати апарат R-функції, на основі наступних вихідних функцій:

1. Для $v = f(N)$ потрібні зовнішні функції:

$$v_n = a_n - b_n (N_{n,m} + N_{n,m}) \quad i \quad v_{n,1} = a_{n,1} - b_{n,1} N_{n,m},$$

причому залежність v_{Π} являє собою залежність, одержану шляхом натурних спостережень в заданих дорожніх умовах, а залежність $v_{\Pi,1}$ –

вибіркові дані окремих досліджень, відображають характер зміни швидкості руху після досягнення інтенсивності величини пропускної здатності, коефіцієнти, які визначаємо в результаті рішень системи рівнянь:

$$a_{n,1} - b_{n,1} (N_{max,n} + N_{n,m}) = a_n - b_n N_{max,n},$$

$$a_{n,1} - b_{n,1} (N_{max,n} + N_{n,m} + \delta) = 0,$$

які представлені такими залежностями:

$$b_{n,1} = \frac{a_n - b_n N_{max,n}}{\delta},$$

$$a_{n,1} = b_{n,1} (N_{max,n} - N_{n,m} + \delta),$$

де

$$0 < N_{max,n} - N_{n,m},$$

$$0 < \delta < \frac{a_n - b_n N_{n,m}}{\delta} - (N_{max,n} - N_{n,m}),$$

$v_{п,1}$ – вибіркові дані окремих досліджень, дозволяють реалізувати умови

$a_{п,1}$, $b_{п,1}$ – відповідно параметри залежності $v_{п,1}$;

δ – допустиме штучне збільшення інтенсивності руху після досягнення пропускної здатності, приймається з метою виявлення характеру зміни часу руху.

Тоді функція $v = f(N)$ матиме вигляд:

$$v_{R,1} = 0,5 \left(v_n + v_{n,1} - \sqrt{v_n^2 + v_{n,1}^2 - 2\alpha v_n v_{n,1}} \right), \quad (3.8)$$

де $v_{R,1}$ – середня швидкість руху транспортного потоку, що задовольняє умову (3.6);

α – параметр, вбудований в R-функцію для одержання залежності, яка має першу і другу похідні в будь-якій точці.

При цьому $\alpha \rightarrow 1, \alpha \neq 1$.

Для залежності $t = \varphi(N)$ вихідними функціями є:

$$t_y = d_y + c_y (N_{y,m} + N_{y,m}),$$

$$t_{y,1} = \frac{(d_y + c_y N_{max,y})^2}{d_{y,1} + c_{y,1} N_{y,m}}$$

де t_y представляє собою залежність, одержану шляхом натурних спостережень, а залежність $t_{y,1}$ представляє собою вибіркові дані окремих досліджень, що відображає характер зміни часу затримання на перехресті за заданим направленням руху при підвищенні величини інтенсивності руху та пропускної здатності перехрестя.

Параметри безпеки забезпечуються в результаті рішень системи рівнянь:

$$d_{y,1} + c_{y,1} (N_{max,y} + N_{y,m}) = d_y + c_y N_{max,y};$$

$$d_{y,1} + c_{y,1} (N_{max,y} + N_{y,m} + \delta) = 0;$$

що записується в наступному вигляді:

$$c_{y,1} = -\frac{d_{y,1} + c_{y,1} N_{max,y}}{\delta};$$

$$d_{y,1} = -c_{y,1} (N_{max,y} + N_{y,m} + \delta) = 0.$$

Тоді функція $t = \varphi(N)$ може бути представлена в вигляді:

$$t_{R,1} = 0,5 \left(t_y + t_{y,1} - \sqrt{t_y^2 + t_{y,1}^2 - 2\alpha t_y t_{y,1}} \right), \quad (3.9)$$

де $t_{y,1}$ – вибіркові дані окремих досліджень, що дозволяє отримати функцію часу затримки, що відповідає умовам (3.6);

$d_{y,1}, c_{y,1}$ – параметри залежності $t_{y,1}$

$t_{R,1}$ – функція часу затримки транспортного потоку на перехресті, що враховує умову (3.6).

В результаті проведених перетворень залежності $v = f(N)$ і $t = \varphi(N)$, графіки функцій (3.3, 3.5) будуть мати вигляд (графік 3.5, 3.6).

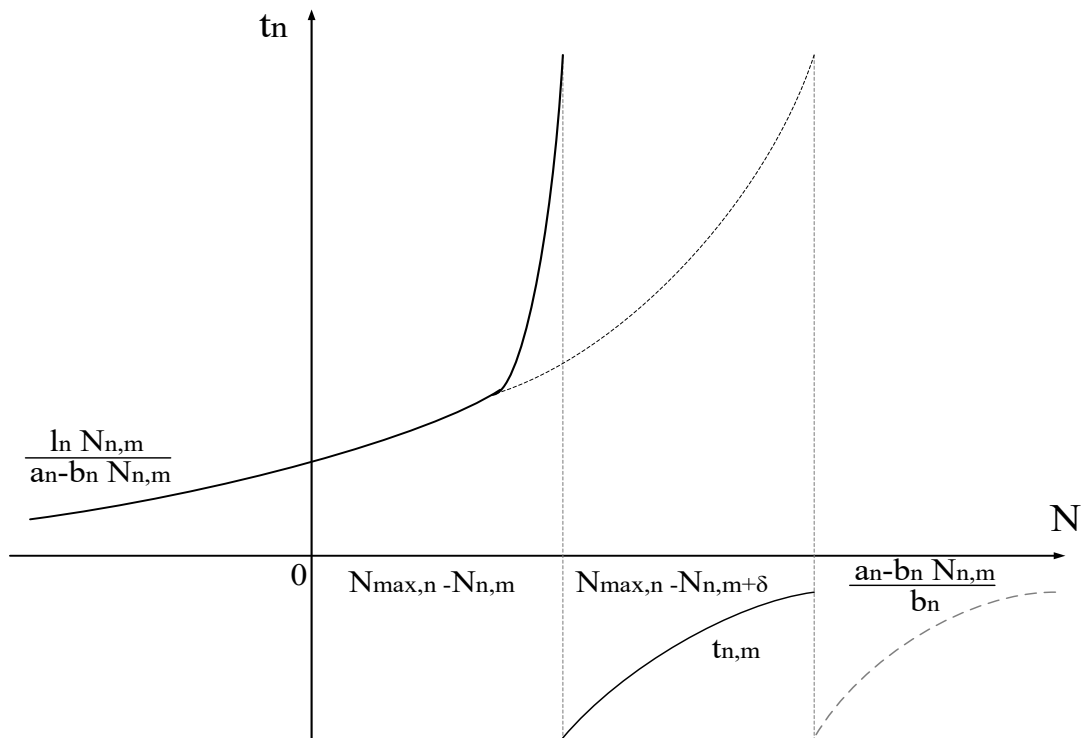


Рисунок 3.5 – Графік сумарного часу руху по перегону

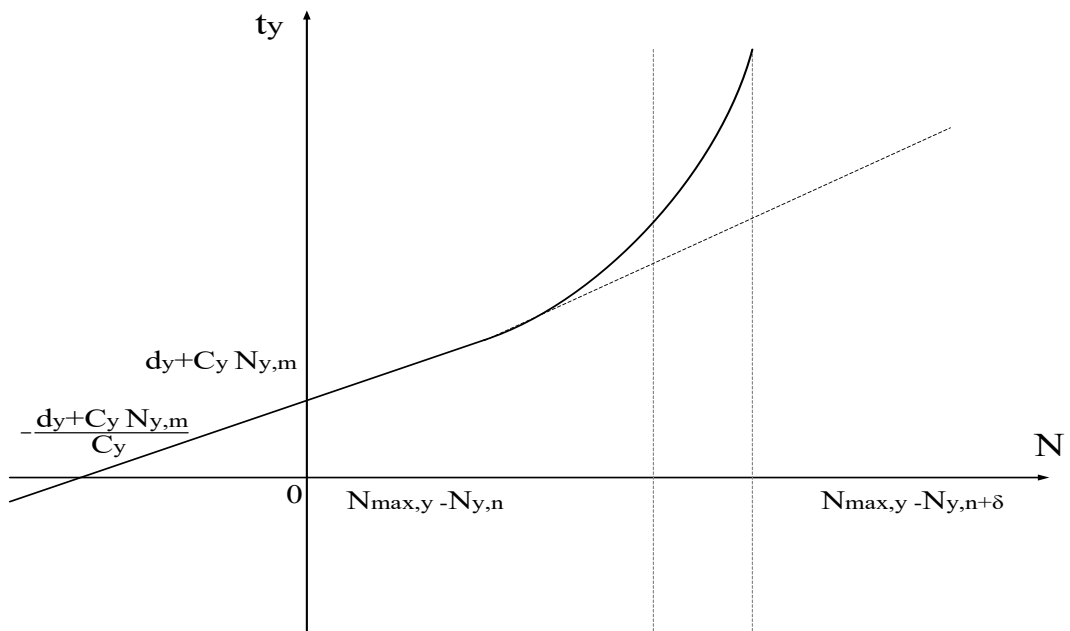


Рисунок 3.6 – Графік часу затримки на перехресті

Із графіків видно, що отримані залежності (3.8, 3.9) відображають реальну картину зміни часу руху залежно від інтенсивності руху в області $(0, N_{max} + \delta)$. Проте, у сфері негативних значень фізична сутність процесу руху не відбивається.

Для того, щоб не порушувалася фізична сутність процесу руху, необхідно, щоб функція $v = f(N)$ і $t = \varphi(N)$ задовольняла умові (3.7).

Тому похідні функції для залежності $v = f(N)$ є:

$$v_n = a_n - b_n (N_{n,m} + N_{n,m});$$

$$v_{n,2} = a_{n,2} N_{n,m}^2 + b_{n,2} N_{n,m} + c_{n,2} = 0;$$

залежність v_n одержують шляхом натурних спостережень у заданих дорожніх умовах, а залежність $v_{n,2}$ повинна задовольняти такі умови:

$$a_{n,2} (N_{max,n} + N_{n,m})^2 + (N_{max,n} + N_{n,m}) + c_{n,2} = a_n - b_n N_{max,n};$$

$$a_{n,2} (N_{max,n} - N_{n,m} + \delta)^2 + (N_{max,n} - N_{n,m} + \delta) + c_{n,2} = 0;$$

де $v_{n,2}$ – залежність, що перетворює функцію $v = f(N)$ так, що виконуються умови (3.7);

$a_{n,2}, b_{n,2}, c_{n,2}$ – параметри залежності $v_{n,2}$.

Зазначені умови є системою рівнянь, вирішення якої дає можливість визначити параметри.

В результаті розрахунку:

$$a_{n,2} = \frac{(a_n - b_n N_{n,m} - c_{n,2}) - (N_{max,n} - N_{n,m})(b_n - b_{n,z})}{(N_{max,n} + N_{n,m})^2};$$

$$b_{n,2} = (a_n - b_n N_{max,n}) \frac{(N_{max,n} - N_{n,m} + \delta)}{\delta (N_{max,n} - N_{n,m})} - \frac{2(N_{max,n} - N_{n,m}) + \delta}{(N_{max,n} - N_{n,m})(N_{max,n} - N_{n,m} + \delta)} - c_{n,2},$$

де

$$\xi_1 = (a_n - b_n N_{max,n}) \frac{(N_{max,n} - N_{n,m} + \delta)}{\delta (N_{max,n} - N_{n,m})};$$

$$v = \frac{2(N_{max,n} - N_{n,m}) + \delta}{(N_{max,n} - N_{n,m})(N_{max,n} - N_{n,m} + \delta)}$$

тоді

$$b_{n,2} = \xi_1 \nu_1 c_{n,2}.$$

Використовуючи умову

$$\left. \frac{\partial t_{n,m}}{\partial N_{n,m}} \right|_{N_{n,m}} = 0$$

отримаємо рівняння:

$$\nu_2 c_{n,2}^3 + \nu_3 c_{n,2}^2 + \nu_4 c_{n,2} + \nu_5 = 0,$$

де

$$\nu_2 = 2\xi_2 (\xi_3 - \alpha \xi_2 \xi_0 + \xi_4);$$

$$\nu_3 = \xi_n \xi_2 (\xi_2 \xi_0 - 2\alpha \xi_3) + \xi_3 (\xi_3 - \alpha \xi_2 \xi_0) - (\xi_4^2 - 2\xi_2 \xi_5);$$

$$\nu_4 = 2(\xi_0 \xi_3 (\xi_2 \xi_0 - \alpha \xi_3) + \xi_4 \xi_5);$$

$$\xi_2 = N_{n,m} \nu_1 + 1;$$

$$\xi_3 = \xi_0 + N_{n,m} (b_n - \xi_1);$$

$$\xi_4 = 2\alpha \xi_0 + N_{n,m} (\xi_1 + \alpha \nu_1 \xi_0 + \alpha b_n);$$

$$\xi_5 = \xi_0 (\xi_0 + N_{n,m} (b_n - \alpha \xi_1));$$

$$\xi_0 = a_n - b_n N_{n,m}.$$

Таким чином, для визначення $c_{n,2}$ необхідно вирішити рівняння третього ступеня. Для вирішення використовуємо формулу Кардано:

$$\gamma_1 = \frac{\nu_3}{\nu_2};$$

$$\gamma_2 = \frac{\nu_4}{\nu_2};$$

$$\gamma_3 = \frac{\nu_5}{\nu_2};$$

$$c_{n,2} = y - \frac{\gamma_1}{3};$$

$$D = \left(\frac{3\gamma_2 - \gamma_1^2}{9} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_1^3}{2} - \frac{\gamma_1\gamma_2}{6} + \frac{\gamma_3}{2} \right)^2.$$

Якщо

$$D > 0, \quad y = u_1 + u_2;$$

$$D = 0, \quad y = -\frac{u_1 + u_2}{2};$$

то

$$u_1 = \sqrt[3]{-\left(\frac{\gamma_1^3}{27} - \frac{\gamma_1\gamma_2}{6} + \frac{\gamma_3}{2}\right) + \sqrt{D}};$$

$$u_2 = \sqrt[3]{-\left(\frac{\gamma_1^3}{27} - \frac{\gamma_1\gamma_2}{6} + \frac{\gamma_3}{2}\right) - \sqrt{D}};$$

Якщо $D < 0$, то

$$\gamma_1 = 2\sqrt[3]{\rho} \cos(\beta / 3);$$

$$\gamma_2 = 2\sqrt[3]{\rho} \cos(\beta / 3 + 2\pi / 3);$$

$$\gamma_3 = 2\sqrt[3]{\rho} \cos(\beta / 3 + 4\pi / 3);$$

де

$$\rho = \sqrt[3]{-\left(\frac{3\gamma_2 - \gamma_1^2}{6}\right)^3 / 27}$$

$$\cos \beta = -\left(\frac{2\gamma_1^3}{27} - \frac{\gamma_1\gamma_2}{6} + \gamma_3\right) / 2\rho.$$

Тоді функція $v = f(N)$ може бути представлена у вигляді:

$$v_{R,2} = 0,5 \left(v_n + v_{n,2} - \sqrt{v_n^2 + v_{n,2}^2 - 2\alpha v_n v_{n,2}} \right); \quad (3.10)$$

Вихідними функціями для залежності $t = \varphi(N)$ є:

$$t_y = d_y - c_y (N_{y,m} + N_{y,m}),$$

$$t_{y,2} = \frac{p_{y,2} + N_{y,m}}{a_{y,2} N_{y,m}^2 + b_{y,2} N_{y,m} + c_{y,2}},$$

залежність t_y одержують шляхом натурних спостережень, а залежність $t_{y,2}$ повинна задовольняти наступним умовам:

$$\begin{aligned} a_{y,2} \left(N_{\max,y} - N_{y,m} + \delta \right)^2 + b_{y,2} \left(N_{\max,y} - N_{y,m} + \delta \right) + c_{y,2} &= 0; \\ \frac{p_{y,2} + N_{\max,y} - N_{y,m}}{a_{y,2} \left(N_{\max,y} - N_{n,y} \right)^2 + b_{y,2} \left(N_{\max,y} - N_{n,y} \right) + c_{y,2}} &= d_y + c_y N_{\max,y}; \\ \frac{p_{y,2}}{c_{y,2}} &= d_y + c_y N_{\max,y}, \\ \frac{c_{y,2} - p_{y,2} b_{y,2}}{c_{y,2}^2} &= -c_y. \end{aligned}$$

Зазначені умови є системою рівнянь, вирішення якої дає можливість визначити $a_{y,2}, b_{y,2}, c_{y,2}, p_{y,2}$.

В результаті отримаємо:

$$\begin{aligned} p_{y,2} &= d_y + c_y N_{y,m}; \\ b_{y,2} &= \frac{1 + c_y c_{y,2}}{d_y + c_y N_{y,m}}; \\ a_{y,2} &= \frac{\xi_6 \xi_9 - \xi_7 \xi_7}{v_6 v_9 - v_7 v_8}; \\ c_{y,2} &= \frac{\xi_7 \xi_6 - \xi_6 \xi_8}{v_6 v_9 - v_8 v_7}; \\ v_6 &= (N_{\max,y} - N_{y,m})(d_y + c_y N_{y,m}); \\ v_7 &= c_y \left(\frac{d_y + c_y N_{\max,y}}{d_y + c_y N_{y,m}} + 1 \right); \\ v_8 &= \left(N_{\max,y} - N_{y,m} + \delta \right)^2; \\ v_9 &= \frac{c_y \left(N_{\max,y} - N_{y,m} + \delta \right)}{d_y + c_y N_{y,m}} + 1; \\ \xi_6 &= 1 - \frac{d_y + c_y N_{\max,y}}{d_y + c_y N_{y,m}} \end{aligned}$$

$$\zeta_7 = -\frac{N_{\max,y} - N_{y,m} + \delta}{d_y + c_y N_{y,m}}$$

Тоді функція $t = \varphi(N)$ матиме вигляд:

$$t_{R,2} = 0,5 \left(t_y + t_{y,2} - \sqrt{t_y^2 + t_{y,2}^2 - 2\alpha t_y t_{y,2}} \right) \quad (3.11)$$

З урахуванням отриманих залежностей (3.10, 3.11), графіки функцій (3.5, 3.6) матимуть такий вигляд: (рис. 3.7, 3.8).

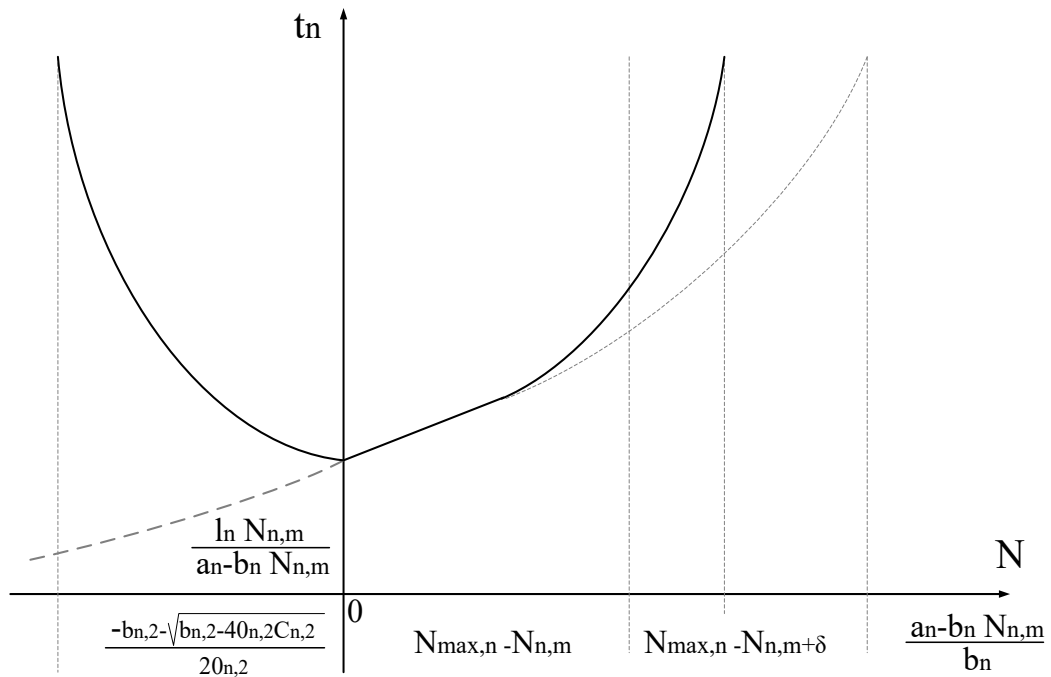


Рисунок 3.7 – Графік сумарного часу руху на перехресті

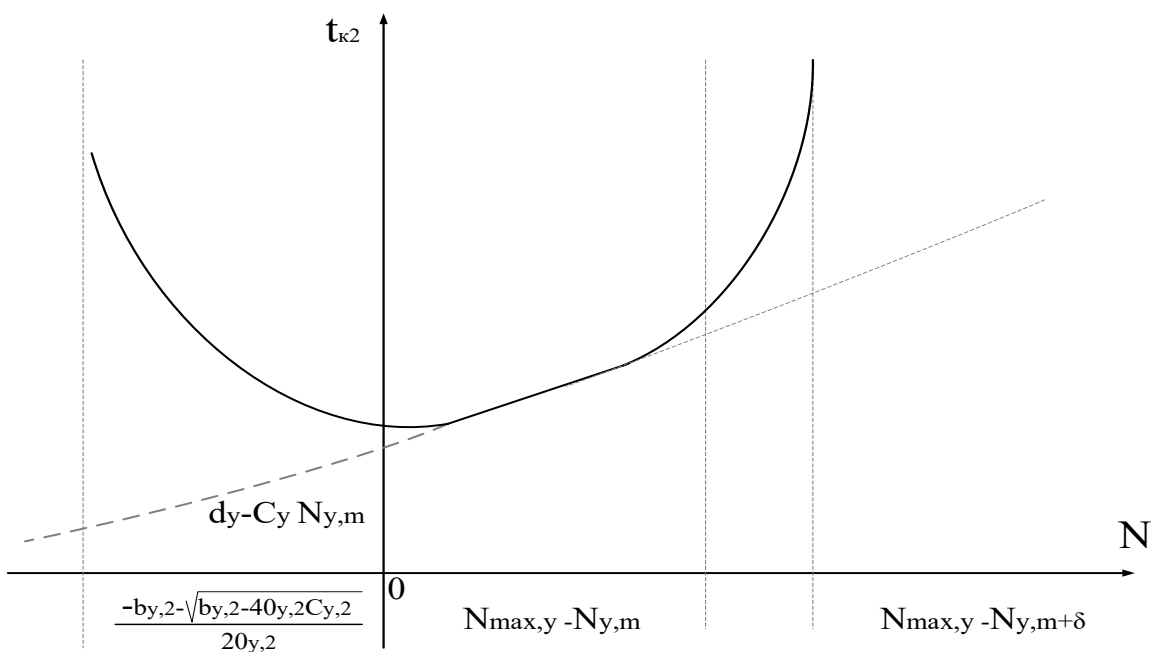


Рисунок 3.8 – Графік часу затримки на перехресті

З урахуванням отриманих залежностей (3.8, 3.9), 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:

- проводиться ранжування маршрутів за зростанням значення перших часових похідних критеріальних функцій (2.47) при $N(k)=0$ (вплив перешкоди не враховується).

3. Порівняння величини інтенсивності транспортних потоків та пропускної здатності:

- порівнюються величини інтенсивності транзитного транспортного потоку та пропускної здатності 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:

- порівнюється сумарна інтенсивність отриманих транспортних потоків з інтенсивністю транзитного транспортного потоку, що підлягає розподілу.

8. Оцінка результатів розподілу:

- якщо сумарна величина інтенсивності отриманих транспортних потоків дорівнює величині потоку, що підлягав розподілу, то розподіл вважається повним.
- якщо ж 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:

- обчислюється сумарний час руху транспортних потоків в межах ділянки управління.

11. Ранжування перешкод:

- провести ранжування перешкод, які знаходяться на можливих маршрутах руху потоку, диференціацію за ступенем їх впливу на величину пропускної здатності мережі.

12. Ранжування перешкоди поза маршрутами:

- ранжування перешкод, 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:

- виконуються дії від пункту 3 до пункту 8 для нових умов з урахуванням наявності конкретної перешкоди.

15. Висновок про неповноту розподілу транспортного потоку при виникненні перешкоди:

- якщо розподіл потоку є неповним при існуванні перешкоди, необхідно застосувати інші методи управління.

16. Порівняння часу руху при наявності та відсутності перешкоди:

- порівнюється сумарний час руху транспортних потоків в межах ділянки управління при відсутності та наявності перешкоди.

З урахуванням отриманих залежностей (3.11, 3.12) вирішення задачі розподілу транспортних потоків та аналізу впливу перешкод руху другим способом (рис. 3.1) зводиться до розв'язання системи рівнянь (2.47).

Застосування того чи іншого способу вирішення цього завдання залежить від параметрів мережі автомобільних доріг (її розгалуженості, пропускної здатності, кількості точок входу та виходу), а також технічних засобів управління, що дозволяють реалізувати розподіл транспортних потоків.

При цьому перевагою першого способу є отримання більш точного рішення, а недолік його реалізація – велика кількість циклічних ітераційних процесів та необхідність призначення маршрутів.

Другий спосіб вирішення завдання доцільніший для нерозгалужених мереж автомобільних доріг (коли загальна кількість маршрутів менше 50). Основною перевагою цього способу є значне зниження часу виконання розрахунків, що дозволяє вирішувати оперативні завдання в реальному масштабі часу.

3.3 Дослідження алгоритмів підготовки вихідних даних для вирішення задачі розподілу транспортних потоків і аналізу перешкод

Для реалізації вирішення задачі розподілу транспортних потоків та

аналізу перешкод, розташованих у різних точках мережі автомобільних доріг, виникає необхідність формування комплексу вихідних даних.

Вихідні дані принципово можуть бути представлені у вигляді статистичної та динамічної інформації про параметри дорожніх умов, характеристики транспортних потоків, дорожніх умовах, а також про розташування та характеристики перешкод. Їх можна умовно розділити на дві групи – такі, що не змінюються протягом тривалого періоду часу та такі, що безперервно змінюються.

У матричній формі подається інформація про:

- зв'язки між маршрутами та перегонами (див. матрицею А (2.24) та Додаток 1)
- зв'язки між перегонами (див. матрицю В (2.28) та Додаток 2);
- пропускну здатність перехресть,
- інтенсивність місцевого руху
- затримки на перехрестях.

В свою чергу, у векторній формі подається така інформація про:

- інформація про кількість маршрутів у напрямку руху транзитного потоку;
- інформація про пропускну здатність перегонів та перехресть;
- інформація про параметри залежності «швидкість – інтенсивність руху», «час затримки – інтенсивність руху» (формула (3.1));
- інформація про довжину перегонів;
- інформація про перешкоду, що вводиться на перегоні.

Перевагами матричної форми подання представленої є те, що:

- вона є технологічною, зручною та наочною для підготовки даних;
- вона дозволяє ефективно та з найменшими витратами часу здійснювати контроль даних.

З іншого боку, матрична форма подання даних вимагає непродуктивного використання значного обсягу пам'яті, який займають нульові елементи

матриці. Крім того, така форма подання даних веде до значного збільшення часу розрахунку (оскільки необхідно неодноразово звертатися до матриць A і B для встановлення зв'язків між маршрутами і перегонами, а також зв'язків між перегонами і маршрутами руху транспортних потоків, що проходять через дані перегони).

Таким чином, для більш ефективного використання пам'яті і прискорення роботи програми можна змінити форму представлення вихідних даних так, щоб вона забезпечувала:

- мінімум обсягу інформації
- мінімум часу на вибір необхідної для розрахунку інформації.

Для відповідної перебудови вихідних даних, заданих у матричній формі, необхідно розробити належні алгоритми.

Алгоритм побудови матриці A для програмної реалізації.

Для перетворення вихідних даних, поданих у матричній формі A , на вигляд, зручний для оперативного користування інформацією, необхідно:

- подати номери перегонів, що визначають різні маршрути руху, у вигляді кінцевого одновимірного масиву, що складається з цих номерів (PM);
- встановити граничні умови для підмножини номерів перегонів кожного маршруту як двовимірного масиву (NPM) (перший рядок NPM містить інформацію про положення початку номерів перегонів для всієї сукупності маршрутів, а інші рядки – про положення кінця номерів перегонів (KPM) для цієї сукупності);
- подати номери маршрутів, що проходять по ідентичних перегонах у вигляді кінцевого одновимірного масиву чисел;
- встановити граничні умови, що визначають підмножини номерів маршрутів, що проходять по ідентичних перегонах, у вигляді двовимірного масиву (перший рядок містить інформацію про стан початку підмножини номерів маршрутів, що проходять через перегін; інший рядок - про положення кінця підмножини номерів маршрутів, що проходять через той самий перегін).

Для реалізації вищевказаного переліку дій (операцій) розроблений відповідний алгоритм.

Для побудови одновимірного масиву, що враховує усі можливі маршрути руху, фіксуємо перший рядок матриці A ($K=1$), з номерами перегонів за першим маршрутом.

Перевірка номеру кожного перегону з точки зору його належності до першого маршруту здійснюється за умовою:

$$A_{k,z} = 1, \quad (3.12)$$

де k – номер рядка матриці A (номер маршруту);

z – номер стовпця матриці A (номер перегону).

Номер перегону, для якого виконується умова (3.12), фіксується та заноситься в одновимірний масив.

Після закінчення обробки зафіксованого рядка матриці A (тобто коли $k = M$.) фіксується наступний рядок матриці A та повторюються всі операції перевірки належності перегону до першого маршруту.

В свою чергу, процес такої перевірки триває доти, доки не будуть проаналізовані всі рядки матриці A (маршрути руху), тобто коли $k = M$.

Для побудови двовимірного масиву граничних умов необхідно додатково мати лічильник для закріплення порядкового номера початку підмножини перегонів, що визначають фіксований k -й маршрут. При цьому для будь-якого маршруту:

- першим елементом першого рядка масиву NPM є номер першого з підмножини перегонів, що утворюють цей маршрут;
- першим елементом другого рядка KPM є число, що відповідає загальній кількості перегонів цього маршруту;
- другим елементом цього рядка KPM є число, що вказує на порядковий номер перегону в одновимірному масиві, з якого починається другий маршрут (воно буде на одиницю більшим від числа, що вказує на

порядковий номер в одновимірному масиві кінцевого перегону попереднього маршруту).

Вищевказані операції також продовжуються доти, доки не будуть переглянуті всі рядки матриці A (маршрути руху), тобто коли

Для побудови одновимірного масиву NP номерів маршрутів, що проходять ідентичними перегонами, спочатку фіксуємо перший стовпець матриці A (номери маршрутів, що проходять через перший перегін). Потім кожен маршрут потрібно перевірити щодо наявності у ньому першого перегону. Номер маршруту, для якого виконується умова (3.12), фіксується і заноситься в одновимірний масив.

Після закінчення перегляду першого стовпця матриці A слід зафіксувати наступний стовпець та повторювати вищезгадані операції доти, доки не будуть розглянуті всі стовпці матриці (перегони мережі), тобто коли $z = m_n$.

Для побудови двовимірного масиву граничних умов (NNP) також необхідно додатково мати лічильник для закріплення порядкового номера початку підмножини маршрутів, що проходять по фіксованому z -му перегону. При цьому для будь-якого маршруту:

- першим елементом першого рядка масиву NNP є номер першого з підмножини маршрутів, що проходять по цьому перегону;
- першим елементом другого рядка масиву NNP є число, що відповідає загальній кількості маршрутів, що проходять по цьому перегону (в результаті формується двовимірний масив (KNP));
- другим елементом цього рядка є число, що вказує на порядковий номер маршруту в одновимірному масиві, який першим проходить по наступному перегону.

Вищевказані операції повторюються доти, доки не будуть переглянуті всі перегони мережі.

Загальна блок-схема алгоритму побудови матриці A для програмної реалізації наведена на рис. 3.9.

Алгоритм вибору маршруту (матриця В) для програмної реалізації:

Для вибору маршруту необхідні вихідні дані (інформація) про:

- наявність зв'язку між окремими перегонами на перехрестях мережі;
- затримки на перехрестях мережі;
- пропускну здатність зв'язків між окремими перегонами на перехрестях мережі;
- розподіл інтенсивності місцевого руху на перехрестях мережі.

Враховуючи специфіку обробки вищевказаної інформації, вона має бути сформована на чотири матриці типу В.

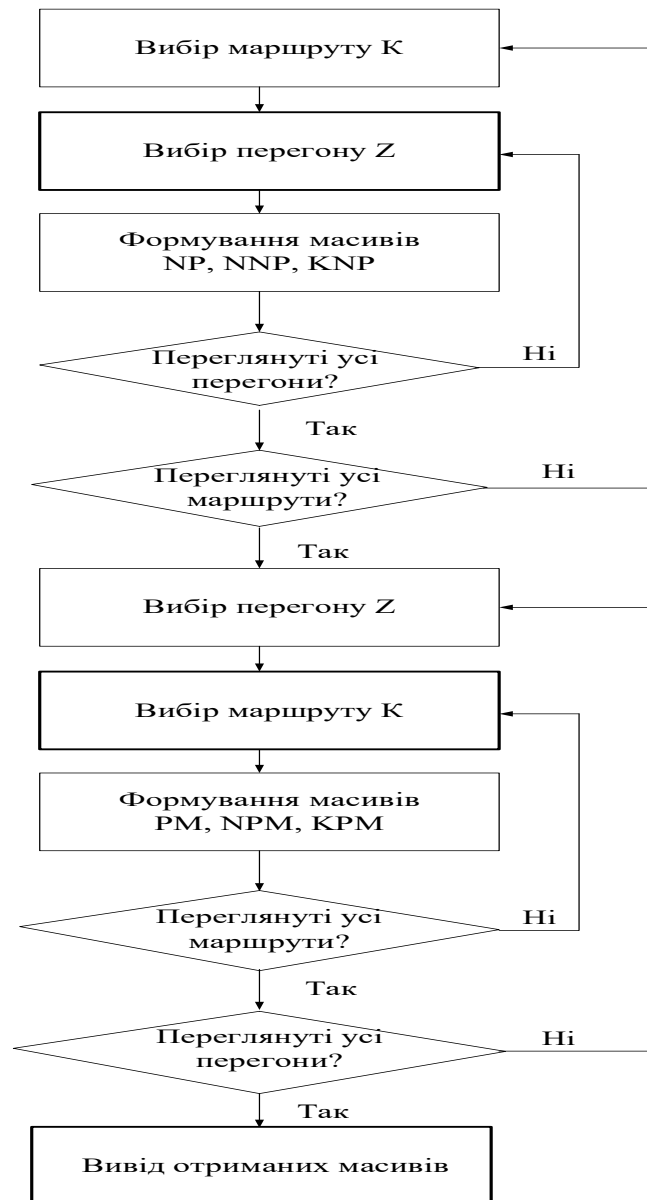


Рисунок 3.9 – Алгоритм побудови матриці А для програмної реалізації.

Для перетворення вихідних даних з матричної форми до вигляду, зручному для використання, необхідно:

- подати номери маршрутів, що проходять через ідентичні зв'язки між перегонами, у вигляді одновимірного масиву NS;
- встановити граничні умови для підмножини номерів маршрутів, що проходять по ідентичних зв'язках, у вигляді двовимірного масиву (NNS) (перший рядок NNS містить інформацію про положення початку вказаної підмножини, другий містить інформацію - про положення кінця вказаної підмножини);
- надати номери зв'язків, що входять до всіх можливих маршрутів, у вигляді кінцевого одновимірного масиву SM;
- встановити граничні умови для підмножини номерів зв'язків, які формують кожен маршрут, у вигляді двовимірного масиву NSM (перший рядок містить інформацію про положення початку зв'язків маршруту серед множини всіх номерів зв'язків для всієї сукупності маршрутів, другий - про положення кінця зв'язків маршрутів у цій множині);
- надати дані про затримки автомобіля на кожному зв'язку у вигляді кінцевого одновимірного масиву ZS
- надати дані про пропускну здатність кожного зв'язку як кінцевого одновимірного масиву PS;
- надати дані про інтенсивності місцевого руху на кожному зв'язку у вигляді кінцевого одновимірного масиву MS.

Для побудови одновимірного масиву NS кожен перегін необхідно перевірити стосовно наявності зв'язку між ним та деяким іншим перегonom. Перевірка здійснюється за умовою:

$$b_{z,q} \neq 0, \quad (3.13)$$

де z – номер рядка матриці B1 (номер перегону);

q – номер стовпця матриці B1 (номер іншого перегону).

Якщо елемент $b_{z,q}$ вказує на наявність зв'язку між z -м та q -м перегонами, то після цього у матриці A фіксуються відповідні z -й та q -й стовпці, а також проводиться пошук рядка (k -го маршруту), для якого виконується умова:

$$a_{k,z} a_{k,q} = 1. \quad (3.14)$$

Виконання цієї умови свідчить про те, що k -й маршрут проходить через зв'язок між z -м і q -м перегонами. Номер такого маршруту заноситься до одновимірного масиву NS . Вищевказані операції повторюються доти, доки не будуть переглянуті всі перегони в матриці B (тобто до виконання умови $z = m_n$).

Для побудови двовимірного масиву граничних умов (NNS) необхідно додатково мати лічильник для закріплення порядкового номера підмножини маршрутів, що проходять через ідентичний зв'язок. При цьому для будь-якого маршруту:

- першими елементами першого рядка масиву NNS є номер першого з підмножини перегонів, що проходять по першому зв'язку, а також число, що вказує на загальну кількість маршрутів, що проходять по цьому зв'язку;
- другим елементом рядка NNS є число, що вказує на порядковий номер маршруту в одновимірному масиві NS , який проходить по наступному зв'язку.

Вищевказані операції проводяться доти, доки не виконається умова:

$$z = m_n.$$

Щоразу, коли виконується умова (3.14), серед даних щодо елементу $b_{z,q}$ спочатку виділяємо інформацію про пропускну здатність зв'язку та і заносимо її до одновимірного масиву PS . Наступний крок – серед сукупності даних щодо вказаного елементу необхідно отримати значення затримки одиночного автомобіля при проходженні даного зв'язку, яку заносимо до одновимірного масиву ZS .

Загальна блок-схема алгоритму вибору маршруту для програмної реалізації наведена на рис. 3.10

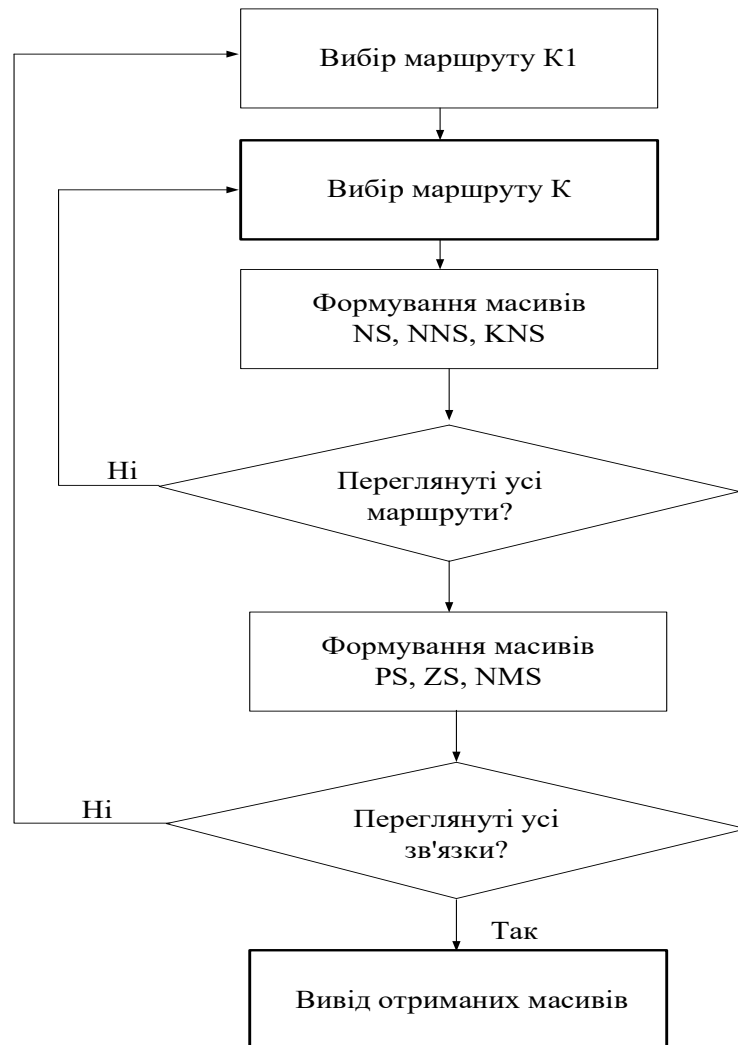


Рисунок 3.10 – Алгоритм вибору маршруту для програмної реалізації.

Для побудови одновимірного масиву номерів зв'язків, що входять до всіх можливих маршрутів (SM), необхідно спочатку зафіксувати номер певного маршруту. За цим номером (за його наявності у підмножинах множини NS з урахуванням граничних умов NNS) знаходимо номер зв'язку, по якому проходить обраний маршрут, і також заносимо його одновимірного масиву. Вищевказані операції продовжуються доти, доки не будуть переглянуті всі маршрути (тобто до виконання умови $k = M$).

Для побудови двовимірного масиву граничних умов (NSM) також необхідно додатково мати лічильник для закріплення порядкового номера початку підмножини зв'язків, якими проходить певний маршрут.

При цьому для будь-якого маршруту:

- першим елементом першого рядка масиву NSM є номер першого з підмножини зв'язків, якими проходить цей маршрут;
- першим елементом другого рядка цього масиву є число, що відповідає кількості зв'язків, через які проходить маршрут, а другим – порядковий номер початку підмножини вказаних зв'язків.

Вищевказані операції також повторюються доти, доки не будуть переглянуті всі маршрути (тобто до виконання умови $k = M$).

Загальна блок-схема алгоритму вибору маршруту для програмної реалізації наведена на рис. 3.11.

Що стосується інших показників, які впливають на вибір маршруту (формування матриця В), то:

величину інтенсивності місцевого руху на кожному перегоні заносимо до масиву MNP;

величину пропускну здатності перегонів та про характер перешкоди руху, що цю величину знижують, заносимо до масиву PP;

величини вільної швидкості руху по кожному перегону, отримані з залежності «швидкість – інтенсивність», заносимо до масиву SVP, а значення понижуючих коефіцієнтів по кожному перегону – до масиву BP;

показник кількості маршрутів за напрямками руху заносимо до масиву MN;

відомості щодо розподілу транспортних потоків за напрямками руху заносимо до масиву RN;

відомості щодо пріоритетів руху відразу надаються як кінцеві одновимірні масиви (MPN), у яких порядковий номер елемента масиву відповідає порядковому номеру перегону.



Рисунок 3.11 – Блок-схема алгоритму вибору маршруту.

Також слід пам'ятати, що масиви статичної інформації можуть зберігатися тривалий період, в той час як масиви інформації мають постійно оновлюватися.

3.4 Реалізація алгоритму рішення задачі аналізу впливу перешкод на умови руху мережею автомобільних доріг

Відповідно до методики реалізації задачі, описаної в підрозділі 2.3, її розв'язання здійснюється на основі аналізу оптимального розподілу транспортних засобів з урахуванням впливу конкретної перешкоди, (розподіл проводиться за пріоритетними напрямками).

Першим етапом вказаного розподілу є вибір маршрутів руху для заданого пріоритету. З усієї сукупності маршрутів, що реалізують обраний

напрямок руху, вибираємо ті маршрути, які задовольняють наступній умові наявності запасу пропускної здатності на маршруті:

$$PSM(k) < POG3, \quad (3.15)$$

де $POG3$ – допустимий мінімальний запас пропускної здатності на маршрутах.

Розрахункове значення запасу $PSM(k)$ визначається за умовою:

$$\min(PSM1(k) = PP(z) - NMP(z); PSM2(k) = PS(k1) - NMS(k1)),$$

де $PP(z)$ – пропускна здатність z -го перегону, що входить до k -го маршруту;

$NMP(z)$ – інтенсивності місцевого руху на цьому перегоні;

$S(k1)$ – пропускні здатності маршрутів;

$NMS(k1)$ – інтенсивності місцевого руху на маршрутах.

Як було показано у підрозділах 2.3, 2.4, вирішення завдання розподілу транспортних потоків, що здійснюють об'їзд перешкоди руху на мережі доріг, може бути досягнуто шляхом врахування мінімальних значень функціоналу (2.45) у всіх напрямках з подальшим коригуванням отриманого рішення.

Мінімум функціоналу (2.45) досягається в результаті розв'язання системи рівнянь (2.43). Як зазначалося, шукане рішення досягається за рівності перших похідних функціоналу (2.45) по кожному маршруту даного напрямку.

В силу ітераційного характеру як вибору кількості рівнянь для системи рівнянь (2.43), так і розв'язання цієї системи розрахунок проводиться у наступній послідовності:

- визначають перші похідні функціоналу (2.45) за кожним маршрутом;
- виконують ранжування маршрутів за зростанням величин перших похідних;
- проводять перевірку маршрутів з точки зору необхідності та достатності для пропуску всього транзитного транспортного потоку по даній ділянці мережі.

Першим кроком розв'язання задачі розподілу транспортних потоків за вибраним напрямком руху є визначення необхідної кількості маршрутів.

Як було зазначено в підрозділі 2.3, для вирішення завдання на невеликих ділянках мережі (чи на мережах з невеликою кількістю можливих маршрутів) замість розв'язання системи рівнянь можна застосувати методи динамічного програмування, які передбачають цілеспрямований перебір варіантів розв'язання. Зауважимо, що застосування того чи іншого способу вирішення визначається конфігурацією мережі та можливостями наявної обчислювальної техніки.

Другий крок розв'язання задачі розподілу транспортних потоків передбачає розгляд наступної систем рівнянь:

$$\sum_{z=1}^{m_n} a_{k(x),z} \left(l_z \frac{V_z - \frac{\partial V_z}{\partial N_{T(k(x))}} \left(N_{M,Z} + \sum_{x=1}^{i+j-1} a_{k(x),z} N_{T(k(x))} \right)}{V_z^2} + \sum_{q=1}^{m_n} b_{z,q} a_{k(x),q} \frac{\partial V_{z,q}}{\partial N_{T(k(x))}} \right) + \lambda_\eta = 0; \quad (3.16)$$

$$\sum_{x=1}^{i+j-1} N_{T(k(x))} = RN ;$$

при $j = 1$

де $k(x)$ – номер маршруту, що відповідає i -ому рангу.

За результатами вирішення системи рівнянь (3.16) (або ж шляхом підбору при застосуванні методу динамічного програмування) буде отримано оптимальний розподіл транспортного потоку за маршрутами (на це буде вказувати рівність перших похідних за маршрутами, що розглядаються).

На третьому кроці потрібно провести перевірку достатності вибраних маршрутів.

Виконання цієї умови буде вказувати на оптимальність обраного варіанту розподілу транспортного потоку, що здійснює об'їзд перешкоди руху по заданому пріоритетному напрямку. Якщо ж ця умова не виконується, то до перших i маршрутів необхідно додати наступний за рангом маршрут (при цьому $j = 2$), після чого розглянути новий варіант розподілу транзитного транспортного потоку.

Розподіл транзитних транспортних потоків у всіх інших напрямках здійснюється послідовно у відповідності до зростання пріоритету та у порядку, який є аналогічний вищеписаному. Також варто вказати на те, що при розподілі транзитного потоку за наступним пріоритетом результати попереднього розподілу пріоритетних напрямів ми враховуються як інтенсивності місцевого руху, які додаються до масиву MNP.

Блок-схема алгоритму вирішення задачі аналізу впливу перешкод на умови руху мережею автомобільних доріг наведена на рис. 3.12.

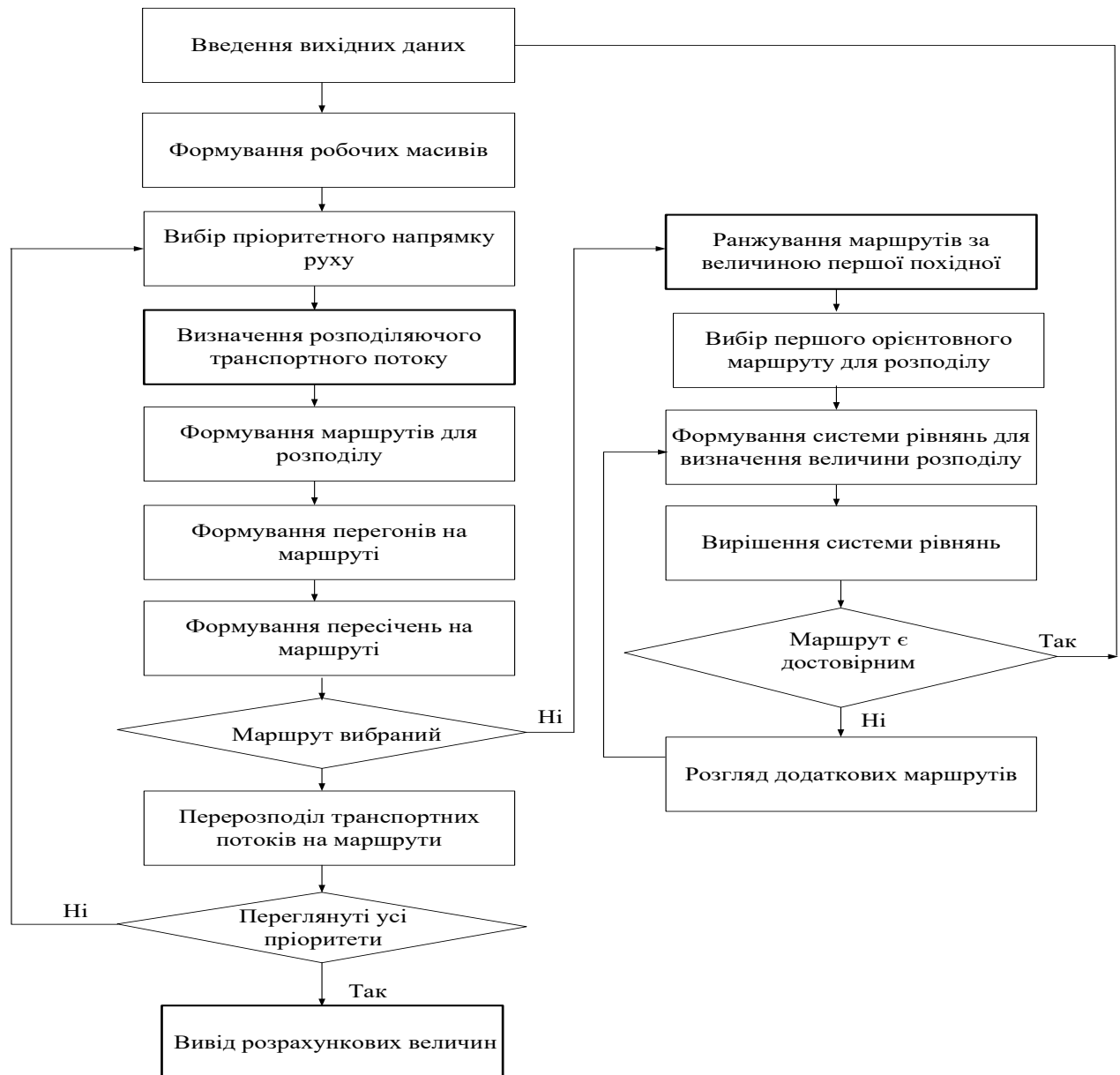


Рисунок 3.12 – Алгоритм рішення задачі аналізу впливу перешкод на умови руху мережею автомобільних доріг

Зауважимо, що використання зазначеного методу розподілу транспортних потоків по мережі, не дає гарантованого оптимального рішення, оскільки такий розподіл проводиться за відсутності поєднаних по перегонах маршрутів руху. Тому для підвищення імовірності оптимального рішення необхідно провести коригування отриманих рішень за пріоритетними напрямками згідно з методикою, викладеній в підрозділі 2.4.

Для коригування отриманих розподілів за пріоритетними напрямками необхідно:

- зафіксувати розподіл транзитних транспортних потоків за кожним пріоритетом (виключаючи передостанній за рангом $(kN-1)$ -й) у вигляді величин інтенсивності руху місцевих транспортних потоків (їх з даними 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 сформувати результати такого розподілу у вигляді масиву інтенсивності місцевого руху;
- провести розподіл транзитного транспортного потоку $(kN-2)$ -го пріоритетного напрямку за вищезазначеним алгоритмом.

Вищевказані дії (операції) проводяться доти, доки не будуть розглянуті всі пріоритети.

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

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

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 раціонального 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.

Висновки до розділу 3

Розроблені методичні основи вирішення задачі впливу перешкод для руху на мережі автомобільних доріг загального користування. Розроблений методологічний аспект забезпечується через формування залежностей «інтенсивність – швидкість» і «затримки – інтенсивність» при цьому проведені додаткові статистичні дослідження, а саме визначення статистичної вибірки для побудови регресійного рівняння впливу зміни умов руху на характеристики моделі транспортного потоку, визначення фізичної сутті вільного члену регресійного рішення, а також проведення дослідження області використання одержаних залежностей.

Розроблена математична модель розподілу транспортних потоків внаслідок впливу перешкод руху ґрунтується на умові оптимальності нині відомих тим, що крім мінімізації сумарного часу проїзду транспорту мережею автомобільних доріг вона, виключає повернення транспортних засобів на вже пройдену частину дороги та враховує місцеві транспортні потоки.

Результати досліджень третього розділу викладено у наступних публікаціях [103,112]

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

4.1 Формальні характеристики дорожніх умов і транспортних потоків на досліджуваній ділянці мережі автомобільних доріг

Результати досліджень щодо визначення умов впровадження удосконаленого методу управління транспортних потоків мережею автомобільних доріг шляхом проведення імітаційного моделювання на прикладі фрагменту транспортної мережі автомобільних доріг України, 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.

Для дослідження була обрана мережа автомобільних доріг до складу якої входять національні, міжнародні, регіональні дороги та магістральні дороги місцевого значення будучи частиною автомобільних доріг України.

В результаті дослідження та аналізу характеристик транспортних потоків та дорожніх умов, була сформована комбінована схема мережі автомобільних доріг, представлена у загальному вигляді на рис. 4.1.

Зазначена мережа повністю має асфальтобетонне покриття. Особливістю цієї мережі є наявність перетинів та примикань на одному рівні на другорядних дорогах, примикань другорядних доріг до магістральних.

Основними характеристиками транспортних потоків, що визначають умови руху на дорогах, є: інтенсивність руху (її середньодобова годинна та пікова величини), склад транспортного потоку, швидкість руху потоків на перегонах мережі автомобільних доріг, величина затримок на маршрутах мережі автомобільних доріг. Аналіз величин середньодобової годинної та пікової інтенсивності руху на маршрутах показав, що найбільш

завантаженими є ділянки маршруту, які проходять через ділянки міжнародних та національних доріг.

Дослідження дорожніх робіт, що проводяться на маршрутах мережі автомобільних доріг, показало, що близько половини дорожніх робіт, що виникають із заняттям проїзної частини, не мають істотного впливу на стан руху мережею автомобільних доріг, оскільки проводяться протягом короткого періоду часу, або в нічний час. Роботи, які проводяться на мережі автомобільних доріг протягом досить тривалого періоду часу (від кількох днів до кількох тижнів), за умовами не повинні повністю перекривати рух на трасі, проте постійне заняття однієї або кількох смуг допустиме. При цьому на ділянці дороги різко знижується пропускна здатність. Якщо дана пропускна здатність менша за інтенсивність транспортного потоку, то розробляється відповідна схема об'їзду.

Розробка схеми об'їзду проводиться з урахуванням двох основних умов - маршрут об'їзду повинен бути якомога коротшим і повинен пропустити весь потік, що рухається. У цій роботі аналізувалися такі умови, за яких внаслідок зниження величини пропускної здатності ділянки дороги потік автомобілів доволіно розподілявся об'їзними маршрутами даного напрямку. При цьому враховувалася можливість збігу об'їзних маршрутів для потоків, що виникають під час об'їзду перешкод у різних точках мережі.

4.2 Розподіл транспортних потоків мережею автомобільних доріг

Розподіл транспортних потоків мережею автомобільних доріг є процесом, що визначає зміну схеми руху транспортних потоків в результаті схеми руху. Цей розподіл враховує різні фактори: густота населення, розташування промислових зон, транспортні вузли, географічні особливості та інші.

Для розподілу транспортних потоків застосовують методи: математичні моделі, статистичний аналіз, імітаційне моделювання та емпіричні

дослідження. Мета розподілу транспортних потоків полягає у забезпеченні ефективності транспортної системи через зменшення затримок, безпеки дорожнього руху та задоволенні потреб перевезення пасажирів та вантажів.

У світовій практиці широке поширення отримали відомі програмні продукти для імітаційного моделювання у галузі організації транспортного руху. Серед таких програм можна виділити VISSIM, розроблений компанією PTV AG з Німеччини [113], а також GETRAM/AIMSUN [114]. В розглянутих системах моделювання виконується функція відображення у реальному часі реакції транспортних потоків на вплив світлофорного регулювання, що є результатом обраної стратегії управління при контурному управлінні. Тому визначення ефективності організації рівномірного руху по контуру проведено у програмному середовищі PTV VISSIM, цей продукт призначений для імітаційного моделювання руху окремих транспортних засобів та транспортних потоків у населених пунктах та поза ними [37]. PTV VISSIM імітаційне програмне забезпечення значно полегшує завдання проектувальника, надаючи надійну основу для розробки дорожньо-транспортних та міських інфраструктурних проектів [115-122].

На відміну від простіших моделей, де припускаються сталий рух і беззмінна поведінка у відношенні до транспортних засобів, які їдуть попереду, PTV VISSIM використовує особливу психофізіологічну модель сприйняття, розроблену WIEDEMANN'а у 1974 та 1999 роках. Суть цієї моделі полягає в тому, що водій автомобіля, який рухається з вищою швидкістю, розпочинає гальмування, якщо відстань до автомобіля, що йде попереду, стає меншою, ніж його особистий межа сприйняття, тобто коли він вважає, що ця відстань стає надто малою. Так як він не може точно оцінити швидкість транспортних засобів, що їде попереду, то його швидкість буде зменшуватись нижче швидкості транспортних засобів, що їдуть попереду до тих пір, поки він не почне знову прискорюватися, після досягнення свого порогу сприйняття, коли він почне сприймати виниклу між ним і транспортних засобів, що їде попереду, дистанцію як занадто велику. Це веде до постійного прискорення і

уповільнення. Таким чином, за допомогою встановлених функцій розподілу для швидкості та відстані можна імітувати різні стилі поведінки водіїв. [121].

У ряді випадків, при моделюванні мережі автомобільних доріг з великою кількістю перегонів і перехресть, розміри матриць не можуть перевищувати можливості програмного забезпечення. Так, можливості програмного забезпечення PTV VISSIM дозволяють формувати дані розміром не більше 100000 x 100000 метрів. В цьому випадку необхідно виконати перетворення вихідних даних із матричної у векторну форму.

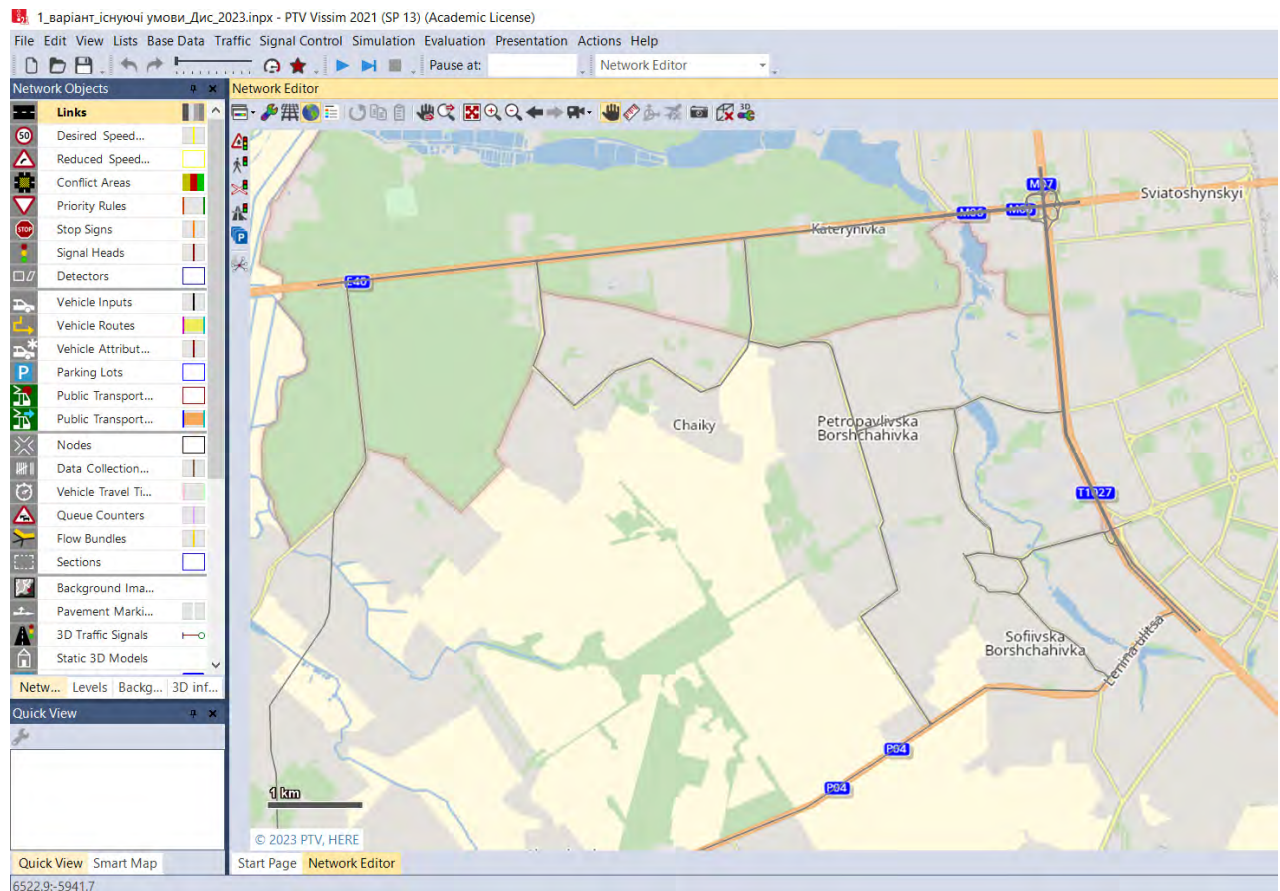


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель руху транспортних потоків по об’єкту дослідження у програмному середовищі PTV VISSIM

PTV VISSIM – це не стільки модель транспортного потоку, скільки інструмент для створення таких моделей. Тому для модельного експерименту було розроблено таку імітаційну модель руху транспортних потоків на ділянці мережі автомобільних доріг загального користування, яка дозволить

визначити як параметри руху транспортних засобів, так і показники ефективності дорожнього руху.

Вихідними даними для створення моделі були обрані: довжина ділянок автомобільних доріг загального користування, м; ширина проїзної частини, м; кількість смуг руху на ділянках автомобільних доріг загального користування; інтенсивність транспортного потоку на вході ділянок автомобільних доріг загального користування, авт./год; склад транспортного потоку; наявність зупинок громадського транспорту; параметри світлофорів (розміщення, час циклу та головного такту регулювання в конкретному напрямку); правила пріоритету та конфліктні зони на перехрестях і на під'їздах до них; наявність зупинок громадського транспорту тощо (рис. 4.1).

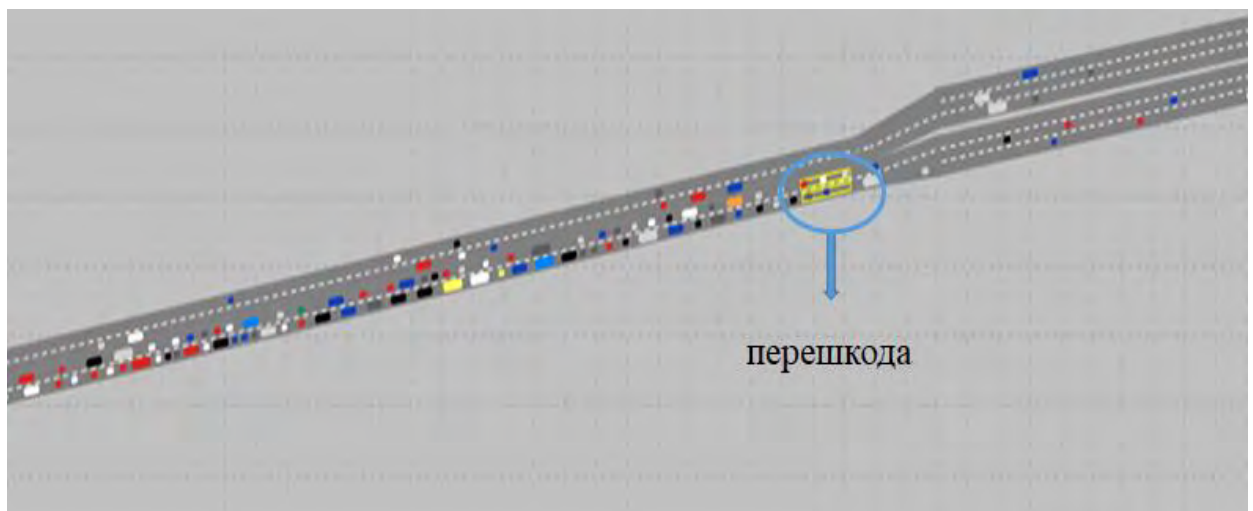


Рисунок 4.2 – Розподіл транспортних потоків при виникненні перешкод для руху

Вирішення задачі розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг при впливі перешкод руху вимагає конкретизації вихідних даних про характеристики дорожніх умов та транспортних потоків. Як було показано в 3.3, вихідні дані можуть бути представлені у вигляді статичної та динамічної інформації. Причому основний обсяг інформації є статичною інформацією і стосується питань опису характеристик мережі, за

якою проводиться розподіл транспортних потоків у разі виникнення перешкод руху.

Інформація про дорожні умови конкретної мережі автомобільних доріг включає:

- схему мережі автомобільних доріг;
- категорію дороги;
- геометричні характеристики мережі автомобільних доріг;
- тип дорожнього одягу та стан проїжджої частини;
- величини затримок;
- величини пропускної здатності мережі автомобільних доріг;
- розташування перешкод руху на мережі доріг і характеристика кожної перешкоди (ступінь зниження пропускної здатності ділянки дороги);
- дислокацію точок входу і виходу розподіляються транспортних потоків;
- схему організації дорожнього руху

Початковою вимогою конкретизації вихідної інформації для вирішення задачі розподілу транспортних потоків при впливі перешкод руху є формування сукупності доріг, якими можуть проходити маршрути транспортних потоків, що розподіляються.

Мережа доріг, якими відбувається розподіл транспортних потоків, здійснюють об'їзд перешкоди руху, формується за таких умов:

- всі точки входу і відповідні їм точки виходу транспортних потоків, що розподіляються, повинні бути з'єднані між собою поєднанням доріг відповідних категорій;
- кількість точок входу та виходу має бути кінцевим числом.

Сформована таким чином мережа автомобільних доріг поділяється на перегони між вузлами мережі.

Слід зазначити, що якщо в результаті рішення обрана мережа автомобільних доріг не задовольняє можливості пропуску потоку, що

розподіляється, то така мережа може бути розширена за рахунок доріг нижчих категорій.

З виділених перегонів мережі автомобільних доріг формуються маршрути. Призначення маршрутів, за якими може здійснюватися рух розподіленого транспортного потоку, провадиться виходячи з наступних принципів:

- кожен маршрут повинен з'єднувати точку входу та точку виходу потоку даної ділянки мережі;
- кожний маршрут повинен бути розімкнений, тобто не мати повернення в пройдений вузол.

Формування можливих маршрутів руху, що розподіляються при об'їзді перешкоди руху транспортних потоків залежить від схеми організації руху як по всій мережі, так і на окремих перегонах і перехрестях. Зазвичай схема організації руху представляється у загальному вигляді: двостороннім рухом по кожному з перегонів з дозволом всіх можливих напрямів руху на перехрестях мережі автомобільних доріг. Частковими випадками загальної схеми організації руху є схеми, що внесені деякі обмеження руху (односторонній рух, заборона проїзду, закриття того чи іншого повороту і так далі).

Вихідною для визначення можливих маршрутів руху є матриця ознак наявності зв'язків між перехрестями або перегонами і мережі, що розглядається, яка записується в наступному вигляді:

$$A = |a_{i,j}|, \quad (4.1)$$

де $a_{i,j} = 1$, якщо i -ий перегін (перехрестя) має безпосередній зв'язок з j -им перегonom (перехрестям);

$a_{i,j} = 0$, якщо між i -им і j -им перегонами (перехрестями) безпосередній зв'язок відсутній.

З вищевикладеного можна зробити висновок, що навіть на невеликій мережі виходить значне кількість можливих маршрутів об'їзду. Для реальної

мережі, що має значну кількість пересічень, можлива кількість маршрутів обчислюється сотнями.

Більше того, участь великої кількості маршрутів при вирішенні завдання може призвести до появи маршрутів, які не будуть задіяні в розподілі, а на окремих маршрутах діапазон розподілу коливатиметься від одного автомобіля до всієї кількості автомобілів, що розподіляються. Таке положення вимагає аналізу та відбору запропонованої безлічі маршрутів з точки зору необхідності та достатності для вирішення задачі.

Необхідною умовою вибору маршрутів об'їзду перешкоди руху, за якими проводитиметься розподіл транспортного потоку, є нерівність:

$$\sum_{k=1}^m \left(\frac{a_{k,z} l_z}{V_{0,z}} \right)_k \leq \min_i \left(\sum_{k=1}^m \left(\frac{a_{i,z} l_z}{V_{\text{ефект},z}} + a_{i,z} \sum_{k=1}^m b_{z,q} a_{i,q} t_{i,q} \cdot (N_{\text{MAX},Z,q} - N_{M,Z,q}) \right) \right) \quad (4.2)$$

$$i, k = k(\xi, \eta - 1), \dots, k(\xi, \eta - 1, n_{\xi, \eta}),$$

де $V_{0,z}$ – вільна швидкість руху по z -му перегону до-го маршруту, км/год.;

$V_{\text{ефект},z}$ – ефективна швидкість руху по z -му перегону, км/год.

$$V_{\text{ефект},z} = F \left(\min \left(a_{i,z} (N_{\text{MAX},Z} - N_{M,Z}); a_{i,z} \sum_{k=1}^m b_{z,q} a_{i,q} (N_{\text{MAX},Z,q} - N_{M,Z,q}) \right) \right).$$

Такій умові задовольнятимуть ті маршрути, час руху якими у вільному режимі не буде перевищувати часу руху по найкоротшому маршруту та пропускної здатності.

Умова (4.2) не є достатньою, так як пропускна здатність обраних багатьох маршрутів може виявитися недостатньою для пропуску транспортного потоку, що розподіляється. Тому обрані маршрути мають одночасно задовольняти наступній умові:

$$\sum_{k=k(\xi, \eta-1, 1)}^{k=k(\xi, \eta-1, n_{\xi, \eta})} N_{\text{MAX}}(k) \geq N^{\xi, \eta}, \quad (4.3)$$

де $N_{\text{MAX}}(k)$ – пропускна здатність k -го маршруту;

$$N_{\text{MAX}}(k) = \min \left(\min (N_{\text{MAX},Z} - N_{M,Z}); \min (N_{\text{MAX},Z,q} - N_{M,Z,q}) \right)$$

якщо відсутні загальні перегони з маршрутами до $k-1$ включно та

$$N_{MAX}(k) = \min \left(\min \left(N_{MAX,Z} - N_{M,Z} - \sum_{i=1}^{k-1} a_{i,z} N_{MAX,i} \right) \right);$$

$$\min(N_{MAX,Z,q} - N_{M,Z,q} - b_{z,q} \sum_{i=1}^{k-1} a_{i,z} a_{i,q} N_{MAX,i});$$

якщо існують загальні перегони при

$$a_{k,z}; b_{z,q}; a_{i,z}; a_{i,q} \neq 0.$$

Невиконання умови (4.3) вказує на необхідність залучення додаткових маршрутів для розподілу транспортних потоків.

В результаті аналізу можливої множини маршрутів з погляду необхідності та достатності формується мережа маршрутів, якими буде вирішуватися завдання розподілу транспортних потоків при здійсненні об'їзду перешкод руху на даній мережі.

З вищевикладеного робимо висновок, що з формування безлічі маршрутів, якими буде проводитися розподіл транспортних потоків, необхідно мати інформацію по кожному перегону, його довжині, пропускну здатність, і навіть пропускну здатність перехресть мережі автомобільних доріг.

Для характеристики умов руху по вибраних маршрутах необхідно мати інформацію про місцеву інтенсивність руху на кожному перегоні, розподіл інтенсивності на перехрестях мережі, закономірності зв'язку між швидкістю та інтенсивністю руху на перегонах.

В результаті вибору зазначеним способом маршрутів руху отримуємо таку їх кількість, яка забезпечить розподіл транспортних потоків заданої величини протягом певного періоду часу. Якщо ж конфігурація мережі не дозволяє підібрати маршрути розподілу транспортного потоку для здійснення об'їзду чергової перешкоди руху, що моделюється на мережі, робиться висновок про неприпустимість створення цієї перешкоди руху в даних умовах.

Для отримання оптимального рішення з меншою кількістю задіяних маршрутів найбільш ефективним є використання розподілу по пріоритетним маршрутам.

В результаті обробки вихідних даних отримується така інформація:

- дислокація мережі, що складається з перехресть і перегонів, що їх з'єднують;
- інтенсивність руху на вході та виході з мережі, а також у місцях обліку залежно від часу доби;
- інтенсивність руху транзитних транспортних потоків та точки їх входу та виходу з мережі;
- існуючі маршрути транзитних транспортних потоків;
- величини транзитної та місцевої інтенсивності руху на кожному перегоні та на кожному перехресті досліджуваної мережі;
- можливі напрямки руху на перегонах та перехрестях;
- величини пропускних здатності напрямків руху на перегонах і перехрестях;
- можливі маршрути руху на заданій мережі доріг.

З метою отримання залежності «швидкість – інтенсивність» потрібно в обраних місцях на мережі зробити певну кількість вимірів, достатню для того, щоб отримана математична залежність моделювала описуваний процес. Необхідний обсяг вимірів встановлюється вибіркоким методом математичної статистики, завданням якого є встановлення та опис закономірностей руху транспортного потоку.

Використовуючи метод лінійної кореляції, залежність «швидкість – інтенсивність» записуємо в наступному вигляді:

$$V = a - bN,$$

де a – вільна швидкість руху;

N – інтенсивність руху.

Для визначення коефіцієнта b та вільної швидкості a використовуємо метод найменших квадратів, де, мінімізуючи вираз

$$F = \sum_{i=1}^n (V_i - a - b N_i)^2,$$

отримаємо:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \sum_{i=1}^n N_i - \sum_{i=1}^n N_i V_i \sum_{i=1}^n N_i}{n \sum_{i=1}^n N_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n N_i \right)^2}.$$

Для того щоб кореляційне рівняння з достатньою точністю виражало залежність «швидкість – інтенсивність», необхідно виконання умови:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n N_i V_i - \sum_{i=1}^n N_i \sum_{i=1}^n V_i}{n \sum_{i=1}^n N_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n N_i \right)^2}.$$

Для того щоб кореляційне рівняння з достатньою точністю виражало залежність «швидкість – інтенсивність», необхідно виконання умови:

$$\sigma_o < 0.1V \quad i \quad V = \frac{1}{n} \sum V_i$$

де σ_o похибка, яку допускає залежність;

n – кількість досліджених автомобілів;

V_i – швидкість руху автомобілів досліджуваного транспортного потоку (км/год);

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{\sum (V_i - V)^2}{n - 1}},$$

де $V_i - V$ – різниця між емпіричною та вирівняною кривою у заданих точках.

Кількість таких виразів, залежатиме від кількості ділянок з однаковими дорожніми умовами за досліджуваною дорожньою мережею.

4.3 Результати прогнозування руху транспортних потоків на автомобільних дорогах з обмеженнями на мережі автомобільних доріг

Побудова моделі мережі автомобільних доріг в PTV VISSIM виконується за наступною схемою:

1. Побудова мережі автомобільних доріг: зображення відрізків доріг; зображення поворотів; організація зустрічного руху; створення смуг розгону і гальмування; нанесення дорожньої розмітки;

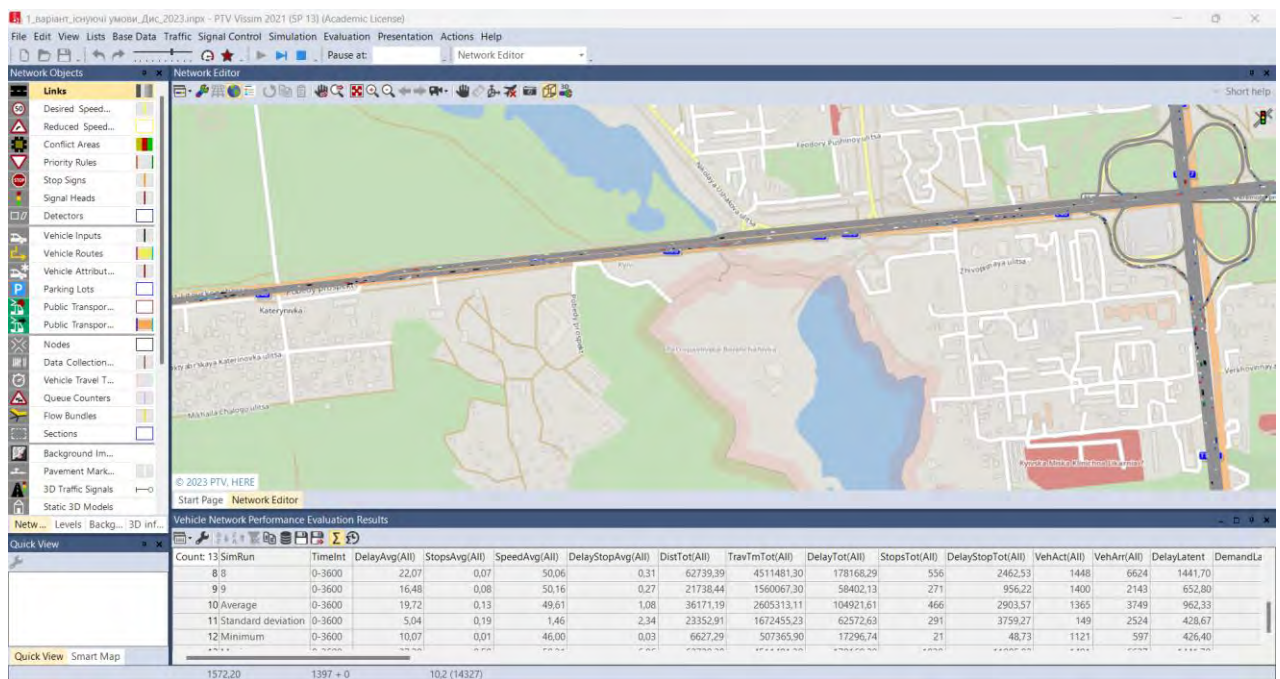


Рисунок 4.3 – Імітаційна модель руху транспортних потоків при існуючих умовах руху

2. Введення транспортного потоку: завдання інтенсивності потоку; визначення складу транспортних засобів; завдання маршрутів транспортних засобів; введення правил пріоритету в конфліктних зонах;

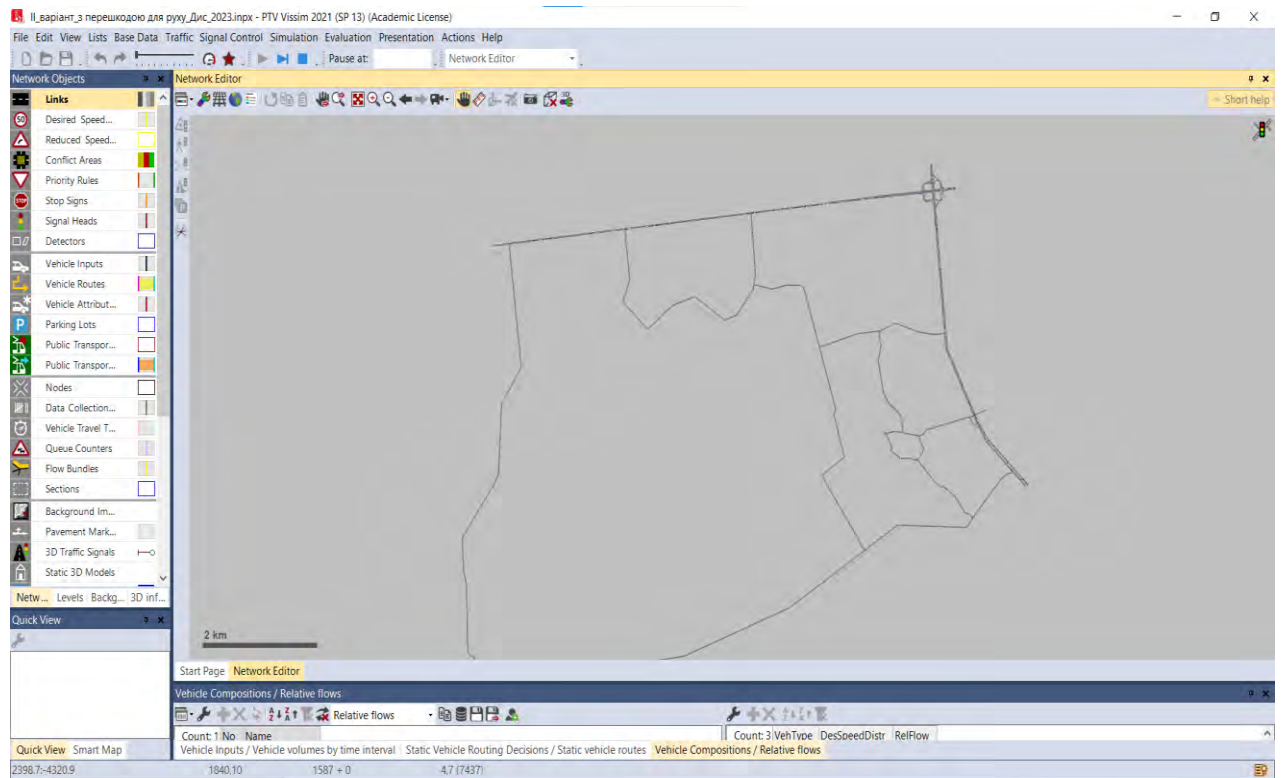


Рисунок 4.4 – Введення вхідних потоків транспортних засобів

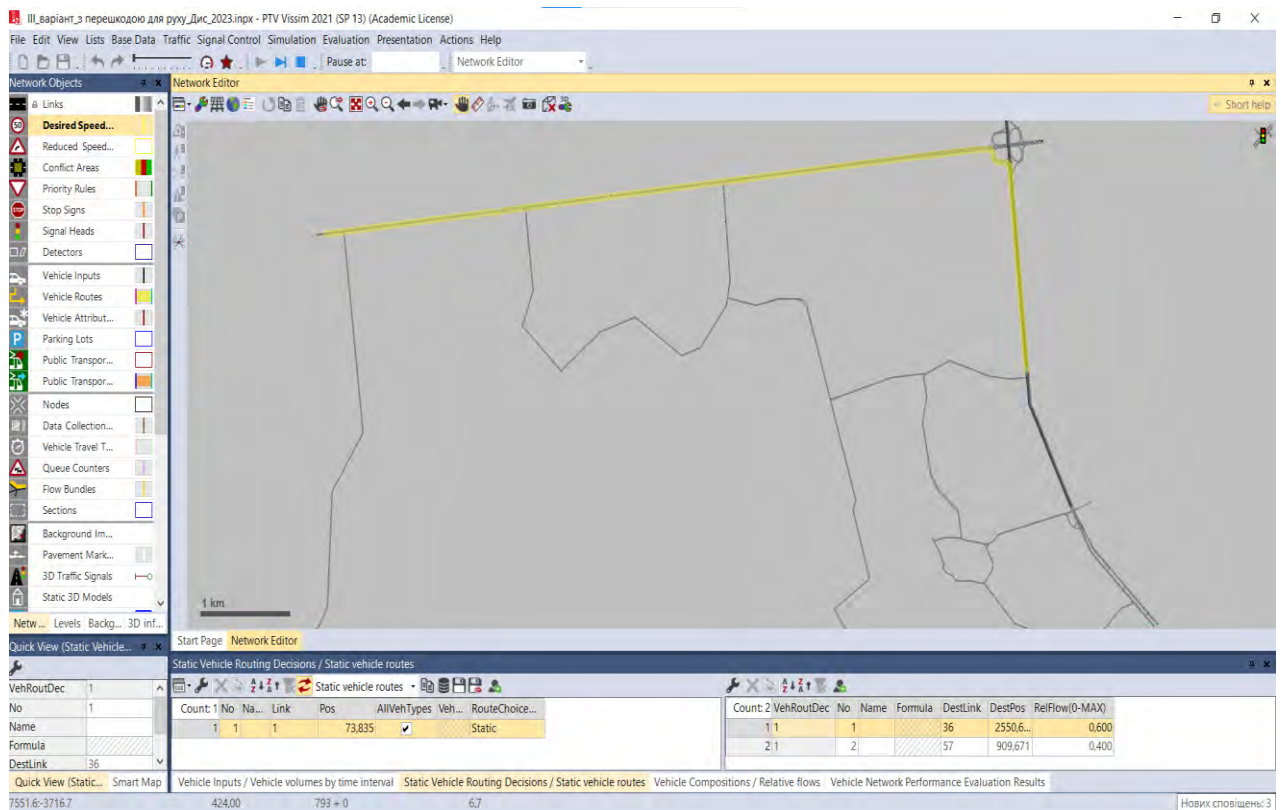


Рисунок 4.5 – Введення маршрутів руху

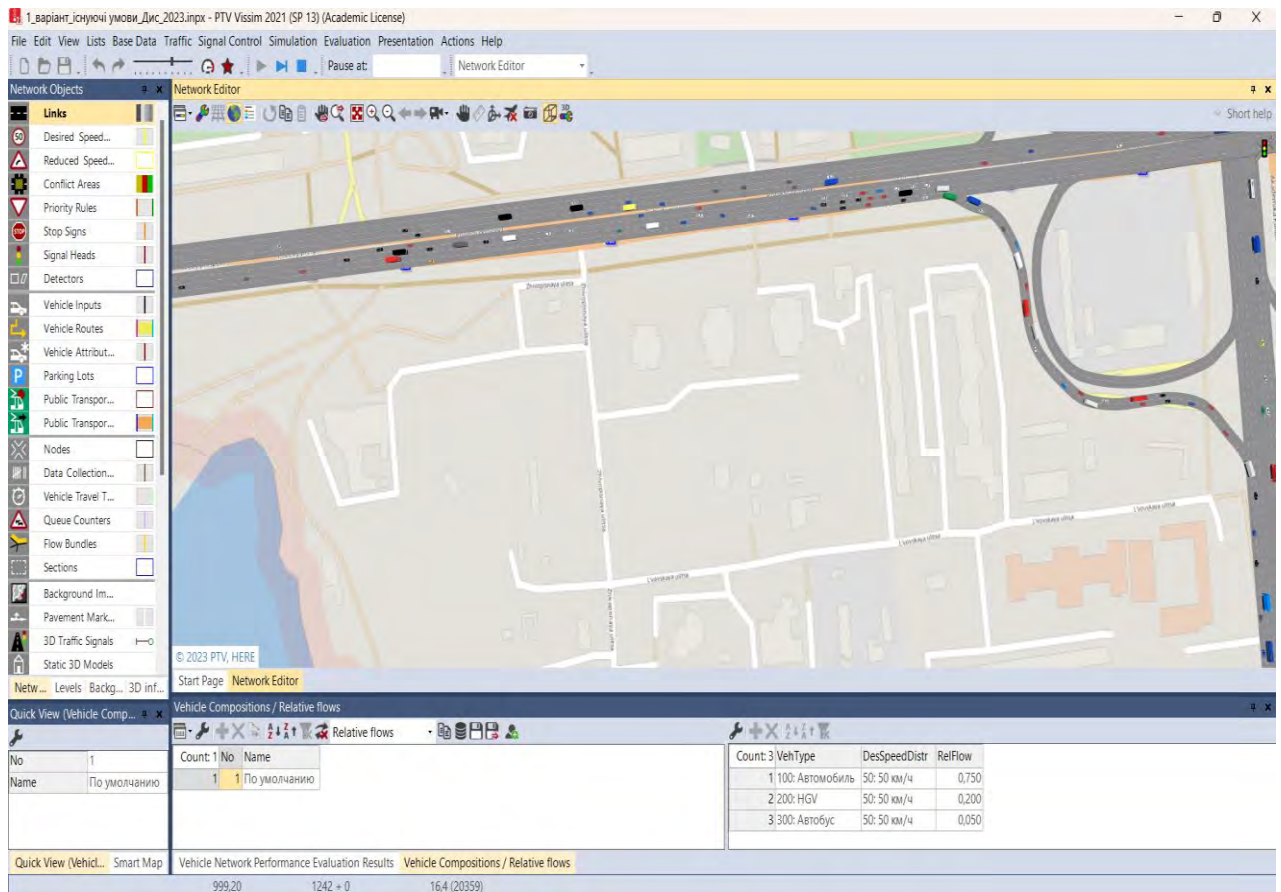


Рисунок 4.6 – Склад транспортного потоку

3. Виведення результатів аналізу моделювання.

Після розробки моделі транспортного руху в PTV Vissim можна отримати ряд даних для аналізу виконаної роботи. Тобто можна не тільки візуально оцінити результати моделювання, але і отримати звіти, що дозволяють робити обґрунтовані висновки.

Для отримання даних для аналізу необхідно налаштувати параметри лічильників для збору інформації та включити необхідні опції у розділі «Аналіз/Конфігурація». Без активації необхідної опції файл аналізу створено не буде.

Обираємо необхідні пункти в вікні налаштування режимів імітації, а саме, «Вхід автомобіля», «Аналіз мережі транспортних засобів», «Час руху по мережі», «Час затримки», «Лічильник заторів», «Вузли», тривалість імітації становить 1год або 3600 с.

Evaluation Configuration

Evaluation output directory: D:\інна\Інна_дис_2023\Дис_модель_2023(три варіанти)\

Result Management Result Attributes Direct Output

Additionally collect data for these classes:

Vehicle Classes

10: Автомобиль
20: HGV
30: Автобус
40: Трамвай
50: Пешеход
60: Велосипед
70

Pedestrian Classes

10: Мужчина, Женщина
30: Пассажиры в инв. коляс

	Collect data	From-time	To-time	Interval	
Area measurements	☐	0	99999	99999	
Areas & ramps	☐	0	99999	99999	
Data collections	☐	0	99999	99999	
Delays	☒	0	3600	99999	
Links	☐	0	99999	99999	More...
Meso edges	☐	0	99999	99999	
Nodes	☒	0	3600	99999	More...
OD pairs	☐	0	99999	99999	
Parking lot groups	☐	0	99999	99999	
Parking lots	☐	0	99999	99999	
Parking routing decisions	☐	0	99999	99999	
Parking spaces	☐	0	99999	99999	
Pedestrian Grid Cells	☐	0	99999	99999	More...
Pedestrian network performance	☐	0	3600	99999	
Pedestrian travel times	☐	0	99999	99999	
Queue counters	☒	0	3600	99999	More...
Vehicle inputs	☐	0	3600	99999	
Vehicle network performance	☒	0	3600	99999	
Vehicle travel times	☒	0	3600	99999	More...

OK Cancel

Рисунок 4.7 – Налаштування параметрів імітації

Після введення вихідних даних перед переходом до етапу калібрування важливо перевірити правильність функціонування моделі та введеної інформації. Цей процес відомий як верифікація. Якість введення та початкова конфігурація моделі суттєво впливають не лише на складність подальшої калібрування та валідації, а й на можливість їх виконання взагалі.

На першому етапі було проведено імітаційне моделювання руху транспортних потоків в існуючих умовах функціонування транспортної мережі (варіант 1). 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 (див. рис. 4.8).

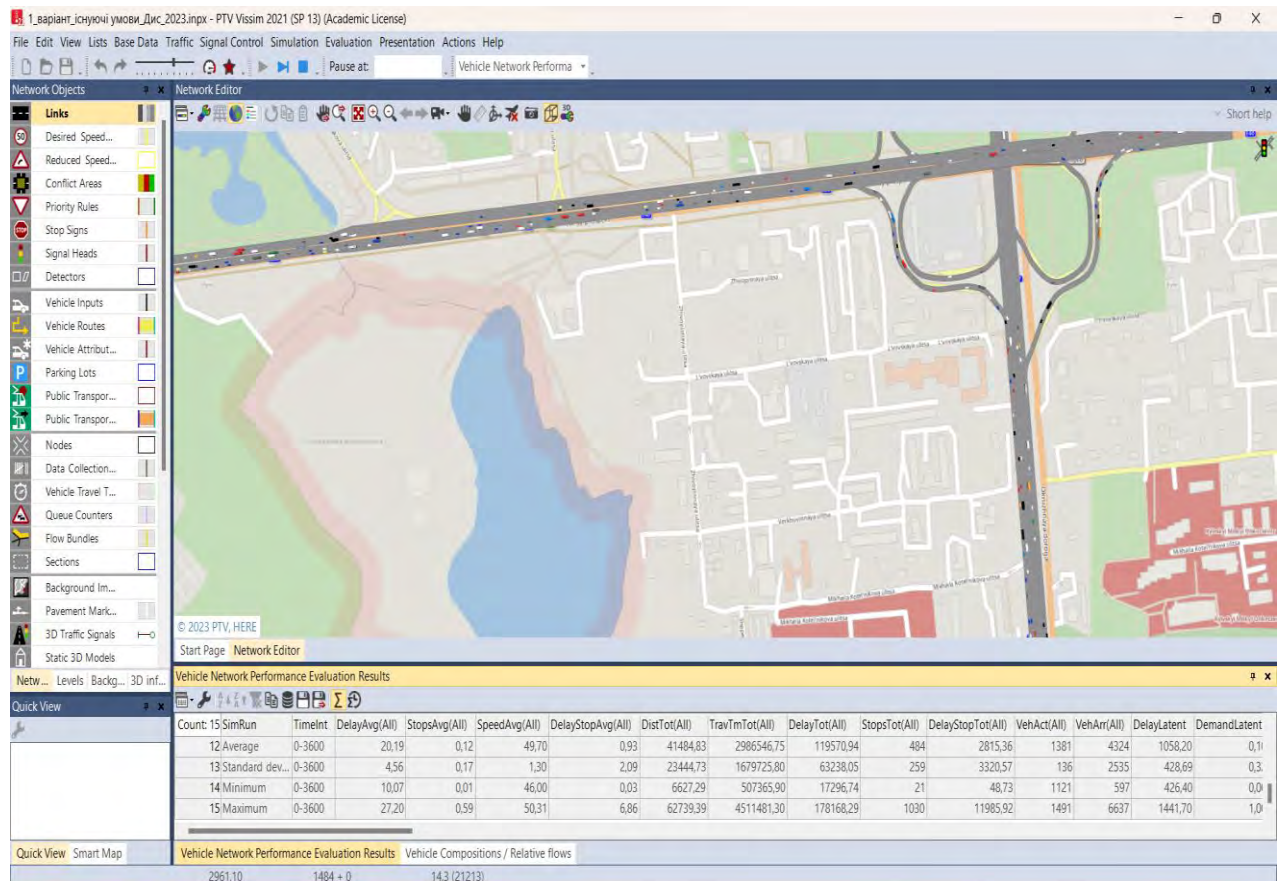


Рисунок 4.8 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків в існуючих умовах функціонування транспортної мережі (варіант І)

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) – 0,3 с, сумарний час затримки всього транспортного потоку – 125 872с.

Імітаційне моделювання руху транспортних потоків при виникненні перешкод на окремих ділянках мережі (варіант II) передбачало аналогічні умови розподілу транспортних потоків за маршрутами 1 та 2 (див. рис. 4.9)

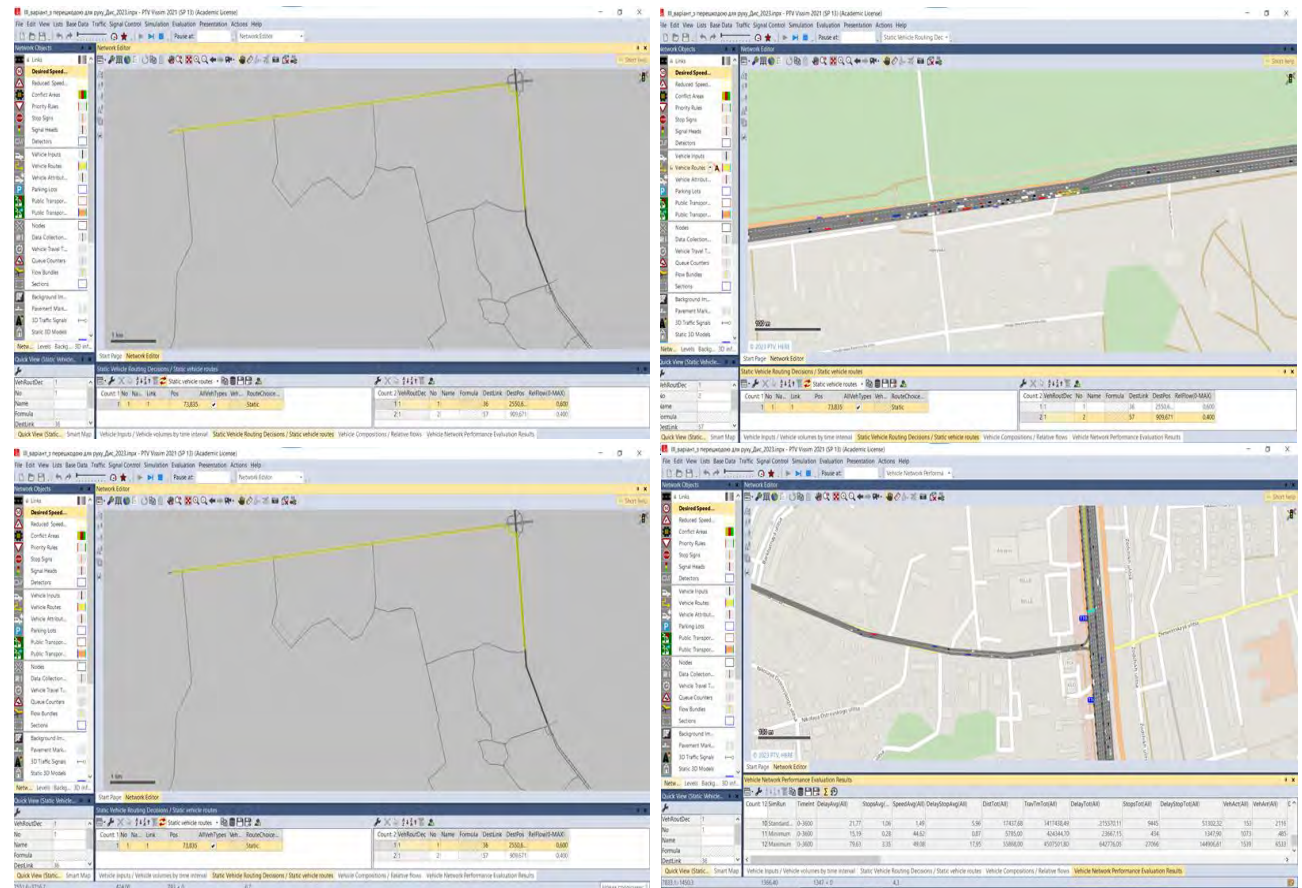


Рисунок 4.9 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків при виникненні перешкод на окремих її ділянках мережі (варіант II)

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 – 71 с та сумарного часу затримки всього транспортного потоку – 857 964 с відповідно.

В 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) (див. рис. 4.10).

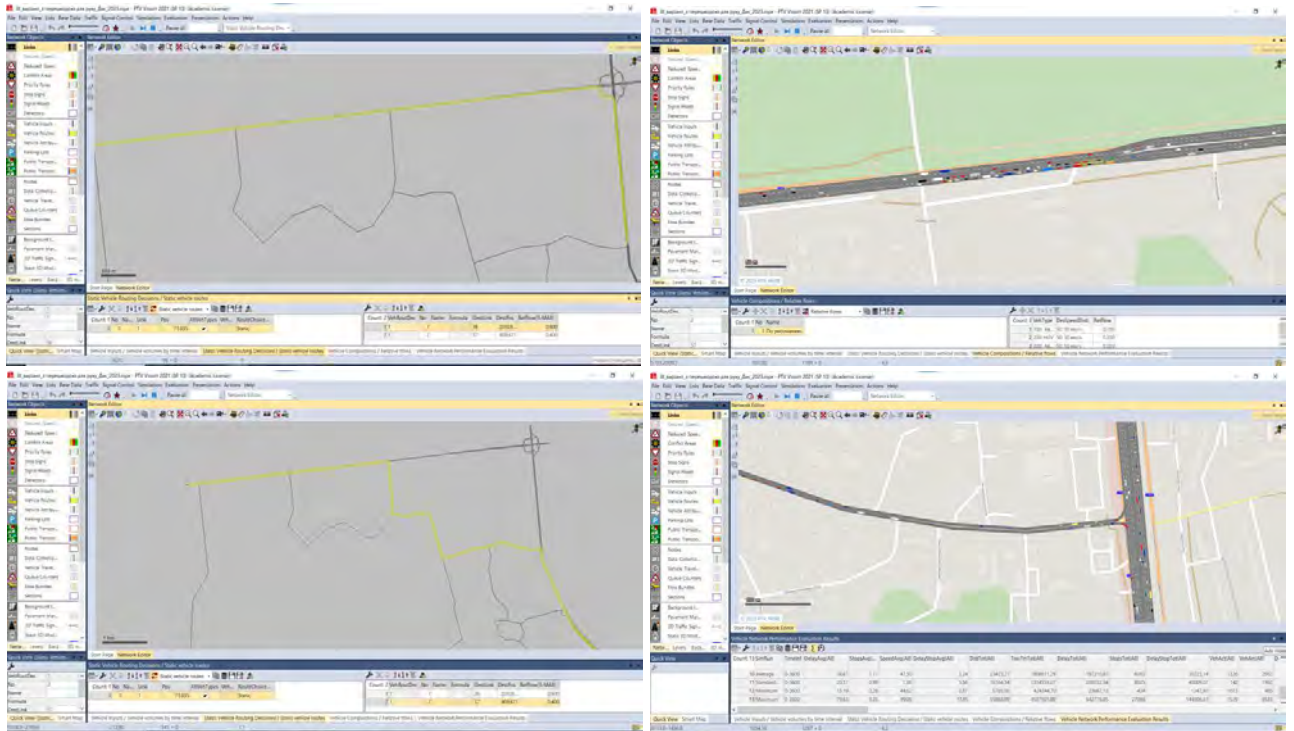


Рисунок 4.10 – Результати моделювання розподілу транспортних потоків після реалізації управлінських рішень (варіант III)

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.

4.4 Аналіз моделювання

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: руху транспортних потоків в існуючих

умовах функціонування транспортної мережі (варіант I); при виникненні перешкод на окремих ділянках мережі (варіант II) та розподілу транспортних потоків після реалізації управлінських рішень (варіант III).

Таблиця 4.1 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків

	I варіант існуючі умови руху	II варіант виникнення перешкоди для руху в існуючих умовах	III варіант при впровадженні запропонованих заходів
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

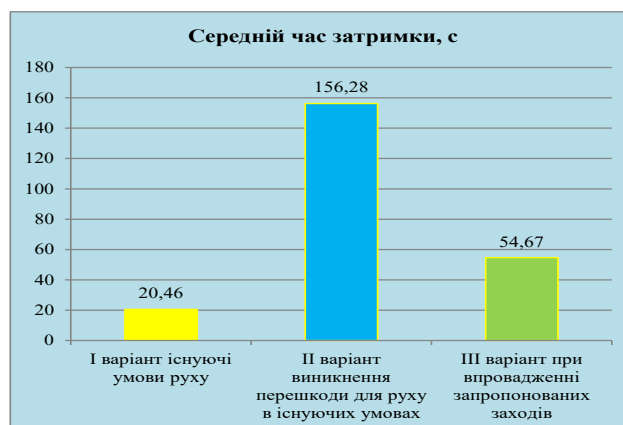


Рисунок 4.11 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків

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.

Висновки до розділу 4

Практичне застосування результатів досліджень було проведено на ділянках 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.

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 %.

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 утворення 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.

Результати досліджень четвертого розділу викладено у наступних публікаціях [124, 125].

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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кашканов А.А., Кужель В.П. Організація дорожнього руху: навч. посіб. Вінниця, 2017. 125с.
2. Нагребельна Л.П. Удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі.: дис. доктора філософії. Київ, 2021. 192с.
3. Прейгер Д.К. Собкевич О.В., Ємельянова О.Ю. Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного розвитку. *НІСД*, Київ, 2011. 37 с.
4. Державна служба статистики України : веб-сайт. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 14.06.2021).
5. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П. Аналіз факторів, що спричиняють ДТП на автомобільних дорогах загального користування та пропозиції по їх ліквідації. *Дороги і мости*. Київ, 2016. Вип. 16. С. 82 – 85.
6. Патрульна поліція України: веб-сайт. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 18.12.2020).
7. Oskarbski J., Kamiński T., Kyamakya K., Chedjou J. Ch., Żarski K., Pędzierska M. Assessment of the Speed Management Impact on Road Traffic Safety on the Sections of Motorways and Expressways Using Simulation Methods. *Sensors (Switzerland)*. 2020. Vol. 20(18). pp. 1-33. DOI: [10.3390/s20185057](https://doi.org/10.3390/s20185057) (SCOPUS).
8. Поліщук В.П., Семенченко О.В. Існуючі проблеми щодо забезпечення безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах України. Управління проектами, системний аналіз і логістика. Київ, 2013. Вип. 11, С.85- 91.
9. Kopits E., Cropper M. Traffic fatalities and economic growth. Washington, DC, The World Bank, 2003 (Policy Research Working Paper No. 3035).
10. Поліщук В.П., Кутузов А.Є. До питання управління безпекою руху на автомобільних дорогах загального користування регіону. *Вісник НТУ*. Київ, 2013. Вип. 28.С.380 – 385.
11. Поліщук В.П., Єресов В.І., Корчевська А.А., Корчевський А.О., Куницька О.М., Лановий О.Т. Удосконалення методів забезпечення безпеки

учасників дорожнього руху. Управління проектами, системний аналіз і логістика. Київ, 2015. № 15 (1). С.129-135.

12. Поліщук В. П. Автоматизоване управління дорожнім рухом на автомобільних дорогах. [Текст]: дис. ... докт. техн. наук : 05.22.01 / Поліщук Володимир Петрович. – К. : УТУ, 1996. – 467 с. (рос.мова).

13. Михайленко І.В., Четверухін Б.М. Управління дорожнім рухом на автомобільних дорогах: Урожай, Київ, 1991. 193 с.[рос.мова].

14. Про автомобільні дороги: Закон України від 08.09.2005 р. №2862-IV, редакція від 25.03.2018 N 2304-VIII //База даних Законодавство України/ Верховна рада України. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2862-15> (дата звернення: 10.12.2019).

15. Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор) URL: <http://www.ukravtodor.gov.ua/>: веб-сайт (дата звернення: 14.06.2019).

16. Шевчук Я.В. Регіональна політика розвитку автотранспортної інфраструктури в Україні. *Сталий розвиток економіки*. Хмельницький, 2011. №1. С. 108-114.

17. Юхновський І.Р., Лебеда Г.Б., Попова Т.І. Транспортний комплекс України. Автомобільні дороги: проблеми та перспективи. Міжвід. аналіт.-консультат. рада з питань розв. продукт. сил і виробн. відносин. - К.: ФАДА, ЛТД, 2004. - 177 с.

18. Вознюк А.Б. Мережа автомобільних доріг України та сучасні транспортні потоки. *Дороги і мости*. Київ, 2014. Вип. 14. С. 111-124 URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/iR_18.pdf (дата звернення: 10.08.2018).

19. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги . Частина І. Проектування. Частина ІІ Будівництво. Зміна №2. URL: <http://kbu.org.ua/>(дата звернення: 12.05.2021).

20. Лановий О.Т., Виговська І.А. Удосконалення мережі автомобільних доріг загального користування України. *Ювілейна LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників*

відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Том 2
К. : НТУ, 2019. С. 298.

21. Протяжність і характеристика автомобільних доріг загального користування на 01.01.2018 року: [бюлетень]. Державне агентство автомобільних доріг України «Укравтодор» (офіційний сайт). - URL: <http://www.ukravtodor.gov.ua/> (дата звернення: 14.06.2019).

22. Технічний стан автомобільних доріг загального використання. Міністерство інфраструктури України : веб-сайт. URL: <https://mtu.gov.ua/content/tehnichniy-stan-avtomobilnih-dorig-avtomobilnih-dorigzagalnogo-vikoristannya.html> (дата звернення: 11.05.2020).

23. Ходикіна І.Ю., Шевчук І.О., Шевчук Я.В. Сучасний стан транспортних комунікацій та забезпеченість автомобільними дорогами країни. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів, 2011. Вип.21.6. С. 318-326.

24. Кудрицька Н.В. Транспортно-дорожній комплекс України: сучасний стан, проблеми та шляхи розвитку: [монографія]. - Київ, 2010. 338 с.

25. Мікловда В.П., Шевчук Я.В. Сучасний стан та рівень розвитку автомобільної інфраструктури України. *Науковий вісник Ужгородського університету*. Серія «Економіка». Вип. 32. – Ужгород, 2011. С. 6-13.

26. Поліщук В.П., Стратегічні спроможності управління безпекою дорожнього руху в Україні. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання: тези доповідей*. Львів, 2015. С. 42 – 45.

27. Дмитрієв І.А., Бурмака М.М. Стан та перспективи розвитку мережі автомобільних доріг загального користування. С. 64 - 72. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/6281/1/piprp_2013_1_14.pdf

28. Лановий О.Т., Виговська І.А. Ефективність функціонування транспортних систем: економіка організації дорожнього руху: навч. посіб. Київ, 2020. 200с.

29. 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.

30. Лановий О.Т., Виговська І.А. Удосконалення функціонування мережі автомобільних доріг загального користування України. *Вісник НТУ*. Київ, 2019 Вип. 1 (43). С. 84-91.

31. Лановий О.Т., Виговська І.А. «Функціонування міжнародних транспортних коридорів та їх роль в економіці країни». *Актуальні напрями розвитку технічного та виробничого потенціалу національної економіки: Монографія / за ред. В.О. Пінчук, Г.С. Прокудіна*. Дніпро: Пороги, 2021. 536 с. С. 489-500.

32. Поліщук В.П. Основні напрямки діяльності з організації дорожнього руху. *Безпека дорожнього руху України*: Київ, 2004. № 1-2. С. 69-71 (рос. мова).

33. Поліщук В.П., Хомяк Я.В., Ворончук Г.А. та ін. Схема розподілу транспортних потоків в напрямку дороги Київ-Харків на ділянці Київ-Пирятин. Звіт по НІР КАДІ, Інв. № Б63827. 1977. 178 с.

34. Поліщук В.П., Хом'як Я.В. Дослідження режимів руху на транспортних розв'язках. НТО. КАДІ, 1968, № г.р. 68079061, інв. № АО 25346. 74с. (рос. мова).

35. Лановий О.Т. Теоретичні основи та практичні методи забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг: дис. доктора техн. наук: 05.22.01 Київ, 2019 399с.

36. Неісвестний С.В., Пальчик А.М. Неізвесна Н.В., Додух К.М. Розроблення заходів з покращення дорожніх умов на ділянках автомобільних доріг на основі аналізу умов руху. *«Дороги і мости»*. 2021. Вип.24 С.159 – 168.

37. Sreelatha R., Roopalakshmi R. Highway Traffic Management System: Recent Trends and Future Challenges. *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing Systems (ICICS 2017 – Dec 15th - 16th 2017)* organized by Sona College of Technology, Salem, Tamilnadu, India, Available at SSRN: 9. 2017. pp. 239-247. DOI: [10.2139/ssrn.3122193](https://doi.org/10.2139/ssrn.3122193) (SCOPUS).

38. Система зважування в русі (Weigh in motion). Технічний звіт про роботу у 2019-2021 роках. URL: <https://bit.ly/wimrprt21> (дата звернення: 12.07.2022).
39. Корчевська А.А. До питання про вплив змін транспортної інфраструктури на характеристики транспортного потоку. *Вісник НТУ*. Київ, 2022. Вип. 3 (53) С.172-177.
40. Afrin T., Yodo N. A Survey of Road Traffic Congestion Measures towards a Sustainable and Resilient Transportation System. *Sustainability*, Switzerland. 2020. Vol. 12(11). DOI: [10.3390/su12114660](https://doi.org/10.3390/su12114660) (SCOPUS).
41. Транспортна стратегія України на період до 2020 року / Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року №2174-р. Міністерство інфраструктури України.
URL: <http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html>. (дата звернення: 02.09.2021).
42. Транспортна політика України та її наближення до норм Європейського Союзу / [Т. Сирийчик, А. Фургальські, Ч. Клімкевич, М. Камола та інш.]; за ред. Марчіна Свенчіцкі. - К.: Аналітично-дорадчий центр Блакитної стрічки, 2010. - 102 с.
43. Проект «Велике будівництво» - масштабна розбудова якісної інфраструктури України. URL: <https://bigbud.kmu.gov.ua/> (дата звернення: 12.09.2022).
44. Хомяк Я.В. Організація дорожнього руху: Вища шк., Київ, 1986. 271 с. [рос.мов].
45. Говорущенко Н.Я. Основи управління автомобільним транспортом: навчальний посібник. Харків, 1978. 224 с.[рос.мова].
46. Алексєєв О. П., Гурко А.Г. Технічні засоби управління рухом автотранспортних засобів. Проблеми пожежної безпеки: Харків, 1998. - Юб. вип. Частина 2. С. 29-34.
47. Поліщук В.П., Бакуліч О.О., Дзюба О.П., Єресов В.І, Красильнікова О.В, Лановий О.Т., Христенко О.В. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник. Київ, 2014.-467с.

48. Поліщук В.П. Стратегічні спроможності управління безпекою дорожнього руху в Україні. Всеукр. Наук.-теоретич. Конф. «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання»: тези доповідей. Львів, 2015. С. 42 – 45.
49. Каськів В.І., Шапенко Є.М., Гульчак О.Д., Вознюк А.Б. Обґрунтування факторів впливу на безпеку руху. «Дороги і мости». Київ, 2022. Вип. 23. С. 205-213.
50. Беленчук О.В., Бондар Т.В., Попович Н.І., Теплюк Є.Ф. Визначення рейтингу безпеки автомобільних доріг для обрання пріоритетності проведення їх перевірки безпеки. «Дороги і мости». 2022. Вип. 25. С. 222-230.
51. Поліщук В. П., Виговська І. А., Коревська А. 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> (дата звернення: 15.01.2023).
52. Виговська І.А. Щодо умов руху транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування. *Вісник НТУ*. Київ, 2022. Вип. 3 (53) С. 68-74.
53. Muhamediyeva, D.K., Mirzarahmedova, A., Khasanov, U.U. Fuzzy model of transport demand. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 365 ISSN 25550403. DOI: [10.1051/e3sconf/202336505013](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336505013) (SCOPUS).
54. Naser, I.H., Mahdi, M.B., Meqtoof, F.H., Etih, H.A. Modelling Trip Distribution Using the Gravity Model and Fratar's. *Method Mathematical Modelling of Engineering Problems* 2021. 8(2), pp. 230-236 DOI: [10.18280/mmep.080209](https://doi.org/10.18280/mmep.080209) (SCOPUS).
55. Miller E.J. Transportation Modeling *Urban Book Series*. 2021. pp. 911-931 DOI: [10.1007/978-981-15-8983-6_47](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_47) (SCOPUS).
56. van Nes, R., de Jong, G. Transport models. *Advances in Transport Policy and Planning* 2020. 6. pp. 101-128 DOI: [10.1016/bs.atpp.2020.08.001](https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2020.08.001) (SCOPUS).

57. Ambros J., Turek R., Elgner J., Krivankova Z., Valentova V. Effectiveness evaluation of section speed control in Czech Motorway work zones. *Safety*. 2020 Vol. 6(3). DOI: [10.3390/safety6030038](https://doi.org/10.3390/safety6030038) (SCOPUS).
58. Zhang Xingliang, Song Dandan, Liu Zhuo, Jing Yukun, Pu Jie, Yu Haitao. New Method for Calculating Traffic Delay Based on Modified BPR *Function Model Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2023. DOI: [10.1117/12.2678937](https://doi.org/10.1117/12.2678937) (SCOPUS).
59. M.J. Smith The existence uniqueness and stability of traffic equilibrium. «*Transp. Res.*». 1979. B 13. N4. p. 295-304.
60. Gaczorek J., Nawarrecki E. Zmodyfikowany heurystyczny algorytm wyboru drogi optymalnej. "Cas techn.". 1978. 82. No 6, 8. P. 12-7.
61. Jacobson L. N. Highway traffic operations and freeway management: State-of-the-practice. Final Report FHWA-OP-03-076// Office of Transportation Management Federal Highway Administration Room 3404 HOTM 400 Seventh Street, S.W. Washington D.C. 2003. 44 p.
62. Галушко В.О. Проблеми та перспективи розвитку дорожньої галузі. *Дорожня галузь України*. Київ, 2011. № 2. С. 12-15.
63. M. Zhuk, H. Pivtorak, V. Kovalyshyn, I. Gits Development of a multinomial logit-model to choose a transportation mode for intercity travel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – №3/3 (105). – P. 69 – 77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205868> (SCOPUS).
64. Хом'як А.Я., Старовойда В.П. Аналіз руху транспортних потоків на приміських дорогах. *Безпека дорожнього руху України*. Київ, 2000. № 2 (7). С. 29 – 32. [Donald R. Drew](#). Theory and management of traffic flows. McGraw Hill Text (January 1, 1968) 467 p.
65. Anani Shadi B., Cassidy Michael J Stationary models of unqueued traffic and number of freeway travel lanes. *Transportation Research Record*, 2005. Issue 1934, 256 – 263. DOI: [10.3141/1934-27](https://doi.org/10.3141/1934-27) (SCOPUS)
66. Skovajsa, J., Příbyl, O., Příbyl, P., Ščerba, M., Janota, A. Evaluation of a Mobile Highway Management System at Roadwork Zones. *International Journal of*

Engineering, Transactions B: Applications 2022. 35(5), pp. 900-907
DOI: [10.5829/ije.2022.35.05b.06](https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.05b.06) (SCOPUS).

67. Dixon, Wilfred J., and Massey, Frank J. Introduction to Statistical Analysis. McGraw-Hill, New York 1957, pp. 226-227.

68. Powell, J. D., & Logan, S. S. A mathematical model of traffic flow distribution. *Transportation Research Part B: Methodological*, 1985.19(5), 403-414.

69. Stephen G. Eubank *Transportation Networks: Dynamics and Simulation. AIP Conference Proceedings* 622, 3 July 2002, 251–264
URL: <https://doi.org/10.1063/1.1487541> (дата звернення: 07.01.2022).

70. Daganzo, C. F. Fundamentals of transportation and traffic operations. N.Y. : ElsevierScienceInc., 1997.

71. Daganzo C. F., Gayah V., Gonzales E. Macroscopic Relations of Urban Traffic Variables: Bifurcations, Multivaluedness and Instability. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2011. 45(1). pp. 278-288.

72. Zovak G., Kos G., Huzjan B. The Driver Behaviour and Impact of Speed on Road Safety on the Motorways in Croatia. *Promet -Traffic and Transportation*. 2017. Vol. 29(2), pp. 155-164. DOI: [10.7307/ptt.v29i2.2071](https://doi.org/10.7307/ptt.v29i2.2071) (SCOPUS).

73. Ackaah W., Huber G., Bogenberger K., Bertini R. Assessing the Harmonization Potential of Variable Speed Limit Systems. *Transportation Research Record*: 2016. pp. 129-138. DOI: [10.3141/2554-14](https://doi.org/10.3141/2554-14) (SCOPUS).

74. Cheng Gz., Cheng R. Optimizing speed limits upstream of freeway reconstruction and expansion work zones based on driver characteristics, *Journal of Transportation Engineering Part A Systems*, Vol. 146 (7) 2020. DOI: [10.1061/JTEPBS.0000389](https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000389) (SCOPUS).

75. Jia Bin, Jiang Rui, Wu Qing-Song. Traffic behavior near an off ramp in the cellular automation traffic model // *Phys. Rev. E*. 2004. 69, № 5, ч. 2, с. 056105/1 – 056105/7.

76. Han L., Zhang L., Guo W. Optimal Differential Variable Speed Limit Control in a Connected and Autonomous Vehicle Environment for Freeway Off-Ramp

Bottlenecks. *Journal of Transportation Engineering Part A: Systems*. 2023.Vol.149, N4 DOI: [10.1061/JTEPBS.TEENG-7456](https://doi.org/10.1061/JTEPBS.TEENG-7456) (SCOPUS).

77. Ou H., Tang T. Q. Impacts of moving bottlenecks on traffic flow, *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*. 2018 Vol. 500, pp. 131-138. DOI: [10.1016/j.physa.2018.02.044](https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.02.044) (SCOPUS).

78. Форнальчик Є. Ю. Моделювання транспортних потоків / Є. Ю Форнальчик, В. В. Гілевич, І. А. Могила. – Львів : В-во Львівської політехніки, 2020. – 216 с.

79. Peterson B.E. Calculation of capacity, queue length and delay in traffic facilities. *Traffic Eng. and Contr.* 1977. Vol.18. №6. P. 310-312.

80. Системологія на транспорті: Підручник: У 5 кн./ за заг. ред.. М.Ф. Дмитриченко.-К.: Знання України, 2005-Кн.1: Організація дорожнього руху / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля, О.Т. Лановий, І.Е. Линник, В.П. Поліщук-452 с.

81. Четверухін Б.М., Єресов В.І. Спектрально-корреляційна теорія транспортних потоків. *Автомобільні дороги та дорожнє будівництво*. Київ, 1983. № 33. С. 29 – 35. [рос.мова].

82. Полищук В.П., Хомяк Я.В., Белятинський А.А., Макаренко М.М., Середняк Я.І. Рекомендації по удосконаленню проектування доріг. *Автомобільний транспорт України*. Київ, 1974 №1. С. 17-21.

83. Системологія на транспорті: Підручник: У 5 кн./ За заг. ред. М.Ф. Дмитриченко. – К.: Знання України, 2005 – Кн. І: Основи теорії систем і управління/ Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля та ін. – 344с.

84. Лановий О.Т., Виговська І.А. Методи оцінки забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків автомобільними дорогами. *Вісник НТУ*. Вип. 1 (51) Київ, 2022. С.248-259.

85. Лановий О.Т., Виговська І.А. Оцінка функціонування автомобільних міжнародних автомобільних транспортних коридорів України. *Вісник НТУ*. Київ, 2020. Вип. 1(46) С. 163-173.

86. Полищук В.П., Хомяк Я.В., Белятинський А.А., Макаренко М.М., Середняк Я.І. Рекомендації по удосконаленню проектування доріг. *Автошляховик України*. Київ, 1974 №1. С. 17-21.
87. Полищук В.П., Лановий О.Т. Рівні зручності сумісного руху транзитних і місцевих потоків по обхідних кільцевих автомобільних дорогах. *Вісник Безпека дорожнього руху в Україні*. Київ, 1999. Вип.4(5). С. 42-45.
88. Середняк Я.І. Залежність між щільністю, швидкістю та інтенсивністю руху в різних дорожніх умовах. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 1970. Вип.7. С 33-40.
89. Середняк Я.І. Взаємозв'язок між інтенсивністю і щільністю. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 1977. Вип.21. С. 31-36.
90. Полищук В.П., Лановий О.Т., Єресов В.І., Куницька О.М. Корчевська А.А., Корчевський А.О. Моделювання умов небезпеки дорожнього руху для його учасників. *Наукові нотатки*, Луцьк, 2016. Вип.55. С. 298-304.
91. Потійчук О.Б., Піліпака Л.М. Транспортні розв'язки : навч. посіб. [електронне видання]. Рівне, 2020. 263 с. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/19648/1/tr_posib_2.pdf (дата звернення: 11.12.2021).
92. Полищук В.П., Єресов В.І. Квантифікація параметрів дорожньо-транспортної ситуації через визначення небезпек для учасників дорожнього руху. *International Scientific and Practical Conference "WORLD Scientific", Multidisciplinary Scientific Edition, U.A.E, 2016, p. 40 – 45.*
93. Тарасюк В.П. Принципи та методи оцінки впливу енерговитрат транспортного потоку при обґрунтуванні вибору інженерно-планувального рішення транспортно-планувальних вузлів (на прикладі м. Києва): дис. канд. техн. наук: спец. 05.23.20 «Містобудування та територіальне планування». Київ, 2018. 150 с.
94. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах. навч. посіб. для студ. напрямку «Транспортних технологій» ВНЗ. Київ, 2008. 400с.

95. Яцківський Л.Ю., Зеркалов Д.В. Загальний курс транспорту: Навчальний посібник. Київ, 2007. 544 с.
96. Янчук М.Б., Соловйова О.О., Савченко Л.В. Взаємодія видів транспорту в мультимодальних системах: підручник. Київ, 2021. 220с.
97. Поліщук В.П., Душнік В.Ф. До питання про стримування транспортного потоку на підході до зон заспокоєного руху. *Безпека дорожнього руху в Україні*. Київ, 2001. Вип. 3(11). С.17-20.
98. Поліщук В.П., О.П. Дзюба. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. Київ, 2008. 175с.
99. Лановий О.Т., Кисельов В.Б., Виговська І.А. Новітня оцінка умов руху транспортних потоків автомобільними дорогами «Тріада дорожнього руху». *Вісник НТУ*. Вип. 1 (48) Київ, 2021. С. 166-177.
100. Системологія на транспорті: Підручник: У 5 кн./ За заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2005 – Кн. 3: Дослідження операцій у транспортних системах/ Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля та ін. – 375с.
101. Vaziri, M. Traffic Flow Characteristics of Isolated Off-ramps in Iranian Expressways. *International Journal of Engineering*. 1998. Vol. 11(3). pp. 135-146
URL: https://www.ije.ir/article_71206_0e9fd21dd7a5024b15497b16d1bbc2ed.pdf.
102. 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>
103. 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.

104. Гурч Л.М., Коляда О.О., Виговська І.А. Організація проведення наукових досліджень при виконанні випускних кваліфікаційних робіт. *Вісник НТУ*. Київ, 2022. Вип. 2 (52) С. 112-118.

105. Системологія на транспорті: Підручник: У 5 кн./ За заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2005 – Кн. II: Технологія наукових досліджень і технічної творчості/ Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля та ін. – 344с.

106. Осипов В.О. Удосконалення методу оцінки безпеки дорожнього руху на окремих ділянках автомобільних доріг.: дис. канд. тех. наук. Київ, 2017. 245с.

107. Білятинський А.О. Доріжки руху на дорогах з рухом по трьох смугах. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 1969 Вип. 5. С. 6-11.

108. Білятинський А.О., Тодоренко Н.Е., Ткачук Н.А. Експериментальні дослідження закономірностей руху по трьох полосах на підходах до міста. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 1969. Вип. 5.С. 3-7. [рос.мов].

109. Дуднікова Н.М. Розкриття умов руху транспортного потоку на ділянках автомагістралей. *Восточний-Європейський журнал передових технологій*. Харків, 2011. Том 2. С 56-64 URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2011_2%286%29_16 (дата звернення: 22.09.2020).

110. Коваленко Л.А. Оцінка пропускної здатності двосмугових автомобільних доріг з урахуванням закономірностей поведінки водія: автореф. дис. канд. тех. наук: спец. 05.22.11 «Автомобільні дороги і аеродроми». Харків. 2003. 18 с.[рос.мова].

111. Polischuk V.P., Vyhovska I.A. Mathematical Model of Traffic Flow Distribution Across the Roads Network. *World Science*. 2022. No. 6(78). URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122022/7994 (date of access: 18.01.2023).

112. PTV Group: an official site. URL: <http://www.ptv.de> (дата звернення: 18.01.2022).

113. Офіційний сайт Корпорация AGA Group. URL: <http://www.againc.nct/ru> (дата звернення: 10.03.2021).
114. Абрамова Л.С., Ширін В.В. Моделювання і оптимізація транспортної мережі. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2006. № 2/2 (20). С. 98-101 [рос.мова].
115. Абрамова Л.С., Чернобаев М.С. Аналіз методів прогнозування інтенсивності транспортного потоку. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Харків, 2006. № 6. С.158-163.
116. Абрамова Л.С., Чернобаев Н.С., Ширин В.В. Моделювання параметрів транспортних потоків. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2004. № 6(12). С. 213-215 [рос.мова].
117. Осетрін, М. М., Беспалов Д.О., Дорош М.І. Основні принципи створення транспортної моделі міста URL: <https://bespalov.me/> (дата звернення: 15.06.2022).
118. Сохацький А.В., Леснікова І.Ю., Трофімов О.В., Халіпова Н.В., Кузьменко А.І. Моделювання в транспортних технологіях. Частина I : монографія / за ред. А. В. Сохацького. Дніпро, 2022. 182 с. URL: <http://biblio.umsf.dp.ua/jspui/bitstream/123456789/4793/1/%D0%A1%D0%BE%D1%85%D0%B0%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F.pdf> (дата звернення:04.01.2023).
119. Беспалов Д. Методы моделирования транспортных потоков. URL: <https://bespalov.me/2012/07/16/metody-modelirovaniya-transportnyh-potokov/> (дата звернення:14.12.2022).
120. Kane L., Behrens R. Transport planning models – an historical and critical review. Urban Transport Research Group, University of Cape Town – [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/7834/037.pdf?sequence=1>. (дата звернення:02.10.2019).

121. Абрамова Л.С. Теоретичні основи формування розподілених систем управління дорожнім рухом у містах.: дис. доктор тех. Наук. Харків, 2020. 418с.

122. Гук В. І. Транспортні потоки : теорія та їх застосування в урбаністиці: моногр. / В. І. Гук, Ю. М. Шкодовський. – Харків : Золоті сторінки, 2009. – 232 с.

123. 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>

124. 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»*. (29 - 30 листопада 2022р., м. Київ). Київ, 2022 С.185-190. URL: [ITS ESQC - Матеріали конференції \(google.com\)](https://its-esqc.com.ua/materials).

125. Stephen G. Eubank Transportation Networks: Dynamics and Simulation. *AIP Conference Proceedings* 622, 3 July 2002, 251–264 URL: <https://doi.org/10.1063/1.1487541> (дата звернення: 07.01.2022).

126. 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.

ДОДАТОК А МАТРИЦЯ ЗВ'ЯЗКІВ

k/z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52				
1	1		1		1		1						1				1		1																																					
2	1		1												1		1		1					1							1		1				1																			
3	1		1														1		1						1								1				1		1																	
4	1		1															1		1		1											1				1		1		1															
5	1		1		1										1		1		1										1		1				1		1																			
6	1		1		1													1		1															1		1		1				1		1											
7	1		1		1													1		1		1						1				1			1		1																			
8	1		1		1												1		1						1		1					1			1		1																			
9	1																		1		1																						1					1					1			

k – номер маршруту руху транспортних потоків

Додаток А.2

[illegible]

[illegible]

z/q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
43																					1			1																												
44																																										1		1								
45																																								1				1								
46																																																				
47																																																				
48																																																				
49																																																				
50																																																				
51																																																				
52		1	1																																																	

z - номер перегону, за яким транспортний потік входить на перехрестя;

q - номер перегону, за яким транспортний потік виходить із перехрестя.

ДОДАТОК Б СКАНКОПІЇ ДОВІДКИ ПРО
ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

020841



УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. М.Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010, т.ф. +38 (044) 280 82 03, т. +38 (044) 280 87 65
 e-mail: general@ntu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070915

14.06.2023 № 1016/08-21

на № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи Виговської Інни Анатоліївни було 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».

Проректор з навчальної роботи
 канд. тех. наук, доцент

Віталій ХАРУТА

Декан факультету транспортних та
 інформаційних технологій НТУ
 доктор фіз.-мат. наук, професор

Віктор ДАНЧУК





ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ
ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ДЕРЖАВНИЙ ДОРОЖНІЙ
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ М.П. ШУЛЬГІНА»
(ДП «ДерждорНДІ»)

проспект Берестейський, 57, м. Київ, 03113, тел., факс (044) 456 34 15

імейл: dornauka@dorndi.org.ua, вебсайт: www.dorndi.org.ua, фейсбук: www.facebook.com/dorndi

код ЄДРПОУ 03450778

08.06.2023 № 19.2-М-610

на № _____ від _____

ДОВІДКА

Результати досліджень, які відображені у дисертаційній роботі здобувача кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету Виговської Інни Анатоліївни, 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).

За результатами цієї наукової роботи було розроблено і впроваджено ДСТУ 9114:2021 «Безпека дорожнього руху. Маршрутне орієнтування на автомобільних дорогах».

Перший заступник директора
ДП «ДерждорНДІ», к.т.н.



Анатолій ЦИНКА

033204

ДОВІДКА

Дана довідка підтверджує, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету Виговської Інни Анатоліївни були впроваджені в Службі відновлення та розвитку інфраструктури у Київській області під час розроблення тимчасових схем організації дорожнього руху (далі – ОДР), які було впроваджено на автомобільних дорогах загального користування державного значення під час виконання дорожніх робіт на них.

Начальник відділу ремонту
та експлуатаційного утримання
автомобільних доріг, штучних споруд
та безпеки автомобільних доріг



Костянтин ОДИНЕЦЬ



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ГРАНБУД ЛІДЕР»
(ТОВ «ГРАНБУД ЛІДЕР»)

01133, Україна, м. Київ, бул. Лесі Українки, будинок, 34, офіс 305
код: 42109243 тел. (097) 793-30-36 e-mail: granbud.lider@gmail.com

№ 06/12/02

12 червня 2023 року

ДОВІДКА

Наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційних досліджень Виговської Інни Анатоліївни отримали практичне застосування в ТОВ «Гранбуд Лідер» при розробленні тимчасових схем організації дорожнього руху, які було використано під час експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування державного значення Кіровоградської області.

Директор,
канд. техн. наук, доцент

Віталій СТЬОЖКА



ДОДАТОК В СКАНКОПІЇ СВДОЦТВ
АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 100473

Літературний письмовий твір наукового характеру «Дослідження відповідності ділянок автомобільних міжнародних та національних транспортних коридорів одночасному руху міжнародних, національних та місцевих транспортних потоків»

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Лановий Олександр Тимофійович, Виговська Інна Анатоліївна

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Національний транспортний університет, вул. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 16 листопада 2020 р.

**Генеральний директор
Державного підприємства
«Український інститут
інтелектуальної власності»**

Андрій КУДІН



М.П.

ІПК «Україна» - Зам. 20-2002. 2020 р. 11 кб.

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 111954

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»

(вид, назва твору)

Автор(и) Поліщук Володимир Петрович, Лановий Олександр Тимофійович, Янішевський Сергій Володимирович, Дзюба Олександр Петрович, Корчевська Аліна Анатоліївна, Коляда Оксана Олександрівна, Виговська Ірина Анатоліївна, Нагребельна Людмила Павлівна

(повне ім'я, по-своєму (за наявності))

Дата реєстрації 21 лютого 2022 р.

Генеральний директор
Державного підприємства
«Український інститут
інтелектуальної власності»


 Андрій КУДІН



УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 120184

Стаття «Моделювання розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг»

(вид, назва твору)

Автор(и) Поліщук Володимир Петрович, Виговська Інна Анатоліївна, Корчевська Аліна Анатоліївна, Нагребельна Людмила Павліна

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Дата реєстрації 29 червня 2023 р.

Директор
Державної організації
«Український національний
офіс інтелектуальної власності
та інновацій»

 Олена ОРЛЮК


М.П.

ДОДАТОК Г СПИСОК ПОБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА
ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО
АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

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.