

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

КОРЧЕВСЬКА АЛІНА АНАТОЛІЇВНА

УДК 656.13:625.7/.8

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ НА ПІДХОДАХ ДО МІСТ В УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

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
_____ А.А. Корчевська

Науковий керівник –

Поліщук Володимир Петрович

доктор технічних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації

Затверджую

В. А. вченого секретаря

спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02

_____ О. М. Ложачевська



Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Корчевська А.А. Удосконалення методу управління дорожнім рухом на підходах до міст в умовах функціонування автоматизованих систем. — 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, 2025.

Обґрунтовано актуальність обраної теми та представлено нове рішення актуального питання; окреслено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету й задачі дослідження; визначено об'єкт, предмет і методи дослідження; висвітлено наукову новизну, наукове, теоретичне і практичне значення отриманих результатів; розкрито особистий внесок здобувача; наведено публікації. Розроблено алгоритм оперативного управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст.

У результаті аналізу існуючих методів управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст було виявлено що найбільш ефективними в європейському контексті є інтегровані інтелектуальні транспортні системи, які базуються на багаторівневому зборі даних, прогнозуванні заторів, автоматичному регулюванні руху та оперативному інформуванні учасників дорожнього руху.

У ході аналізу просторово-часового розподілу дорожньо-транспортних пригод було встановлено, що на підходах до значних і найзначніших міст аварійність має чітку тенденцію до зростання при наближенні до межі міста.

Згідно з проведеним аналізом, для міста Києва, понад 50 % усіх зафіксованих дорожньо-транспортних пригод сконцентровано в межах 30-кілометрової зони віддаленості від межі міста, що свідчить про наявність підвищеного ризику аварійності на ділянці підходу до міста. Таким чином,

методику оцінки рівня аварійності удосконалено шляхом урахування концентрації дорожньо-транспортних пригод у зоні впливу міської агломерації, що, зокрема, дозволяє більш обґрунтовано визначати довжину контрольної ділянки підходу (наприклад, для Києва — 30 км), локалізувати найбільш небезпечні зони з урахуванням функціональної характеристики ділянок підходу до міста, застосовувати адаптивні заходи організації та управління дорожнім рухом саме у межах виявленої критичної зони.

Запропонований підхід може бути масштабовано на інші міста шляхом аналогічного аналізу, що забезпечує єдиний підхід до визначення ділянок підвищеної аварійності на підходах до міст.

Розроблена модель управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст дозволяє динамічно оцінювати пропускну здатність та раціональну швидкість руху, виходячи з реального складу транспортного потоку та конфігурації ділянки автомобільної дороги. Це створює передумови для впровадження інтелектуальних транспортних систем на ділянках підходів до значних та найзначніших міст для ефективного управління транспортними потоками, зокрема в рамках систем адаптивного управління дорожнім рухом.

Розроблена методика оперативного управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст базується на використанні інформаційного забезпечення в рамках автоматизованої системи управління дорожнім рухом, дозволяє зменшити транспортні затримки, підвищити середню швидкість руху транспортного потоку та підвищити ефективність використання дорожньої інфраструктури.

Як засвідчили результати моделювання, якщо в існуючих умовах величина середньої швидкості транспортного потоку становить 63,7 км/год при середньому часі затримки одного транспортного засобу 40,84 с, то при виникненні перешкоди для руху прогнозована середня швидкість на ділянці зменшується до 63,1 км/год, а середній час затримки збільшується до 45,54 с. В свою чергу, за рахунок реалізації запропонованих заходів, що пропонуються

(управління швидкістю руху на ділянці за рахунок інформаційних табло), очікується збільшення середньої швидкості до 68,83 км/год та зменшення середнього часу затримки 37,57 с.

У подальших дослідженнях доцільним є формалізація алгоритмів управління критичними ситуаціями та їх інтеграція в програмно-технічні рішення автоматизованої системи управління дорожнім рухом для забезпечення адаптивного та динамічного реагування на зміну параметрів транспортного потоку.

Ключові слова: автоматизована система, автомобільна дорога, безпека руху, інтенсивність руху, імітаційна модель, пропускна здатність, транспортний потік, транспортний засіб, транспортна система, управління транспортними потоками, швидкість.

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. Hulchak O, Vyhovska I, Nahrebelna L, Korchevska A. Ensuring Consistent Traffic Management Through Information Support on Road Approach Sections to Major Cities. *European Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2025. Vol. 5.

URL: <https://doi.org/10.31435/ejits.5.2025.3340>

2. Оксана Гульчак, Інна Виговська, Аліна Корчевська. Методика оперативного управління дорожнім рухом при виникненні критичних ситуацій за рахунок інформаційного забезпечення. Multidisciplinary international scientific magazine «Věda a perspektivy» is registered in the Czech Republic. 2025. №5 (48). С. 243 – 258.

URL: [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2025-5\(48\)](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2025-5(48))

3. Куницька О.М., Корчевська А.А. Конфлікти, що виникають у дорожньому русі, дорожньо-транспортні ситуації та дорожньо-транспортні пригоди. *World Science*. 2016. Vol.1. № 10 (14), С. 38-40.

URL: <https://rsglobal.pl/index.php/ws/issue/view/51/51>

Статті у фахових виданнях України:

4. Hulchak O, Popov S, Nahrebelna L, Korchevska A Distribution of Traffic Speeds on the Approaches to Major and Most Significant Cities. *Transport Technologies*. 2025. Vol.6(1), 48–60.

URL: <https://doi.org/10.23939/tt2025.01.048>

5. Поліщук В.П., Виговська І.А., Нагребельна Л.П. Корчевська А.А. Моделювання розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг. *Дороги і мости*. 2023 – Вип. 27 (2023). С. 253–266.

URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.253>

6. Янішевський С.В., Білоног О.Є., Корчевська А.А. Обмеження швидкості транспортних засобів в містах для підвищення безпеки вразливих учасників дорожнього руху. *Вісник НТУ*. 2023 Вип. 1 (55). С. 316-325.

URL: <http://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-335-347>

7. Корчевська А.А. До питання про вплив змін транспортної інфраструктури на характеристики транспортного потоку. *Вісник НТУ*. 2022. Вип. 3 (53) С.172-177.

URL: <http://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-3-53-172-177>

8. Дзюба О.П., Корчевська А.А., Шевченко А.Т. Аналіз впровадження інтелектуальних транспортних систем в європейських містах. *Вісник НТУ*. 2022. Вип. 1 (48). С. 193-200.

URL: <http://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-1-51-193-200>

9. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А. Покращення безпеки дорожнього руху за допомогою автоматизованого управління дорожнім рухом. *Вісник НТУ*. 2021. Вип. 1 (48). С. 233-241.

URL: <http://doi.org/10.33744/2308-6645-2021-1-48-233-241>

10. Поліщук В.П., Лановий О.Т., Єресов В.І., Куницька О.М., Корчевська А.А., Корчевський А.О. Удосконалення методів забезпечення безпеки учасників дорожнього руху. *Управління проєктами, системний аналіз і логістика*. 2015. Вип. 15. С. 129-132.

11. Поліщук В.П., Корчевська А.А. До питання про функціонування системи « перехрестя + зупиночний пункт – транспортний потік ». *Вісник НТУ*. 2012. Вип. 26 С. 259-262.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/26_2_2013/259-262.pdf

Опубліковані праці апробаційного характеру:

12. Nahrebelna, L., Kostrulyova, T., Korchevska, A., Shpin, D. Improving Traffic Safety with Using a Promising Extrapolation Method. *Proceedings of the 2nd International Conference «Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort»*. Kyiv, Ukraine. 2025. P. 183-193.

URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-87379-9> (Scopus)

13. Гульчак О.Д., Нагребельна Л.П., Кострульова Т.С., Корчевська А.А. Як зменшити затори на підходах до міст та у містах. *Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Internet Conference*, April 3-4, 2025. FOP Marenichenko V.V., Dnipro, Ukraine. P. 63-66.

14. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А. Дорожній рух як об'єкт управління системою «Дорожні умови – транспортні потоки». *Тези Міжнародна науково науково-практична конференція «Інноваційні підходи у відновленні транспортної інфраструктури в особливих умовах воєнного стану: виклики та перспективи» (23-24 жовтня 2024 р.)* 2024. С. 529-532.

URL:

<https://drive.google.com/file/d/119CSuU4Cu0QEYWXszdIklaOXf4FnYlyU/view>

15. Корчевська А.А., Виговська І.А., Смаглюк Р.В. Моделювання та аналіз транспортного потоку на регульованому перехресті в програмному середовищі PTV Vissim. *79-та наукова конференція професорсько-*

викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. К., НТУ, 2023. С. 59.

URL: https://drive.google.com/file/d/1oCZ0c6h_jAHE-xpYJQjC5b-yZ_B5TFp_/view

16. 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, 2023. С. 185-190. ISBN: 978-966-632-318-0 (Online)

URL: <http://doi.org/10.33744/978-966-632-318-0-2022-3>

17. Корчевська А.А. Управління дорожнім рухом в містах на основі моніторингу за ділянками підходу автомобільних доріг до них. *LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К., НТУ, 2021. С. 472.

URL: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-77.pdf>

18. Корчевська А.А. Інформаційне забезпечення автоматизованих систем управління дорожнім рухом на автомобільних. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К., НТУ, 2020. 536 с.

URL: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-76.pdf>

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

19. Поліщук В.П., Виговська І.А., Корчевська 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>

20. Поліщук В.П., Корчевська А.А., Нагребельна Л.П. Визначення середніх і рекомендованих швидкостей руху на підходах до значних та найзначніших міст в залежності від умов при управлінні рухом. *Актуальні напрями розвитку технічного та виробничого потенціалу національної економіки: монографія*. Дніпро: Пороги, 2021. 536 с. ISBN 978-617-518-399-1 (183-209 с.)

21. Polishchuk V., Yanishevskiy S., Bilonoh O., Nahrebelna L., Trushevsky V., Korchevska A., Semenchenko O., Vyhovska I. Expert assessment of engineering and planning solutions to improve the safety of vulnerable road users in Ukraine. *Expert assessments in decision making: risks and safety: collective monograph*.. Tallinn: Scientific Route OÜ, 2023. P. 154-206.

URL: <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1.ch6> (Scopus)

Свідоцтва та патенти:

22. Літературний письмовий твір наукового характеру «Визначення середніх і рекомендованих швидкостей руху на підходах до значних та найзначніших міст в залежності від умов при управлінні рухом». Автори: Поліщук В.П., Корчевська А.А., Нагребельна Л.П. Свідоцтво про реєстрацію авторського права №111955. Дата реєстрації 21 лютого 2022 р.

ABSTRACTS.

Korchevska Alina. Improving the Method of Traffic Control on the Approaches to Cities in the Conditions of Automated Systems. A qualifying scientific work on the rights of 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, 2025.

The relevance of the chosen topic is substantiated, and a novel solution to a pressing issue is presented. The connection of the work with scientific programs, plans, and themes is outlined. The research's aim and objectives are formulated; the

object, subject, and methods of the study are defined. The scientific novelty, as well as the scientific, theoretical, and practical significance of the obtained results, are highlighted. The applicant's personal contribution is disclosed, and publications are listed. An algorithm for operational traffic management on sections of road approaches to major and largest cities has been developed.

As a result of analyzing existing traffic management methods on road approach sections to major and largest cities, it was found that the most effective solutions in the European context are integrated intelligent transport systems. These systems are based on multi-level data collection, congestion prediction, automatic traffic regulation, and real-time information dissemination to road users.

During the analysis of the spatiotemporal distribution of road traffic accidents, it was established that on approaches to major and largest cities, accident rates show a clear tendency to increase as one approaches the city limits.

According to the conducted analysis for the city of Kyiv, over 50% of all recorded road traffic accidents are concentrated within a 30-kilometer zone from the city limits, which indicates an increased risk of accidents on the city approach sections. Thus, the methodology for assessing the accident level has been improved by considering the concentration of road traffic accidents in the urban agglomeration's influence zone. This, in particular, allows for a more substantiated determination of the control section length for approaches (e.g., 30 km for Kyiv), localization of the most dangerous areas taking into account the functional characteristics of city approach sections, and application of adaptive traffic organization and management measures specifically within the identified critical zone.

The proposed approach can be scaled to other cities through a similar analysis, ensuring a unified approach to identifying high-accident rate sections on city approaches.

The developed traffic management model for road approach sections to major and largest cities allows for dynamic evaluation of traffic capacity and rational vehicle speed, based on the actual composition of the traffic flow and the

configuration of the road section. This creates prerequisites for the implementation of intelligent transport systems on approaches to major and largest cities for effective traffic flow management, particularly within adaptive traffic control systems.

The developed method for operational traffic management on road approach sections to major and largest cities is based on the use of information support within an automated traffic management system. It allows for the reduction of traffic delays, an increase in the average speed of the traffic flow, and an improvement in the efficiency of road infrastructure utilization.

As demonstrated by the modeling results, if under existing conditions the average speed of the traffic flow is 63.7 km/h with an average vehicle delay time of 40.84 s, then upon the occurrence of an obstacle, the predicted average speed on the section decreases to 63.1 km/h, and the average delay time increases to 45.54 s. In turn, due to the implementation of the proposed measures (traffic speed management on the section using information displays), an increase in average speed to 68.83 km/h and a decrease in average delay time to 37.57 s are expected.

In further research, it is advisable to formalize algorithms for managing critical situations and integrate them into software and hardware solutions of an automated traffic management system to ensure adaptive and dynamic response to changes in traffic flow parameters.

Keywords: Automated Systems, Road, Traffic Safety, Traffic Intensity, Traffic Flow, Simulation Model, Speed, Vehicle, Transport System, Traffic Capacity, Traffic Flow Management.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАК.....	14
ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ.....	14
ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ НА ПІДХОДАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ДО МІСТ.....	22
1.1 Аналіз впровадження автоматизованих систем управління дорожнім рухом на підходах до міст.....	22
1.2 Аналіз існуючих досліджень щодо управління транспортними потоками на автомобільних дорогах.....	34
1.3 Основні принципи та методи управління рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст	43
1.4 Оцінка умов руху на ділянках підходу автомобільних доріг до міст	50
Висновки до розділу 1.....	57
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПІДХОДАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ДО МІСТ.....	58
2.1 Обґрунтування довжини ділянки підходу автомобільних доріг до міст	58
2.2 Аналіз статистики дорожньо-транспортних пригод на ділянках підходу автомобільних доріг до міст на прикладі міста Києва.....	62
2.3 Математична модель управління дорожнім рухом у різних критичних ситуаціях на ділянках підходу автомобільних доріг до міст.....	73
2.4 Обґрунтування середніх швидкостей руху на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст в залежності від умов руху	96
Висновки до розділу 2.....	104

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ДІЛЯНКАХ ПІДХОДУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ДО МІСТ.....	106
3.1 Управління дорожнім рухом при виникненні критичних ситуацій з урахуванням інформаційного забезпечення.....	106
3.2 Модельний експеримент управління дорожнім рухом при виникненні критичних ситуацій на ділянці підходу автомобільних доріг до міст	112
3.3 Експериментальні дослідження режимів руху транспортних потоків на ділянці підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст.....	116
3.4 Результати моделювання руху транспортних потоків на досліджуваній ділянці.....	117
3.5 Аналіз результатів моделювання.....	124
Висновки до розділу 3.....	126
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ НА ДІЛЯНКАХ ПІДХОДУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ДО МІСТ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	127
4.1 Визначення показників системи «дорожні умови – транспортні потоки».....	127
4.2 Послідовність обробки інформації в системі «Дорожні умови – транспортні потоки».....	130
4.3 Структура автоматичного збирання інформації про дорожній рух	138
4.4 Методика управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст за допомогою інформаційного забезпечення.....	145
Висновки до розділу 4.....	151
ВИСНОВКИ.....	152
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	155

ДОДАТОК А ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ.....	177
ДОДАТОК Б ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....	184
ДОДАТОК В СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....	189

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАК

АСУДР – автоматизована система управління дорожнім рухом;

ITS – інтелектуальна транспортна система;

ОДР – організація дорожнього руху;

МТЗ – маршрутні транспортні засоби;

а/д – автомобільна дорога;

ДТП – дорожньо-транспортна пригода;

КП – контрольний пункт;

ДІТ – дорожнє інформаційне табло;

ППД – прилади передачі даних.

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Критична ситуація – це ситуація, яка виникла на ділянці автомобільної дороги та потребує негайних управлінських рішень. До таких ситуацій відноситься виникнення ДТП, проведення дорожніх робіт, наявність недостатня видимість, вологе покриття, ожеледиця тощо.

Підхід до міста – це ділянка автомобільної дороги загального користування державного або місцевого значення, що забезпечує безперервне транспортне сполучення з межами населеного пункту (міста), функціонально пов'язана з основною дорожньою мережею та інтегрується у вулично-дорожню мережу міста.

Значні та найзначніші міста – це міста, населення у яких становить понад 800 тис. осіб та 500 – 800 тис. осіб відповідно. Зазначене поняття взято із ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій».

ВСТУП

Актуальність теми. Зростання кількості транспортних засобів та інтенсивності руху створює низку проблем, які пов'язані із необхідністю забезпечення безпеки дорожнього руху на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст.

Одним з найперспективніших шляхів розв'язання задач, пов'язаних з ефективною роботою автомобільного транспорту та підвищенням безпеки дорожнього руху, є застосування сучасних методів та засобів організації дорожнього руху, насамперед, автоматизованих систем управління дорожнім рухом (далі – АСУДР) або інтелектуальних транспортних систем (далі – ITS). Найважливіше значення при розробці таких систем має моніторинг дорожнього руху в режимі реального часу.

Інтелектуальна транспортна система – це системна інтеграція сучасних інформаційних, комунікаційних технологій і засобів автоматизації з транспортною інфраструктурою, транспортними засобами та користувачами, яка орієнтована на підвищення безпеки й ефективності транспортного процесу, комфортності для водіїв та користувачів транспорту.

На ділянках підходу до значних та найзначніших міст зменшується швидкість руху, оскільки потік входить у місто, де діє обмеження швидкості руху 50 км/год. Оскільки щільність транспортного потоку на підходах до міста змінюється, тобто утворюються щільні транспортні потоки, то як наслідок збільшується ризик виникнення дорожньо-транспортних пригод (далі – ДТП). Тому виникає необхідність в удосконаленні методів управління транспортними потоками на ділянках підходу до міста.

Дослідженням транспортних потоків на підходах до значних та найзначніших міст, вивченням закономірностей їх формування та аналізом особливостей функціонування таких ділянок займалося досить багато вітчизняних та закордонних вчених.

Традиційні підходи вже не забезпечують належного рівня ефективності, що призводить до заторів, зростання аварійності, екологічних і економічних втрат. У зв'язку з цим впровадження сучасних автоматизованих систем управління дорожнім рухом потребує наукового обґрунтування нових методів та алгоритмів регулювання руху.

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

Теоретичні та практичні дослідження проведено в межах науково-дослідної тематики кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету, відповідно до виконання наукових тем:

- «Розробка концепції логістичного управління процесами перевезень і безпекою дорожнього руху в транспортних системах України» (2015 р., № РК 0115U001582);
- «Транспортно-логістичне управління вантажними і пасажирськими перевезеннями автомобільним транспортом», (2020 – 2022 рр., № РК 0120U104757);
- Міжнародного проєкту Master in SMArt transport and LOGistics for cities (SMALOG) action «Capacity Building in higher education» в рамках програми ЄС Еразмус+/KA2, що підтримує проєкти, партнерства, заходи і мобільність у сфері освіти, підготовки, молоді і спорту. Номер проєкту 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP. Сайт проєкту: <http://smalog-2017.uniroma2.it>. Термін реалізації проєкту 10/2017-10/2021;
- «Стратегія розвитку транспортно-логістичних систем в умовах післявоєнного відновлення міст України» (2023-2025 рр., № РК 0123U101105).

Мета та завдання досліджень.

Мета роботи полягає в удосконаленні методу управління дорожнім рухом на підходах до міст в умовах функціонування автоматизованих систем управління дорожнім рухом на основі розробленої моделі управління дорожнім рухом.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати існуючі методи управління дорожнім рухом на підходах до міст в умовах функціонування автоматизованих систем.
2. Розробити математичну модель адаптивного управління рухом транспортних потоків на підходах до міст з урахуванням реального часу.
3. Удосконалити метод оперативного управління на основі моделювання руху транспортних потоків з урахуванням реального часу.
4. Розробити методику управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст, на основі математичної моделі та удосконаленого методу оперативного управління, що дозволить зменшити транспортні затримки, підвищити середню швидкість руху транспортного потоку та підвищити ефективність використання дорожньої інфраструктури.

Об’єкт досліджень – процес руху транспортних потоків на ділянках підходу автомобільних доріг до міст в умовах функціонування автоматизованих систем управління дорожнім рухом.

Предмет досліджень – методи управління дорожнім рухом в умовах функціонування автоматизованих систем управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст.

Методи дослідження: для вирішення поставлених у роботі задач використано наступні методи: натурні спостереження, теорія транспортних потоків, теорія транспортних процесів і систем, метод математичної статистики, метод регресійного аналізу, імітаційного моделювання. Дослідження виконувались із використанням сучасного програмного забезпечення PTV VISSIM.

Наукова новизна отриманих результатів.

Основний науковий результат дисертації полягає в підвищенні безпеки дорожнього руху на ділянках підходів автомобільних доріг до міст, на основі застосування сучасних методів та засобів організації дорожнього руху, насамперед, АСУДР або ITS. Найважливіше значення при розробленні таких систем має моніторинг дорожнього руху в режимі реального часу:

- вперше розроблено модель управління дорожнім рухом на ділянках

підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст, що дозволяє зменшити транспортні затримки, підвищити середню швидкість руху транспортного потоку та підвищити ефективність використання дорожньої інфраструктури;

- удосконалено метод управління дорожнім рухом з урахуванням реального часу, що дозволяє оптимізувати параметри регулювання залежно від транспортної ситуації на ділянках підходу автомобільних доріг до міст, що дозволяє підвищити ефективність функціонування системи «Дорожні умови – транспортні потоки»;

- отримав подальший розвиток метод визначення пропускнуої здатності ділянок доріг на підходах до міста у різних «критичних ситуаціях», з інтеграцією даних з різних джерел для оперативного реагування АСУДР в умовах реального часу.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблена методика управління дорожнім рухом на основі математичної моделі та удосконаленого методу оперативного управління, при виникненні критичних ситуацій дозволить зменшити утворення заторів, підвищити безпеку дорожнього руху та скоротити витрати часу на пересування на ділянках підходу автомобільних доріг до міст.

Практичні рекомендації дисертаційних досліджень отримали застосування в ТОВ «Гранбуд Лідер» та у Службі відновлення та розвитку інфраструктури у Київській області при розроблені тимчасових схем організації дорожнього руху, де було використано метод встановлення знаків змінної інформації під час проведення дорожніх робіт на автомобільних дорогах загального користування державного значення Кіровоградської та Київської областей.

Результати дисертаційної роботи були використані під час виконання науково-дослідної роботи за темою: «Виконати аналіз та переглянути ДСТУ 4100:2014 «Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування» для удосконалення нормативної бази

дорожнього господарства щодо безпеки дорожнього руху (Договір від 26.09.2019 № БДР-175/09-19).

Матеріали досліджень були впроваджені у навчальний процес в Національному транспортному університеті, а саме при викладанні дисциплін «Управління дорожнім рухом» для студентів за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)» спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» освітньо-професійної програми «Розумний транспорт та логістика для міст», «Дорожні умови та безпека руху (Спецкурс)» для студентів за спеціальністю 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 ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст.

У спільних публікаціях здобувачем: [2, 5, 13, 19, 20, 21] – визначено середні і рекомендовані швидкості руху на підходах до значних та найзначніших міст в залежності від умов руху, розроблено та запропоновано методи оптимізації планування, виконання дорожніх робіт на дорожній мережі з метою створення безпечних та безперешкодних умов руху. Розроблено математичні моделі руху транспортних потоків для забезпечення безпеки дорожнього руху і мінімізації витрат часу для виконання маневрів. [1, 8, 15, 16] – запропоновано використання автоматизованих систем управління дорожнім рухом на підходах до міст. [2, 9] – описано конфлікти, що виникають у дорожньому русі, дорожньо-транспортні ситуації та дорожньо-транспортні пригоди, розроблено підходи до визначення конфліктних точок та розроблено першочергові заходи щодо їх ліквідації. [3, 7, 10, 11, 12, 17] – за допомогою моделювання проаналізовано різні варіанти розроблення заходів управління

дорожнім рухом та запропоновані заходи для зменшення імовірності утворення дорожньо-транспортних пригод та заторів на ділянках підходу автомобільних доріг до міста. [6, 18] – проаналізовано характеристики транспортного потоку та їх вплив на безпеку руху з урахуванням технічних засобів управління дорожнього руху. [4, 14] – описано процес моделювання транспортного потоку на регульованому перехресті в програмному середовищі PTV Vissim.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювалися на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях, зокрема на:

proceedings of the 2nd International Conference «Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort»;

proceedings of the 4th International Scientific and Practical Internet Conference;

міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні підходи у відновленні транспортної інфраструктури в особливих умовах воєнного стану: виклики та перспективи»;

79-тій науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету;

міжнародній науковій конференції «Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт»;

LXXVI, LXXVII наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету.

Публікації. За темою дисертаційної роботи автором опубліковано 22 наукових праці, із них: 8 статей у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України, 3 статті – у науковому закордонному виданні, 3 статті – додатково відображає результати дослідження, 7 праць

апробаційного характеру. Отримано 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

Структура й обсяг роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 167 найменувань та трьох додатків. Обсяг основного тексту дисертації становить 190 сторінок. Текст дисертації містить 12 таблиць і 54 рисунки.

РОЗДІЛ І

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ НА ПІДХОДАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ДО МІСТ

1.1 Аналіз впровадження автоматизованих систем управління дорожнім рухом на підходах до міст

Стрімке зростання інтенсивності руху на ділянках підходу автомобільних доріг до міст призвело до руху щільних транспортних потоків, перевантаження дорожньої мережі і як наслідок виникнення заторів на під'їздах до міста. Головною причиною виникнення заторів стає необмежений доступ автомобілів на автомобільну дорогу з в'їздів, що примикають [1]. У зв'язку з цим виникла необхідність введення автоматизованих систем управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міста. Всі існуючі системи подібного роду засновані на одному принципі управління – обмеження в'їзду автомобілів на автомобільну дорогу, а питання оповіщення водіїв вирішуються по-різному.

Для усунення заторів на підходах до великих міст Франції передбачалося створити до 1980 року систему автоматичного управління рухом транспортних засобів. Інформація, що надходить на ПК від детекторів, обробляється і виводиться на світлове табло.

Автоматизована система управління рухом на автомагістралях південного напрямку Парижа передає вказівки й інформацію водіям за допомогою матричних показників розміром 3 x 1,5 м. На них подається коротка інформація про небезпечні ситуації на ділянках дороги, що розташовані попереду, й відстань до небезпечної ділянки. Тут же указується швидкість, що рекомендується, або інтервал швидкостей (мінімальна і максимальна). Автоматизована система управління рухом дозволяє регулювати в'їзд на дорогу, швидкість руху, рух по смугах і в разі потреби – по рівнобіжних проїзних частинах [2]. У Франції функціонує Центр

національної дорожньої інформації (CNIR), який координує роботу семи регіональних центрів інформації про рух. Система «Bison Futé» надає прогнози та рекомендації для водіїв, що сприяє зменшенню заторів та підвищенню безпеки на дорогах.

У Великобританії на автомагістралі М-4 створена система сигналізації і управління за допомогою ПК. Джерелом інформації для сигналізаційної системи є: показання встановлених на дорогах датчиків, що дозволяють одержувати дані про інтенсивність руху, швидкості руху, інтервали між автомобілями, про стан погоди (туман, ожеледь, дощ або сніг); повідомлення телефоном або по радіо працівників служби експлуатації, поліції або учасників руху про обстановку на окремих ділянках дороги [3]. Найбільш розповсюдженими командами є: обмеження швидкості руху; закриття ділянки для руху; використання всіх смуг проїзної частини для руху в одному напрямку; організація руху в об'їзд.

У ФРН фірмою Siemens розроблена автоматично діюча апаратура [2,4]. Цією апаратурою на підставі обробки й аналізу отриманих даних можуть бути прийняті одне з наступних рішень регулювання руху: заборона обгону, обмеження швидкості руху, регулювання завантаження окремих смуг руху, обмеження в'їзду на автомагістраль з одночасною вказівкою об'їзного маршруту. Найбільш розповсюдженими засобами інформації водія при регулюванні режимів руху є багатопозиційні, дистанційно керовані дорожні знаки, світлофори, радіо. Німеччина активно впроваджує адаптивні системи управління рухом, такі як SURTRAC (Scalable Urban Traffic Control), розроблену в Інституті робототехніки Університету Карнегі-Меллона. Ця система динамічно оптимізує управління світлофорами для покращення потоку транспорту.

Регулювання швидкостей руху є одним з ефективних методів підвищення безпеки [5, 6, 8, 10]. При цьому водії вибирають режим руху, що забезпечує безпеку в розглянутих умовах. Вирівнюються також швидкості руху всього потоку автомобілів: знижуються – максимальні й збільшуються – мінімальні.

За величину швидкості обмеження рекомендується брати швидкість 85% забезпеченості.

У Китаї значна увага приділяється розробці та впровадженню ITS. Зокрема, дослідники з Університету Цзяотун у Сіані, такі як доктор Юн Лінь, розробили прототип системи Dyna CHINA, яка поєднує динамічне моделювання транспортних потоків з інформаційним забезпеченням для оптимізації управління рухом.

Японія є піонером у впровадженні ITS. Система VICS (Vehicle Information and Communication System) надає водіям в режимі реального часу інформацію про затори, аварії та погодні умови через навігаційні системи. Крім того, система UTMS (Universal Traffic Management System) використовує штучний інтелект для оптимізації потоків транспорту та зменшення заторів.

У США на автомагістралі Лос-Анджелеса (довжиною 67 км, 8 – 10 смуг руху, швидкість не нижче 64 км/год) створена АСУ (система контролю за рухом). Ця система дозволяє безперервно одержувати дані про швидкості руху й інтенсивності на будь-якій ділянці магістралі [2,7]. Сигнали від датчиків, встановлених у покриття на відстані 800 м один від одного, надходять в ПК на диспетчерському пункті. Результати розрахунків дають картину завантаження автомагістралі: зниження швидкості до 32 – 48 км/год ілюструється на табло червоним кольором, до 55 – 80 – жовтим, зелений колір означає вільний рух на даній ділянці дороги. На те ж табло надходять сигнали про щільність і інтенсивність руху на даній ділянці дороги і про ДТП. Диспетчери аналізують обстановку і повідомляють інформацію про ситуацію на дорозі водіям. Інформація про дорожні умови дається у виді мінливих написів на табло або місцевому радіо, причому радіочастота вказується на дорожніх покажчиках. Проводиться контроль в'їзду автомобілів на магістраль. Світлофори пропускають 1 автомобіль після минулих 4 – 10 авто на 1 хвилину [11, 22].

У Німеччині також розробляються АСУ дорожнім рухом. Основними функціями є: безперервний збір за допомогою транспортних детекторів, інформації про транспортні потоки (інтенсивність, щільність, швидкість);

обробка отриманої інформації на ПК і видача відповідно до запрограмованої моделі відповідних указівок; передача вироблених указівок на світлофори, керовані дорожні знаки і покажчики зі зміною інформацією, а також по радіо [4]. У залежності від інтенсивності руху обмежують швидкість руху і попереджають водіїв про виниклі на автомагістралях небезпечні ситуації. Установлено:

- 1) при швидкості 80 – 100 км/год інтенсивність руху на смузі обгону – 2000 – 2200 авт/год;
- 2) на ділянках без дорожніх знаків зі змінною інформацією спостерігається більш високе зростання кількості ДТП.

Розробка нових методів управління на автомобільному транспорті, зокрема методів управління дорожнім рухом, забезпечує одержання таких результатів, які сприяють підвищенню економічності, безпеки та комфортності перевезень. Основним виробничим процесом на автомобільному транспорті є дорожній рух, тобто рух транспортних потоків автомобільними дорогами. Можна говорити про те, що цей процес здійснюється в системі «Дорожні умови – транспортні потоки» (ДУ-ТП) [1]. Організація дорожнього руху передбачає вивчення цієї системи і удосконалення її окремих елементів з метою підвищення їх ефективної взаємодії.

Проблема управління взагалі досить складна. Основою раціонального управління є перетворення інформації в управляючих системах, тобто перетворення відомостей, якими обмінюються між собою об'єкт, яким управляють, і системою управління.

При цьому інформація може бути такою, що повідомляється від сприймаючих пристроїв і управляюча, що передається від управляючих органів до об'єкту управління. На (рис. 1.1) зображено приклад інформаційних табло змінної інформації на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп.



Рисунок 1.1 – Інформаційні табло змінної інформації на ділянці підходу автомобільної дороги М-06 Київ – Чоп до міста Києва

Процес управління складається з таких елементів:

- збір та оброблення інформації;
- оцінювання стану системи;
- прогнозування стану системи через удосконалення її окремих елементів;
- визначення ефективного стану системи.

Вирішення проблеми управління вимагає створення математичної моделі системи. Можна стверджувати, що мета ефективної організації дорожнього руху полягає в мінімізації дорожньо-транспортних витрат при повній реалізації автомобільних перевезень при заданих рівнях швидкості, безпеки та комфортності руху.

Структура руху на мережі автомобільних доріг характеризується великими відмінами у просторі та в часі. Можна виділити місця з великою концентрацією руху (наприклад підходи до значних та найзначніших міст), а також місця з відносно малою концентрацією, а також дороги, що з'єднують ці місця, і дороги зі швидкісним рухом [12 – 14]. У зв'язку з цим і змінюються цілі управління у вказаних місцях. Транспортні потоки на автомобільних дорогах рухаються в умовах, що постійно змінюються. Ці зміни відбуваються через сезонні та добові коливання інтенсивності і складу потоку,

метеорологічних умов та стану доріг. Технічне удосконалення дороги і підвищення рівня утримання значно скорочують коливання її транспортно-експлуатаційних якостей в часі й під впливом погодно-кліматичних факторів, але не можуть виключити їх повністю. Необхідність оперативного управління рухом зростає зі збільшенням амплітуди змін у дорожніх умовах – воно має бути гнучким і масштабним. Задача управління рухом на автомобільних дорогах представляється досить складною через велику кількість факторів, що впливають як на вибір критеріїв управління, так і на прийняття рішень, пов'язаних з метою тих чи інших задач управління [1]. В залежності від потрібного рівня управління формуються конкретні задачі, розробляються методи управління, визначаються технічні засоби [20, 21, 23]. За ступенем складності задачі, що вирішуються, і технічні засоби системи управління рухом на автомобільних дорогах, що використовуються, можуть бути класифіковані таким чином:

- прості системи, що забезпечують управління рухом на окремих ділянках доріг або окремих місцях з використанням дорожніх знаків зі змінною інформацією та світлові табло, що працюють у локальному режимі. Використовуються на дорогах I – III категорій при інтенсивності руху до 7000 авт./добу;

- складні лінійні системи, що використовуються для диспетчерського управління дорожнім рухом, аварійною дорожньою службою та службою зимового утримання. До складу систем входять дорожні знаки і світлофори з дистанційним управлінням, засоби, що забезпечують огляд небезпечних ділянок, телефонний та радіозв'язок. Такі системи використовуються на дорогах I та II категорій з інтенсивністю руху більше 7000 авт./добу;

- складні сітьові системи, що здійснюють координоване управління рухом на мережі доріг великого транспортного вузла або області. Вони дозволяють також забезпечити оперативне управління дорожньою аварійною службою та службою зимового утримання. В системах використовуються дорожні знаки, що управляються, та світлофори на основних вузлах з

локальним або дистанційним управлінням, кілька управляючих пунктів, що обладнані засобами зв'язку для обміну інформацією між ними;

– автоматизовані системи спеціального призначення, що управляють рухом на окремих ділянках доріг (в'їзд, з'їзд, реверсивні смуги, у тунелі, на складних пересіченнях). Вони здійснюють збір інформації про стан дороги, транспортний потік та послідовуючу її обробку. У відповідності з одержаними даними вибирають той чи інший режим роботи керованих дорожніх знаків, якими обладнаний об'єкт;

– автоматизовані системи управління дорожнім рухом на магістралі, що дозволяють забезпечити оптимальний режим руху магістраллю, координоване управління рухом на в'їздах і з'їздах з автомагістралі, управління з використанням смуг руху, оперативне управління аварійною службою і службою поточного та зимового утримання. До складу АСУДР входять: система збору інформації про транспортний потік, стан дороги та оточуючі умови, лінії зв'язку, диспетчерський пункт, система відео огляду, інформаційні табло, дорожні знаки та світлофори, що управляються координаційно-обчислювальним центром;

– автоматизовані системи управління рухом на мережі доріг мають у своєму складі ті ж засоби, що й попередні системи. Проте управління у цьому випадку здійснюється, виходячи зі стратегії, яка забезпечує найбільш ефективне функціонування (завантаження) мережі в цілому, або вибір найбільш раціонального маршруту руху.

Проте, використовуючи діалектичний підхід до рішення проблеми управління рухом, можливо знайти це рішення на шляху «від окремого до загального». Так, вся мережа автомобільних доріг або окрема дорога можуть бути поділені на окремі типові елементи управління рухом при фіксації стану системи «Дорожні умови – транспортні потоки» на мережі або окремій дорозі у будь-який момент часу[1, 28]. Істотно, що кількість цих елементів буде залежати від розвитку мережі або від появи нових місць, що вимагають управління рухом. У цілому, можна стверджувати, що має місце тільки

збільшення або зменшення кількості типових елементів управління, а поява нових видів виключена.

На основі вищезгаданого приведена – класифікація типових елементів управління рухом на автомобільних дорогах, що покладена в основу розробки принципів управління:

- великі пересічення, на яких можлива зміна траєкторії руху основного потоку (тобто можливо регулювати зміну об'єму руху по основному напрямку. Розподіляти рух і регулювати в'їзд на основну дорогу за інтенсивністю і швидкістю руху);

- перехрестя, на яких можливий тільки в'їзд та з'їзд з основної дороги (регулювання в'їзду за маневром вливання в потік на основній дорозі);

- перегони між крупними пересіченнями, на яких можливо регулювати швидкості руху (обмеження за умовами безпеки руху, за складністю умов руху, способу організації дорожнього руху, за погодних умов; рекомендація величини швидкості руху з умов безпеки руху і економічності руху тощо) та величини інтенсивності руху за напрямком в цілому, та по смугах, регулювання за складом транспортного потоку по смугах;

- перегони в населених пунктах, на яких можливе регулювання в'їзду на основну дорогу і швидкостей руху, а також пішохідного руху різними технічними засобами організації дорожнього руху;

- пересічення з залізницею на одному рівні, на яких можливе управління проїздом транспортних засобів;

- стоянки транспорту, на яких можливе управління виїздом автомобілів на основну дорогу;

- місця відпочинку та видові майданчики, на яких можливе управління виїздом автомобілів на основну дорогу;

- місця інтенсивного пішохідного руху з регулюванням переходу через основну дорогу.

Найбільш прогресивним методом організації дорожнього руху є використання автоматизованих систем управління дорожнім рухом [1, 31].

Задача цієї системи полягає в пропуску максимальної кількості автомобілів на заданій ділянці, всій дорозі або мережі доріг в цілому. Автоматизована система управління дорожнім рухом складається з підсистем інформаційного забезпечення, математичного забезпечення та інформаційного оповіщення учасників дорожнього руху на дорогах. Перша вирішує питання збору, передачі і переробки інформації про умови руху, а також аналізу і прогнозу їх стану. Друга – питання прийняття рішень про способи управління в залежності від конкретних умов руху на дорозі. Третя – питання відображення прийнятих рішень у другій підсистемі, передачі управляючих впливів і контролю їх виконання.

Принципово, управління рухом на автомобільних дорогах можна поділити на три рівні:

I рівень – локальне управління : виявлення складних ситуацій і у випадку їх появи зміна управління; перехід на локальне управління при несправностях зв'язку з центром управління;

II рівень – координоване управління на кількох ділянках автомобільної дороги: управління локальне або в системі; зміна плану управління; контроль роботи датчиків; управління на складних пересіченнях;

III рівень – централізоване управління по всій довжині автомобільної дороги або на мережі рівнобіжних доріг: виконання оперативного плану управління; зміна планів; перетворення даних від датчиків; управління в залежності від складності умов руху; контроль та сигналізація про пошкодження; формування параметрів процесу дорожнього руху; повідомлення про стан процесу, що спостерігається.

При цьому управління рухом може використовувати методи як гнучкого, так і жорсткого регулювання. Система управління рухом повинна працювати у двох режимах: при малій інтенсивності руху на головній дорозі – за способом визначення наявності інтенсивності руху; при підвищенні інтенсивності руху до визначеної величини (щільні транспортні потоки) – за способом визначення наявних достатніх інтервалів слідування (режим пошуку розривів в потоці), а

також за способом визначення складу транспортного потоку та розподілу складових потоку по смугах руху і призначення швидкості руху по смугах руху [15, 24, 25]. Як і до будь якої системи управління, до систем управління дорожнім рухом висуваються вимоги у відношенні пропускної здатності, економічності, надійності та сумісності.

Необхідною умовою роботи системи, як одного цілого, є централізоване управління рухом. В іншому випадку необхідно, щоб кожний об'єкт управління працював у локальному режимі. Якщо централізоване управління рухом буде розповсюджуватися на деякі об'єкти, то інші працюють у локальному режимі. Коли по довжині всієї дороги нема необхідності у централізованому управлінні рухом, то кожний з об'єктів самостійно працює у локальному режимі. Система як одне ціле, повинна працювати на таких умовах:

- необхідність збільшення або зменшення швидкостей руху на всій дорозі або на деяких ділянках;
- необхідність розподілу транспортного потоку при неможливості забезпечити проїзд усього автотранспорту по дорозі;
- необхідність регулювати склад транспортного потоку по смугах і по дорозі в цілому;
- за ремонтних робіт;
- за несприятливих погодних умов;
- за спеціальних обставин.

У сучасних умовах основні задачі управління рухом багатомірні, вимагають великих масивів інформації в обмежений час. Вони характеризуються багатоваріантністю рішень і необхідністю одержання значного економічного ефекту за рахунок використання оптимальних рішень.

Для виконання оперативного і перспективного управління рухом на автомобільній дорозі необхідно виявити джерела інформації. Їх розташування по довжині дороги й види інформації, що необхідно одержувати з даного джерела. В якості останнього служать місця початку і кінця ділянок доріг,

місця примикання, відгалуження і пересічення з іншими дорогами, місця пересічення з залізницею, місця населених пунктів, місця потенційного утворення ожеледиці і туману тощо [17 – 19, 30]. При цьому джерела можуть давати різну кількість видів інформації в залежності від місця розташування на дорозі. Інформація, що вводиться безпосередньо по первинних даних, утворює вхідні масиви, по яких формуються базові масиви для рішення задач управління за допомогою розрахунків математичної моделі. Базові масиви є основою для створення робочих масивів конкретно під задачі, що вирішуються.

Основний взаємозв'язок характеристик руху транспортного потоку: інтенсивність руху (N) дорівнює добутку швидкості руху (V) і щільності (q) транспортного потоку:

$$N(V) = V \cdot q(V), \quad (1.1)$$

$$N(q) = V(q) \cdot q.$$

де N – інтенсивність руху, авт/год;

V – швидкість руху, км/год;

q – щільність руху, авт/км.

Не дивлячись на різницю у фізичних аналогіях всі моделі однаково характеризують процес руху: з ростом інтенсивності руху спостерігається зниження швидкості руху і збільшення щільності транспортного потоку, а після величини максимальної інтенсивності руху із збільшенням щільності потоку швидкість знижується до нуля, що приводить до зупинки руху [1]. В основній діаграмі транспортного потоку відображено багато головних властивостей, зокрема просторово-часові відношення і виникнення можливих перешкод руху.

У основній діаграмі транспортного потоку (рис. 1.2) можливо точно визначити лише три основні точки:

- 1) рух ще не почався: при $N = 0$, $q = 0$, $V = 0$;

2) максимальна інтенсивність руху: при $N = N_{max}$, $q = q_{opt}$, $V = V_{opt}$;

3) затор з повною зупинкою руху: при $N = 0$, $q = q_{max}$, $V = 0$,

де N_{max} – максимальна інтенсивність руху, авт/год;

q_{opt} – оптимальна щільність потоку, авт/км;

V_{opt} – оптимальна швидкість потоку, км/год;

q_{max} – максимальна щільність потоку, авт/км.

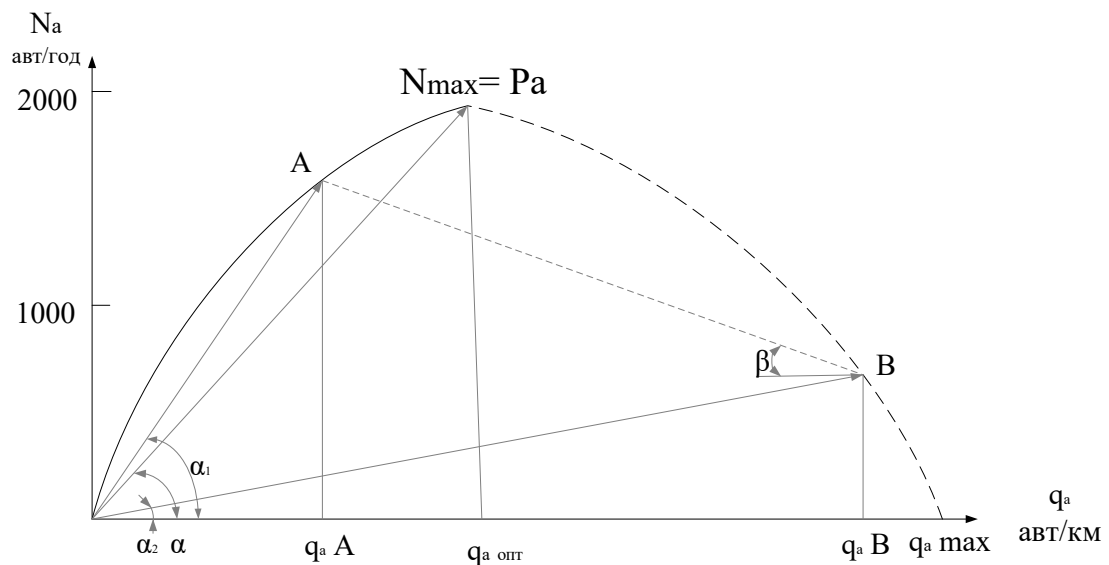


Рисунок 1.2 – Основна діаграма транспортного потоку

Величину пропускної здатності дороги важко визначити однозначно, вона залежить від режиму руху, а її розрахункове значення – від адекватності прийнятої схематизації. Інші точки основної діаграми транспортного потоку в наш час визначені недостатньо конкретно і допускають різну інтерпретацію (у залежності від вибраної аналогії). Але поряд з тим, виконання вимог основної діаграми є критерієм правильності будь якої теорії транспортного потоку [1, 18].

Тільки на базі інформації про швидкості окремих транспортних засобів і середні швидкості транспортного потоку за визначений проміжок часу, інтенсивності за різні проміжки усереднення, щільності, просторові та часові відрізки між транспортними засобами, типах транспортних засобів і на базі

розроблених алгоритмів можуть бути застосовані ефективні керуючі впливи, такі як:

- зміна швидкості руху,
- зміна напрямку руху на багатосмугових дорогах,
- зміна рядності руху,
- заборона або обмеження обгонів,
- зміна інтервалів руху,
- перехід руху з деяких ділянок на інші дороги,
- інші заборони та обмеження, що сприяють збільшенню

комфортабельності руху по дорозі, зменшенню втрат часу і зменшенню кількості ДТП.

1.2 Аналіз існуючих досліджень щодо управління транспортними потоками на автомобільних дорогах

Дослідженням руху транспортних потоків на підходах до міст, вивченням закономірностей їх формування та аналізом особливостей функціонування таких ділянок займалося досить багато вітчизняних та закордонних вчених. До цих науковців належать: Л.М. Старовойда, А.М. Красніков., В.П. Поліщук, Єресов В.І., О.Т. Лановий, С.В. Янішевський, О.П. Дзюба, О.В. Красильнікова, І.А. Виговська, Б. Кернер, К. Доганзо, Д. Дрю, Ф. Хейт., W. Zhu, W. Cai, H. Kong, S. Yang, Q. Wu, C.S. Priya, F.S. Francis, D. Jima, T. Sipos, N. Murali, D.B. David,

Дослідження Л.М. Старовойди виконані в 1968 році спрямовані на вивчення питань трансформації приміських автомобільних доріг в магістральні міські вулиці, в результаті зростання міста [28]. Зроблена спроба отримання наукового методу, який враховує закономірний перехід приміських ділянок автомобільних доріг у міські вулиці. Виявлено необхідність проєктувати автомобільні магістралі на підходах до міста з розрахунку на рух приміського й міського автомобільного транспорту, велосипедів і пішоходів.

За підсумками роботи виникає питання про принципи проектування земляного полотна на головних ділянках доріг.

А.М. Красніков, в 1988 р розглядаючи в основному 4-х і 6-ти смугові автомагістралі, звертає увагу на недостатній облік особливостей формування та закономірностей руху транспортних потоків при проектуванні багато смугових доріг на підходах до міст. Причина ситуації, що склалася, на думку А.М. Краснікова, полягає в недостатній вивченості питань пов'язаних з особливостями транспортних потоків на підходах до міст. Виявлено такі особливості умов руху на них:

- наявність пішоходів;
- близькість забудови і значна її протяжність;
- наявність громадського транспорту;
- підвищена частота примикань та перехресть;
- суміщення місцевого та транзитного руху.

Результати дослідження режимів руху транспортних потоків на ділянках підходів автомагістралей до міст, проведеного А.М. Красніковим, не застосовується для 8-ми смугових доріг [29]. На автомагістралі спостерігається покращений розподіл різношвидкісних груп автомобілів по смугах на відміну від автомобільних доріг що мають менше 8-ми смуг руху. Кількість автомобілів що виконують «обгін з очікуванням» на таких дорогах нижче, ніж для доріг з 4-х і 6-ти смуговою проїзною частиною.

У 1990 році В.П. Поліщук займався автоматизованими системами управління дорожнім рухом на автомобільних дорогах [2]. Робота присвячена розробленню та впровадженню АСУДР на автомобільних дорогах. Ця робота стала вагомим внеском у розвиток транспортних систем та безпеки дорожнього руху. Впровадження АСУДР спрямоване на оптимізацію руху транспортних потоків, зменшення заторів та покращення пропускної здатності доріг. Системи автоматизованого управління дозволяють знизити кількість дорожньо-транспортних пригод шляхом впровадження ефективних методів контролю та регулювання руху.

Дослідження В.П. Поліщука заклало основу для подальшого розвитку автоматизованих систем управління дорожнім рухом в Україні, сприяючи підвищенню безпеки та ефективності транспортних процесів на автомобільних дорогах.

О.Т. Лановий активно займався дослідженнями транспортних потоків на автомобільних дорогах протягом 2010-х років [31]. Зокрема, у 2017 році він опублікував роботу «Теоретичні основи та практичні методи забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг», яка, в свою чергу, дозволила запропонувати методи оцінки характеристик умов безперервного руху, а також рівні безпеки та рівні зручності руху з метою удосконалення дорожніх умов для забезпечення вимог до них з боку користувачів доріг із урахуванням потрібного для цього ресурсного забезпечення.

В.О. Осипов у 2017 році удосконалив метод оцінки безпеки дорожнього руху на окремих ділянках автомобільних доріг, який враховує статистичну імовірність скоєння дорожньо транспортних пригод залежно від дорожніх умов, які до цього не враховувалися, з використанням системи балів [32]. Крім того встановив закономірності впливу технічних засобів регулювання дорожнього руху на рівень аварійності на основі експериментальних досліджень, які враховують статистичні ймовірності скоєння ДТП на відміну від існуючих, а також враховують недоотримання водієм інформації з технічних засобів регулювання дорожнього руху.

У 2021 році А.Б. Вознюк зробив значний внесок у дослідження аварійності на автомобільних дорогах [33]. Його наукова діяльність зосереджена на розробці методів аналізу та прогнозування аварійно-небезпечних ділянок, а також на вивченні факторів, що впливають на аварійність. Він проводив детальні дослідження основних факторів, що спричиняють аварії, таких як погодні умови, стан доріг, технічний стан транспортних засобів, а також людський фактор. Вивчення цих чинників дозволяє краще зрозуміти, як знизити ризик ДТП.

У 2023 році І.А. Виговська зробила значний внесок у дослідження транспортних потоків на підходах до міст під час виникнення перешкод, Виговська розробила нові підходи до управління транспортними потоками, що враховують специфіку підходів до міст, з метою підвищення ефективності та безпеки руху [34]. В її роботах досліджено дорожні мережі, до складу яких входять національні, міжнародні, регіональні дороги та магістральні дороги місцевого значення, що є важливими для розуміння функціонування транспортних потоків на підходах до міст. Використовуючи сучасні методи моделювання, Виговська досліджувала поведінку транспортних потоків під час виникнення перешкод на підходах до міст, що дозволило розробити рекомендації для оптимізації руху та зменшення заторів.

Zhu, W., Cai, W. та Kong, H. у своєму дослідженні звертають увагу, що у нинішній інтелектуальній транспортній системі затори стають дедалі помітнішими [35]. Для вирішення цієї проблеми існує нагальна потреба в ефективних алгоритмах планування шляху. Дослідження спрямоване на вивчення оптимальної схеми планування шляху для інтелектуальних транспортних систем, підвищення ефективності руху, скорочення часу подорожі автомобіля та розумного розподілу ресурсів руху. Дослідження використовує інноваційний підхід, який поєднує можливість глобального пошуку генетичних алгоритмів з перевагою локального пошуку алгоритмів мурашиних колоній. Одночасно вводиться стратегія винагороди та покарання, формуючи новий алгоритм. Результати показують, що алгоритм добре працює щодо часу ітерації, довжини шляху та стабільності конвергенції. Дослідження підтвердили, що цей алгоритм ефективно долає повільну швидкість конвергенції та сприйнятливості до локальних оптимумів у традиційних алгоритмах мурашиних колоній, значно підвищуючи точність і обчислювальну ефективність планування шляху. Це має велике значення для оптимізації управління транспортними потоками та зменшення споживання ресурсів, забезпечуючи ефективне та точне рішення для планування шляху в інтелектуальних транспортних системах.

У 2025 році Yang, S. та Wu, Q. представили просторово-часову двомасштабну мережу взаємодії для прогнозування руху (SDSINet), як неявний метод покращення тимчасової інформації, який вбудовує інформацію про часову ідентичність у представлення функцій, зменшуючи накладні витрати на обчислення та покращуючи моделювання глобальних часових функцій [36]. Крім того, SDSINet інтегрує підхід до динамічного багатомасштабного просторового моделювання, який поєднує в собі адаптивні та масштабно-специфічні графіки, що дозволяє моделі охоплювати як локальні, так і глобальні просторові залежності. Крім того, SDSINet включає двомасштабну структуру навчання просторово-часової взаємодії, яка фіксує короткострокові та довгострокові тимчасові залежності, а також багатомасштабні просторові кореляції.

Priya, C.S. та Francis, F.S., в 2025 році пропонують нову методологію, яка поєднує генетичний алгоритм (GA) із перехресною перевіркою випадкового масиву (RF-CV) для оцінки входних характеристик і вибору найбільш відповідної підмножини [37]. Адже за останнє десятиліття великі міста зіткнулися зі значними заторами, аваріями та забрудненням через збільшення використання транспортних засобів, урбанізацію та міграцію. Інтелектуальна транспортна система може покращити планування транспорту та зменшити затори. ITS використовує моделі прогнозування руху, щоб допомогти запобігти вузьким місцям руху, підвищити мобільність і безпеку, а також зменшити вплив на навколишнє середовище. Однак розробка цих моделей включає кілька проблем, включаючи розуміння просторово-часових нелінійностей, створення точних прогнозів, мінімізацію часу прогнозування та зменшення складності моделі. Була розроблена модель RNN, вдосконалену багатоцільовим генетичним алгоритмом (MOGA), щоб оптимізувати гіперпараметри та досягти точного прогнозування швидкості руху. Запропонована методологія врівноважує компроміси між точністю передбачення, розміром моделі та обчислювальною ефективністю шляхом визначення оптимального набору відповідних функцій і гіперпараметрів.

Комплексне порівняльне дослідження демонструє, що підхід перевершує найсучасніші моделі як за точністю прогнозування, так і за ефективністю обчислень.

Питанням розподілу ДТП, пов'язаних з геометрією дороги, економічними втратами та альтернативним підходом до аналізу рівня тяжкості з використанням комбінованих параметрів, що використовують відносну частку у відсотках займалися: Jima, D., Sipos, T. [38]. У своєму дослідженні вони звертають увагу на те, що дорожньо-транспортні пригоди взаємодіють із формуванням геометрії дороги. Аналіз дорожньо-транспортних пригод, аварій і розподілу вартості аварій недостатній для визначення рівня тяжкості дороги, якщо не досліджувати комбіновані ефекти. Метою цього дослідження є аналіз рівня важкості доріг на основі альтернативного підходу комбінованих параметрів із використанням відносної частки дорожньо-транспортних пригод, аварій та вартості аварій. У дослідженні використовувалися п'ятирічні дані про ДТП з Будапешта. У досліджуваному регіоні в середньому щорічно внаслідок ДТП гине близько 45 осіб. Виходячи з існуючого та альтернативного підходу до індексації тяжкості, незважаючи на те, що поворот дороги був серйозним сегментом, понад 60% дорожньо-транспортних пригод було зареєстровано на прямій дорозі. Але альтернативний підхід показав, що рівень тяжкості прямих доріг був вищим, ніж перехресних, а значення тяжкості перехресних доріг було знижено.

Зрештою, дослідження рекомендує, щоб використання зазначеного альтернативного підходу до індексації серйозності було потенційно більш комплексним, ніж існуючі методи.

У 2025 році Murali, N. та David, D.B. дослідили використання технології Blue Whale: Самоадаптивна інформаційна система раннього попередження про уповільнення транспортного засобу ML Edge [39]. Кінцева мета цієї головної роботи – зменшення кількості аварій і забезпечення безпеки життя людей – це виклик через величезне зростання транспортних засобів і транспортних засобів, які базуються на безпеці. Тут є випадки підозри у

нетверезому водінні, необережне водіння тощо. У цьому сценарії транспортні засоби рухаються на повній швидкості та безвідповідально використовують технології на всіх дорогах. Для запобігання ДТП використовується система раннього попередження. Для того, щоб задовольнити кількість автомобілів у місті, що постійно зростає, інтелектуальні системи дорожнього руху повинні бути спроектовані в розумний та стійкий спосіб з використанням усіх доступних технологій як у світлі, так і в темряві. Розширена робота ML над неочікуваним транспортним потоком і всіма дорожніми умовами призвела до значних змін у реальному часі потоку транспорту для кожної серйозної проблеми, яка виникала. Тут технологія Blue Whale використовує розумний інтелект для швидкої ідентифікації, виявлення та модифікації систем попередження. Основною метою дослідження було навчання CNN/BWT на зібраних наборах даних, щоб запровадити неконтрольований підхід для прогнозування критичних ситуацій. IOT – це практичний спосіб визначення місцезнаходження найближчого об'єкта за допомогою точних методів машинного навчання та застосування отриманих наборів даних, що дозволяє отримати значні результати, які підтримують розпізнавання об'єктів. Документи повністю зосереджені на вдосконаленні навичок водіння та пропонують нові підходи для швидкого розпізнавання об'єктів. Ініціатива Fast Warning System Initiative, спрямована на підвищення безпеки в денний час, забезпечує систему попереднього попередження.

Kumar, V., Tiwari, S., Sharma, R.K., Sinha, A. та Tejani, G.G. у дослідженні запропонували нову структуру, яка застосовує методи розпізнавання об'єктів на основі глибокого навчання разом із методами машинного навчання для забезпечення точного прогнозування на рівні перевантаження [40]. Система призначена для моніторингу відеокadrів у режимі реального часу за допомогою різних процесів, включаючи калібрування камери, виявлення цікавої області та покращення кадру. Алгоритм Faster R-CNN використовується для виявлення транспортного засобу, а відстеження руху транспортного засобу разом із виявленням шаблонів руху здійснюється за

допомогою фільтра відстеження Калмана. Дані, отримані про транспортні засоби, будуть використовуватися для навчання моделі машинного навчання, де алгоритм Random Forest досягає 99% точності прогнозування заторів.

Результати роботи показали, що потенційний спосіб досягти ефективного управління міським транспортом полягає в поєднанні підходів глибокого та машинного навчання. Така ефективність може дозволити керовані даними заходи, спрямовані на зменшення заторів.

Indra, G., Nirmala, E., Nirmala, G. та Senthilvel, P.G. стикнулися з глобальною проблемою заторів на дорогах в містах Індії, які швидко урбанізуються [42]. Традиційні методи управління дорожнім рухом, такі як статична синхронізація сигналів і ручний контроль, виявилися недостатніми для вирішення зростаючих проблем міської мобільності. Їх стаття представляє комплексний огляд дослідницьких зусиль, спрямованих на покращення управління дорожнім рухом за допомогою виявлення транспортних засобів, виявлення порушень і динамічного контролю сигналів. Технології виявлення об'єктів, зокрема підходи на основі YOLO, пропонують багатообіцяючі рішення для моніторингу руху в реальному часі та виявлення порушень. Встановлюючи камери, обладнані цими алгоритмами, на критичних перехрестях, органи влади можуть контролювати рух транспорту, виявляти порушення та динамічно коригувати час сигналу.

Розглядаються досягнення в інтегрованих системах управління дорожнім рухом, зосереджуючись на динамічному управлінні світлофорами та адаптивних методах керування сигналами, які використовують підключені дані транспортного засобу для динамічної оптимізації сигналів дорожнього руху, зменшення затримок і довжини черг. Крім того, у дослідженні досліджуються підходи до динамічного управління дорожнім рухом, наголошуючи на необхідності коригування в режимі реального часу на основі умов руху.

Chawla, P., Hasurkar, R., Bogadi, C.R., Korlapati, N.S., Rajendran, R., Ravichandran, S., Tolem, S.C. та Gao, J.Z., в 2024 році опублікували

дослідження, метою якого було запропонувати інтелектуальну модель руху в реальному часі для вирішення проблеми заторів [43]. Запропонована модель допомагає міському населенню у повсякденному житті шляхом оцінки ймовірності дорожньо-транспортних пригод і точного прогнозування інформації про дорожній рух. Це також допомагає зменшити загальні викиди вуглекислого газу в навколишнє середовище та допомагає міському населенню в їх повсякденному житті, підвищуючи загальну якість транспорту.

Дизайн / методологія / підхід: це дослідження запропонувало модель руху в реальному часі на основі аналізу численних даних датчиків. Системи прогнозування дорожнього руху в реальному часі можуть ідентифікувати та візуалізувати поточні умови дорожнього руху на певній смузі. Запропонована модель включає дані дорожніх датчиків, а також ряд інших джерел. Важко отримувати та обробляти великі обсяги даних датчиків у реальному часі. Дані датчиків споживаються платформами потокової аналітики, які використовують технології великих даних, які потім обробляються за допомогою низки методів глибокого та машинного навчання. Дослідження, представлене в цьому документі, заповнить прогалину в секторі аналітики даних, створивши більш точну та надійну модель, яка використовує дані датчиків Інтернету речей та інші джерела даних. Цей метод також може допомогти таким організаціям, як транспортні агентства та департаменти громадської безпеки, у прийнятті стратегічних рішень, включивши його у свої платформи.

1.3 Основні принципи та методи управління рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст

Управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст здійснюється регулюванням залежно від реальних умов руху на автомобільній дорозі. Регулювання руху транспортних потоків на ділянках підходу до міст в залежності від умов руху вимагає отримання поточних даних про характеристики транспортного потоку у реальному масштабі часу (рис.1.3). Для цих цілей зазвичай використовують дані, що надходять від датчиків та камер руху. Система зважування в русі WIM – здійснює цілодобовий моніторинг руху транспортних засобів в режимі реального часу [44].

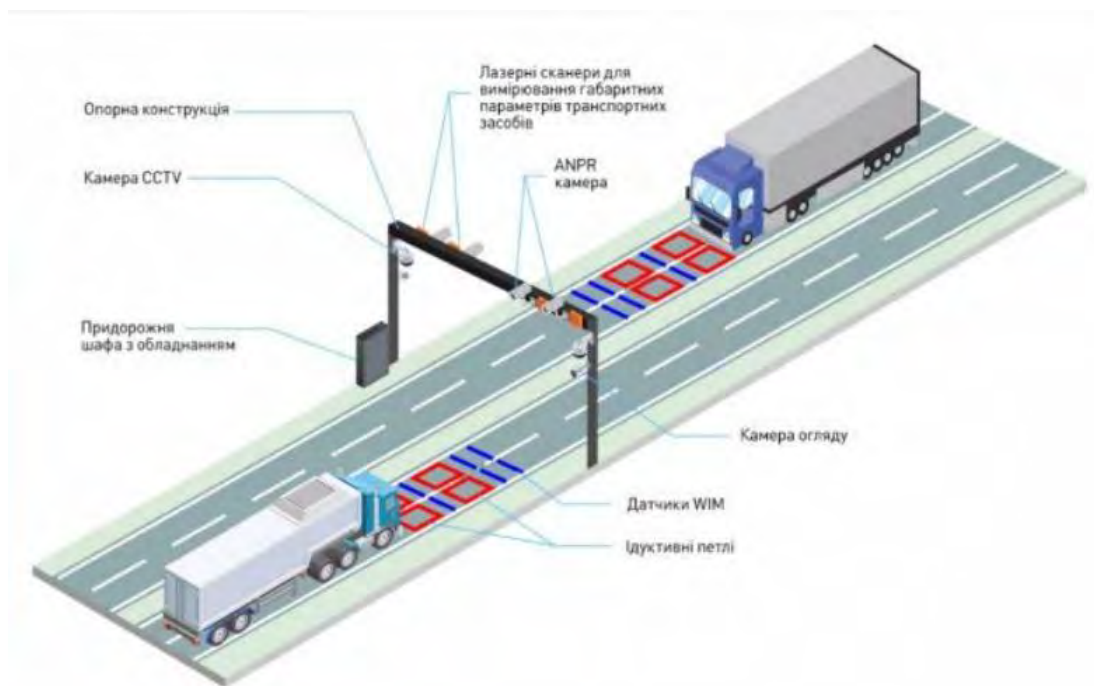


Рисунок 1.3 – Визначення характеристик транспортного потоку

Система зважування в русі WIM – фіксує та узагальнює інформацію про швидкість руху, загальну вагу, навантаження на вісь, номерні знаки, відстань між осями, скатність, габарити та клас транспортного засобу.

Управління рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст можна здійснювати за допомогою повідомлень інформації про поточні умови руху за допомогою інформаційного табло зі змінною інформацією.

Для ефективного управління дорожнім рухом на ділянках підходу до міст доцільно комбінувати декілька методів — зокрема, інтелектуальні системи, фізичні обмеження, регулювання швидкості та світлофорне управління. Успіх залежить від системного підходу, що включає аналіз руху, адаптацію до реальних умов руху та активну взаємодію з учасниками дорожнього руху за допомогою інформаційного забезпечення.

Підвищення рівня автомобілізації та виникнення на автомобільних дорогах країни транспортних потоків високої інтенсивності руху вимагають розвитку мережі автомобільних доріг та підвищення їхнього транспортно-експлуатаційного рівня [16, 41]. У зв'язку з цим особливо актуальним є управління дорожнім рухом спрямованим на забезпечення економічних, безпечних та комфортних умов руху транспортних потоків.

Одним із рішень зазначеної проблеми є максимально-ефективне використання існуючих умов, що досягається управлінням дорожнім рухом у існуючих дорожніх умовах, яке пов'язане з відносно незначними капіталовкладеннями.

Як і до будь-якої системи управління, до систем управління дорожнім рухом висуваються вимоги щодо пропускну здатності, економічності та надійності. Однак специфіка руху автомобільного транспорту накладає значні обмеження на різноманітність методів управління, що застосовуються:

1. Транспортний потік рухаються без встановлених графіків та маршрутів, а водії мають найрізноманітніші характери та навички, тому оптимізація розподілу транспортних потоків майже неможлива. Такий метод керування можливий лише у разі наявності у потоці понад 50% автомобілів, об'єднаних загальною метою поїздки (наприклад, транзитний рух).

2. Автоматизоване управління автомобілем у транспортному потоці забезпечує високу безпеку та ефективність руху. Однак такий метод є далекою

перспективою, так як вимагає встановлення у кожному автомобілі засобів управління.

Враховуючи вищесказане та ґрунтуючись на вітчизняному та зарубіжному досвіді, можна дійти висновку, що найбільш прийнятний принцип управління дорожнім рухом – це керування транспортним потоком як єдиним цілим. Таке управління ґрунтується на вимірі характеристик транспортного потоку, дорожніх та погодних умов за допомогою наземних детекторів, обробка цієї інформації за допомогою процесорів та інформування водіїв транспортного потоку за допомогою світлофорів, багатопозиційних табло та дорожніх знаків.

Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду створення систем управління рухом (рис. 1.4) показав, що зазначений принцип управління забезпечується низкою методів: управлінням режимом роботи світлофорів, призначенням швидкості руху, зміною числа смуг руху, регулюванням інтенсивності руху, призначення маршруту руху, забезпеченням пріоритетного проїзду.



Рисунок 1.4 – Методи управління дорожнім рухом

1. Управління режимом роботи світлофорів є найпоширенішим методом управління дорожнім рухом. Метод охоплює: а) керування в одній точці з оптимізацією тривалості фаз світлофора в залежності від величин інтенсивності руху на підходах; б) керування світлофорами вздовж магістралі, при якому фази світлофорів коригуються відповідно до величини інтенсивності руху магістраллю з максимізацією стрічки часу вільного проїзду; в) координоване управління світлофорами через мережу магістралей, що виробляється відповідно до інтенсивностей руху по мережі з мінімізацією часу затримок на перехрестях.

2. Призначення швидкості руху за рахунок інформаційних табло змінної інформації забезпечує скорочення втрат часу при проїзді ділянкою підходу автомобільних доріг до міста, зменшує втому водія, використання палива та забруднення повітря. Призначення швидкості використовується на ділянках підходу автомобільних доріг до міст за несприятливих погодних умов – наявності мокрого покриття, туману, ожеледиці та виникненні критичних ситуацій, ДТП.

3. Зміна кількості смуг руху може застосовуватися в ранкові та вечірні години «пік», коли спостерігається велика відмінність у величинах інтенсивності потоків автомобілів, що рухаються у протилежних напрямках. При цьому смуги реверсивного руху для напрямків із більшою інтенсивністю руху. Однак, смуги реверсивного руху можна застосовувати тільки у випадку, якщо обстановка дороги передбачає такий метод керування (тобто за наявності існуючої розмітки, відсутності розділової смуги або наявності розривів у ній).

4. Регулювання інтенсивності руху. У вузьких місцях автомобільних доріг, тунелях, мостах, а також у годинник «пік» часто виникають перевантаження, що межують із передзаторовими ситуаціями. Для підтримки режиму руху, що забезпечує оптимальну швидкість та пропускну здатність магістралі, потік необхідно обмежувати. Для цього широко використовується регулювання в'їзду на магістраль із примикань та перетинів. При цьому

світлофори на примиканнях синхронізуються таким чином, щоб регулювати надходження автомобілів відповідно до інтенсивності основного транспортного потоку.

5. Призначення маршруту руху дає можливість запропонувати водіям потоку, об'єднаних спільною метою поїздки (транзитний рух), маршрут, що має найкращі умови для руху транспорту. Залежно від рівня організації руху, маршрутизація його може бути динамічною та статичною.

У першому випадку, використовуючи інформаційні табло змінної інформації та навігацію руху. Можливо також оперативно розподіляти транспортні потоки альтернативними паралельними маршрутами, досягаючи оптимуму за заданим критерієм (наприклад, мінімум часу проїзду транзитної ділянки). Необхідність зміни маршруту може виникнути через перевантаження одного або кількох із паралельних маршрутів чи виникнення ДТП на маршруті.

6. Забезпечення пріоритетного проїзду. Право пріоритетного проїзду може надаватися спеціальним автомобілям (пожежна, швидка допомога, міліція колони автомобілів), автобусам шляхом виділення смуг пріоритетного проїзду або управління за рахунок інформаційних табло змінної інформації. Якщо необхідність надання пріоритетного проїзду є ординарним явищем, перевагу слід віддати методу виділення окремих смуг. В інших випадках слід застосовувати світлофорне керування. При цьому світлофори можуть керуватися як диспетчером, так і спеціальною апаратурою дистанційного керування із самого спеціального автомобіля.

Аналізуючи вітчизняні та зарубіжні системи управління дорожнім рухом, можна дійти висновку, що вони ґрунтуються на комбінаціях вищевказаних методів. Стадійність якісної зміни систем управління дорожнім рухом зазвичай представляється як укрупнення окремих систем, з координацією їх і централізацією управління [46 – 50]. Незважаючи на досить обґрунтовану ієрархію систем управління дорожнім рухом, відсутні методи визначення моментів необхідності переходу від рівня управління рухом до іншого. Це

призводить до того, що системи управління дорожнім рухом часто використовуються малоефективно. Часто виявляється складно обґрунтувати необхідність переходу до нового, якісно вищого рівня управління.

У зв'язку з цим є необхідним встановити критерій, що характеризує техніко-економічні результати функціонування систем управління дорожнім рухом та створити методику техніко-економічного обґрунтування необхідного рівня управління та моменту його введення в експлуатацію.

Один із методів регулювання руху транспортних потоків на ділянках підходу до міст може бути заснований на пропускній здатності автомобільної дороги [52 – 54]. Наступний метод виходить з того, що в умовах безперешкодного руху при щільних умовах руху на автомобільній дорозі поширюється у напрямку потоку.

Застосування системи управління дорожнім рухом за допомогою диспетчерського управління та інформаційного табло зі змінною інформацією на ділянках підходу автомобільних доріг до міст при виникненні критичних ситуацій: у разі виникнення ДТП, при проведенні ремонтних робіт, при необхідності пропуску колон. Дані критичні ситуації застосовуються при виникненні інтенсивності руху, близької до пропускної здатності автомобільної дороги.

Небезпека критичної ситуації за наявності інтенсивності близької до пропускної здатності полягає в тому, що на правій смузі руху автомобільної дороги виникають інтервали між автомобілями меншими за критичні. Тобто, вільне перешікування автомобілів, або перетинання транспортними засобами основного потоку (в місцях розвороту зустрічних транспортних потоків) значно утруднене через те, що середній інтервал між автомобілями основного потоку менший за час, необхідний для здійснення безпечного маневру. Причому з різноманіття маневрів входження до основного потоку (довільне входження, вимушене входження, ідеальне входження, примусове входження, одноразове входження та багаторазове входження) розглядається лише одноразове входження. Одноразове входження передбачає входження лише

одного автомобіля в інтервал між автомобілями основного потоку, не примушуючи автомобілі, що рухаються автомобільною дорогою, знижувати швидкість або перелаштовуватися.

При критичній ситуації наявність інтенсивності близької до пропускної здатності було встановлено, що в крайній правій смузі руху спостерігається інтенсивність руху порядку 740 авт/год, що відповідає наявності критичного інтервалу $t_k = 6$ с при 50% забезпеченості. Такий прийнятний середній інтервал був обґрунтований Гріншільдсом і Раффом [45].

Для виконання маневру одноразового входження необхідний критичний інтервал щонайменше 9 с [2, 45]. При інтенсивності руху смугою руху 740 авт/год, інтервал більше 9 с має ймовірність:

$$P_{(t < t_k)} = e^{-(a + bN_k)t_k}, \quad (1.2)$$

де $P_{(t < t_k)}$ – ймовірність появи інтервалу менш критичного;

$a = 0,28$; $b = 0,856$;

N_k – інтенсивність руху смугою, авт/год;

t_k – величина критичного інтервалу 9 с = 0,0025 год;

$$P_{(t < t_k)} = e - (0,28 + 0,856 \cdot 740) \cdot 0,0025 = 0,205091. \quad (1.3)$$

Ймовірність того, що такі інтервали збігаються на обох смугах руху для перетину основного потоку або здійснення лівого повороту, становитиме:

$$P_2 = P_{(t < t_k)} = 0,042062. \quad (1.4)$$

З результатів розрахунку випливає, що на автомобільній дорозі протягом години виникне така кількість безпечних інтервалів, які є прийнятними для маневру:

$$X = \frac{(N_k - 1) \cdot P_2}{1}, \quad (1.5)$$

$$X = \frac{(740 - 1) \cdot 0.04262}{1} = 31,088405 \approx 31 \text{ інтервал} > 9\text{с.}$$

Таким чином, з вищевикладеного випливає, що необхідність і достатність керування рухом на перетинах та примиканнях в одному рівні виникає у тих випадках, коли годинна інтенсивність руху у напрямку в'їзду на них не менше 31 авт./год.

1.4 Оцінка умов руху на ділянках підходу автомобільних доріг до міст

Одним з найперспективніших шляхів розв'язання задач, пов'язаних з оптимізацією роботи автомобільного транспорту та підвищенням безпеки дорожнього руху, є застосування сучасних методів та засобів організації дорожнього руху, насамперед, АСУДР або ITS. Найважливіше значення при розробці таких систем має моніторинг дорожнього руху в режимі реального часу.

Одним з основних напрямів оптимізації функціонування системи «Дорожні умови – транспортні потоки» є ефективне управління дорожнім рухом. Для вирішення завдань управління необхідна взаємодія різних служб, які здійснюють вплив на стан зазначеної системи [1, 51, 57].

Модель управління системою «Дорожні умови – транспортні потоки» є дворівневою.

Перший рівень стратегічне управління, яке здійснюється шляхом вибору та призначення технічних параметрів і транспортно-експлуатаційних характеристик дороги на стадії проектування або в процесі реконструкції. Сюди ж відносяться заходи щодо організації руху, розробка загальних схем організації руху та його розподілу по дорожній мережі, організація перевезень

масових вантажів та пасажирів в окремі періоди року, розробка та впровадження методів та технічних засобів організації та управління рухом.

Другий рівень – оперативне управління, яке використовується для швидкого реагування на зміну умов руху на ділянці автомобільної дороги в реальному режимі часу.

Заходи оперативного управління рухом знаходять найширше застосування практично, тому найчастіше під управлінням дорожнім рухом розуміється саме оперативне управління. В умовах функціонування АСУДР основними напрямками діяльності при оперативному управлінні в системі «Дорожні умови – транспортні потоки»:

1. Дослідження та аналіз умов і режимів руху, виявлення найбільш небезпечних ділянок. Розмітка автомобільної дороги, обладнання знаками, сигналами, засобами зв'язку та інформацією.

2. Вибір та призначення оптимальних режимів руху на автомобільній дорозі або окремих її ділянках. Регулює рівень завантаження автомобільної дороги.

3. Призначення оптимальних схем та режимів руху у несприятливих погодних умовах та у різні періоди року. Забезпечення режимів руху для пропусків колон автомобілів та інших спец. машин.

4. Оптимальне використання матеріальних ресурсів та засобів для поточного ремонту та утримання. Забезпечення нормальних умов руху за складних погодних умов.

5. Оперативне виявлення місць ДТП, надання допомоги та ліквідація наслідків. Регулювання руху в місцях проведення ремонтних робіт.

Для практичної реалізації методу управління рухом на ділянках підходу до значних та найзначніших міст в умовах функціонування АСУДР на автомобільній дорозі необхідно дослідити методи управління системою «Дорожні умови – транспортні потоки» для даного випадку, враховуючи при цьому особливості прийнятої в АСУДР стратегії управління. Розглянемо загальні закономірності процесу управління [52].

Процес управління системою «Дорожні умови – транспортні потоки» формально можна вважати розімкнутою системою, в якій немає очевидного зв'язку між входами та виходами. Проте, вхідні керуючі впливу (інженерне устаткування доріг, організація руху, технічні засоби управління) визначають поведінку транспортного потоку, тобто джерела вихідних показників тобто водії автомобілів, виходячи з реальних умов, обираючи режим руху автомобіля, тим самим формуючи відповідні зміни в транспортному потоці, вихідні величини, які знову впливають на процес управління рухом.

Реакція водіїв на впливи з боку вхідних характеристик формує вихідні параметри і, таким чином, відіграє роль зворотного зв'язку, перетворюючи процес управління системою «Дорожні умови – транспортні потоки» в замкнутий процес, де замикаючою ланкою є режим руху транспортного потоку, що залежить від умов руху (рис.1.5).

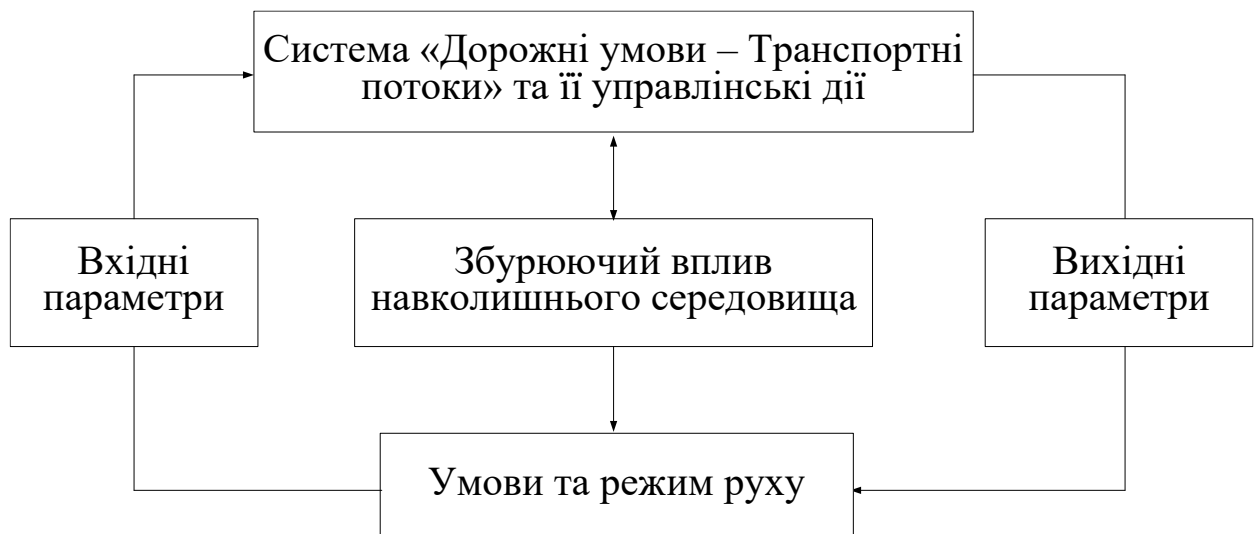


Рисунок 1.5 – Процес управління рухом по замкнутому контуру

Під умовами руху розуміють ту реальну обстановку на дорозі, у якій рухається транспортний засіб на даний момент. У загальному випадку на умови руху впливають велика кількість різних факторів (дорожні умови, транспортні потоки, погодні умови, психофізіологічних якості водіїв, часу

добу, технічний стан транспортних засобів, рівень кваліфікації водіїв, рівень безпеки руху, соціальні фактори) [1, 48].

Повна оцінка умов руху вимагає врахування всіх цих факторів, що практично неможливо в реальних умовах. Разом з тим, для практичних цілей, оцінюючи умови руху, використовують характеристики режиму руху транспортного потоку в даних дорожніх умовах. Такий підхід цілком закономірний, так як режим руху інтегрально відображає ефективність і якість функціонування системи «Дорожні умови – транспортні потоки».

З усього вищевикладеного можна дійти невтішного висновку у тому, що умови руху, зумовлені з урахуванням характеристик режиму руху транспортного потоку у даних дорожніх умовах, є інтегральним показником ефективності стану системи «Дорожні умови – транспортні потоки» вивчення та аналіз умов руху становлять основу оперативного управління рухом в АСУДР (рис.1.6).

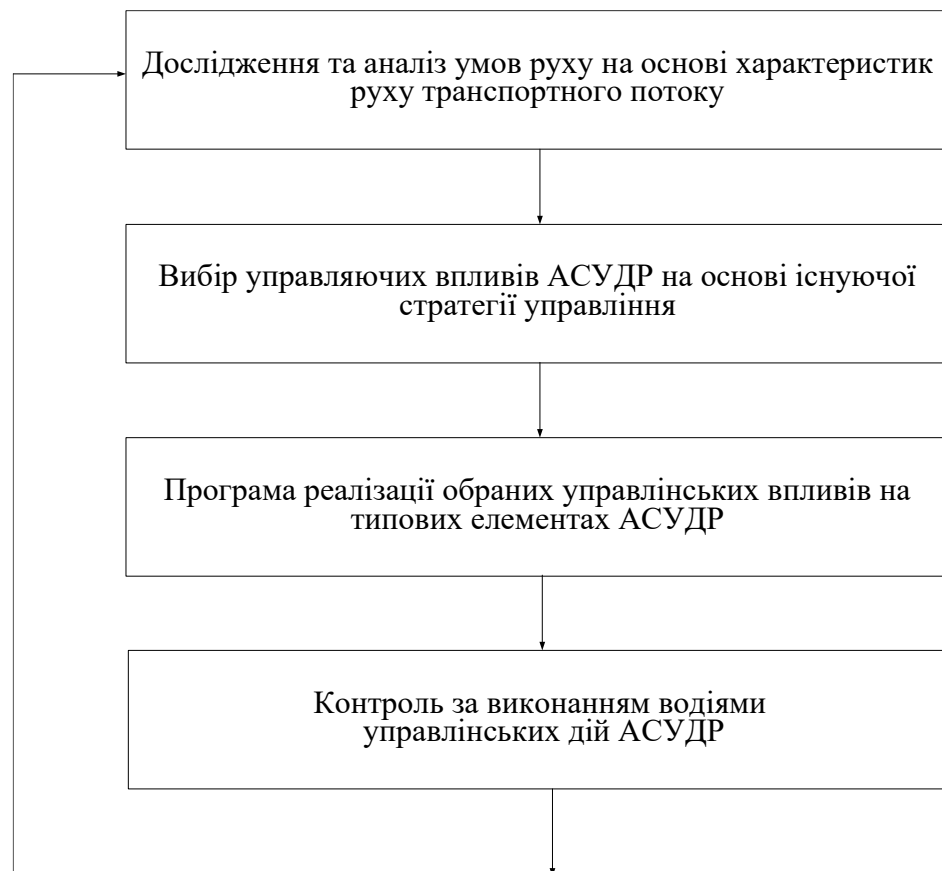


Рисунок 1.6 – Алгоритму оперативного управління рухом в АСУДР

Рішення про організацію реверсивного руху, що полягає у зміні дорожніх умов (перерозподіл смуг проїжджої частини за напрямками), приймається на основі аналізу характеристик режиму руху транспортного потоку за існуючих дорожніх умов (існуючих умов руху). З іншого боку, реалізація даного методу (зміна дорожніх умов) тягне за собою зміну зазначених характеристик режиму руху транспортного потоку [51]. Таким чином, оперативна оцінка умов руху на дорозі, що ґрунтується на аналізі характеристик режиму руху транспортного потоку в даних дорожніх умовах, має стати основою управління реверсивним рухом в умовах функціонування АСУДР.

При цьому необхідно враховувати як особливості практичної реалізації методу реверсування (наприклад, обов'язковий облік їх напрямів руху, можливість поетапного перерозподілу смуг за напрямками, необхідність прогнозування умов руху після реалізації методу реверсування і т.д.), так і здібності прийнятої в АСУДР стратегії управління рухом на автомобільній дорозі (типізація елементів управління, управління принципом «критична ситуація розв'язання», пріоритетність вирішено задач).

Інформація з приладів надходить періодично або безперервно до пунктів збору інформації за групами, де вона проходить первинну обробку та лініями зв'язку передається в обчислювальний центр. Кількість пунктів збору інформації та місце їх розташування вибирається з урахуванням характеристик дороги району прокладання та інтенсивності руху. У обчислювальному центрі інформація обробляється і на основі її вирішується завдання найоптимальніших параметрів руху на даний момент і видаються відповідні команди на керовані дорожні знаки. До команд, що управляють, може входити зміна швидкості руху, зміна напрямку руху на багатосмугових дорогах, зміна рядності руху, заборона або обмеження обгонів, зміна інтервалів руху, перерозподіл за іншими маршрутами. Зазначені команди передаються на керовані дорожні знаки та сигнали (рис. 1.7).

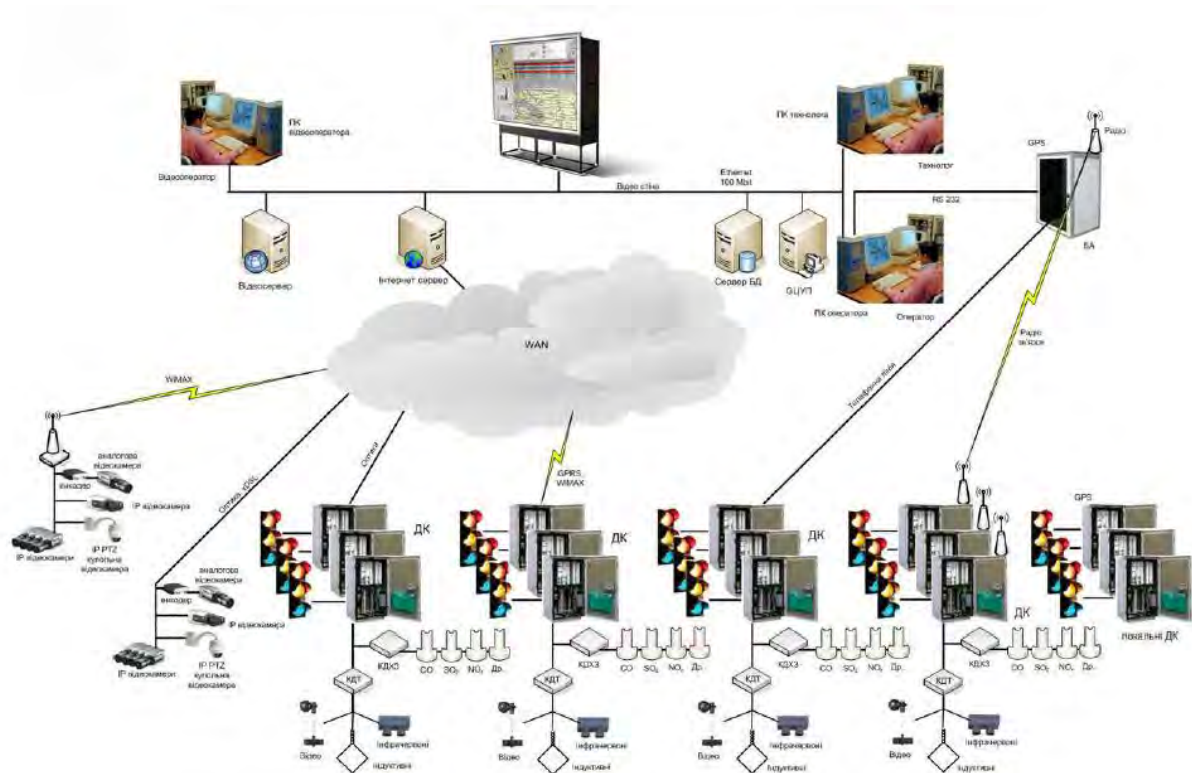


Рисунок 1.7 – Структура автоматизованої системи керування рухом

Основні складові автоматизованої системи керування дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст на принципах ITS:

- Створення робочого проєкту АСКДР ІТС;
- Моніторинг транспортних потоків в реальному часі;
- Програмне забезпечення для створення математичної моделі на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст;
- Відео сервер та програмне забезпечення відео нагляду;
- Відеокамери;
- Оснащення АСКДР та створення АРМ операторів;
- Контролери;
- Світлофори;
- Комплект детекторів транспорту;
- Аналітична обробка даних моніторингу та реалізація режимів «зелена вулиця» та «зелена хвиля»;
- Адаптивне керування (як локальне, так і на ділянці підходу);

Додаткові складові Автоматизованої системи керування дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст на принципах ITS:

- Метеостанції;
- Керовані знаки;
- Інформаційні табло;
- Пріоритетний проїзд громадського транспорту (борт + контролер);
- Система інформування про вільні місця на парковках;
- Системи WIM – зважування авто під час руху;
- Автоматичний контроль швидкості;
- Автоматичний контроль проїзду на червоний сигнал світлофора;
- Контроль в'їзду/виїзду на кордонах міста (класифікація транспортних засобів, номерний знак).

Висновки до розділу 1

Було проведено аналіз існуючих досліджень щодо управління транспортними потоками на автомобільних дорогах зокрема на ділянках підходу автомобільних доріг до міст та існуючих методів управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст. У результаті аналізу було виявлено, що найбільш ефективними в європейському контексті є інтегровані ITS, які базуються на багаторівневому зборі даних, прогнозуванні заторів, автоматичному регулюванні руху та оперативному інформуванні учасників дорожнього руху. Отримані результати аналізу існуючих методів управління дорожнім рухом на підходах до міст визначили подальші напрямки теоретичних і експериментальних досліджень з встановленням факторів, які впливають на безпеку дорожнього руху, призводять до заторів, зростання аварійності, екологічних і економічних втрат.

Результати досліджень проведених в межах першого розділу викладено у наступних публікаціях [6, 7, 9, 12, 15, 16, 30].

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПІДХОДАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ДО МІСТ

2.1 Обґрунтування довжини ділянки підходу автомобільних доріг до міст

З ростом інтенсивності руху, незважаючи на удосконалення дорожніх умов, стало зрозуміло, що багато доріг виявилися згодом перевантаженими і швидкість руху транспортного потоку не забезпечує безпечних і комфортних умов руху на ділянках підходу до міст. Вивчення паспортів автомобільних доріг, електронно-цифрових карт, а також власні спостереження дозволили виявити загальні характеристики дорожніх умов на підходах автомобільних доріг до міст [17]. У (табл. 2.1) наведено розподіл населених пунктів на групи залежно від кількості населення.

Таблиця 2.1 – Групи населених пунктів

Групи населених пунктів	Населення тис. осіб	Міста
Найкрупніші (найзначніші)	Понад 800	Київ, Харків, Дніпро, Одеса
Крупні (значні)	Понад 500 до 800	Запоріжжя, Львів Кривий Ріг

Автором було проведено дослідження на ділянках автомобільних доріг М-05 Київ – Одеса км 11+660 – км 111+000 та М-06 Київ – Чоп км 14+080 – км 114+000, щодо інтенсивності руху, складу транспортного потоку та швидкості.

У 2021 році було проведено натурні спостереження інтенсивності руху транспортних потоків на а/д М-05 км 11+660 – км 36+304 та М-06 км 14+080, км 24+130, км 54+336. Результат спостереження показано на (рис. 2.1 – 2.4).



Рисунок 2.1 – Фотознімок ділянки автомобільної дороги М-05 Київ – Одеса під час визначення інтенсивності руху на в'їзді у м. Київ в 2021 році

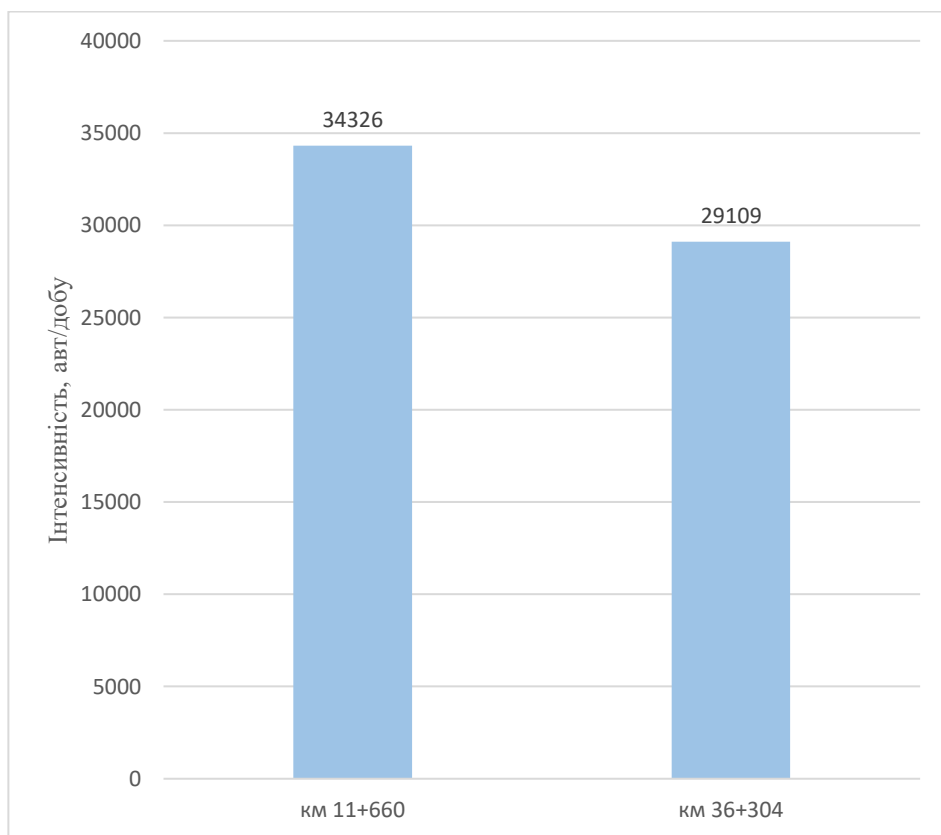


Рисунок 2.2 – Зміна інтенсивності руху на підході до міста Києва на автомобільній дорозі М-05 Київ – Одеса



Рисунок 2.3 – Фотознімок ділянки автомобільної дороги М-06 Київ – Чоп під час визначення інтенсивності руху на в'їзді у м. Київ в 2021 році

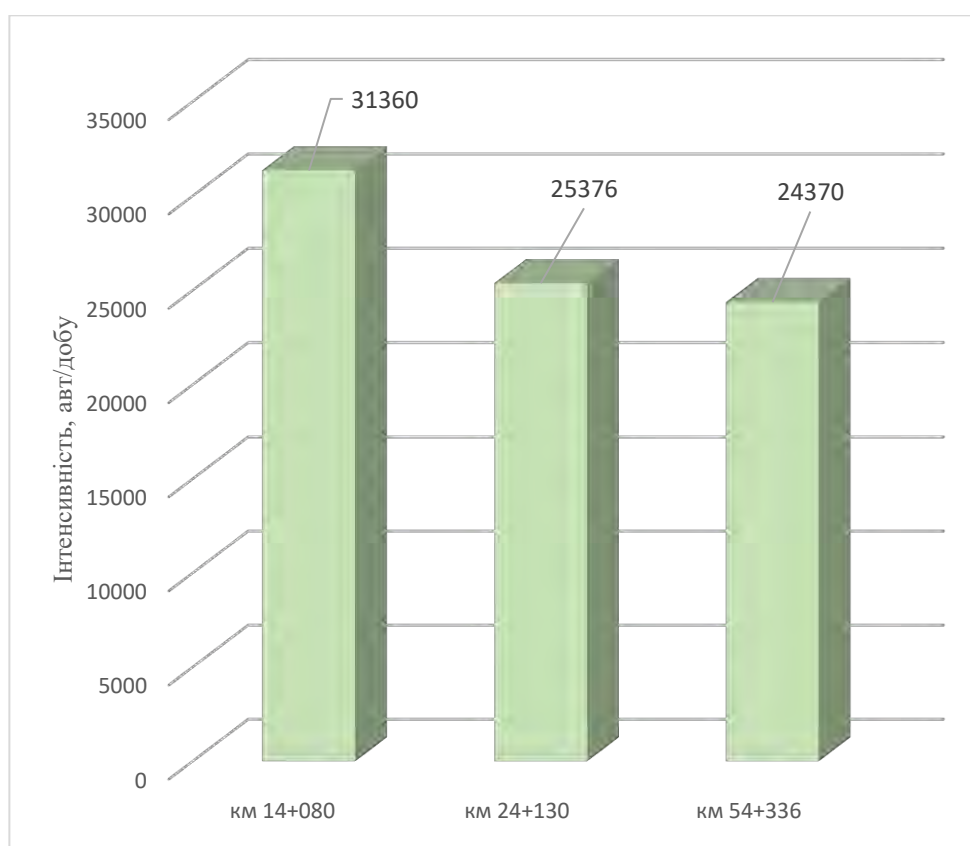


Рисунок 2.4 – Зміна інтенсивності руху на підході до міста Києва на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп

На рисунку 2.5 наведено інтенсивність руху на в'їздах у місто Київ. Інформацію надано КП «Центр організації дорожнього руху» (КП «ЦОДР»).

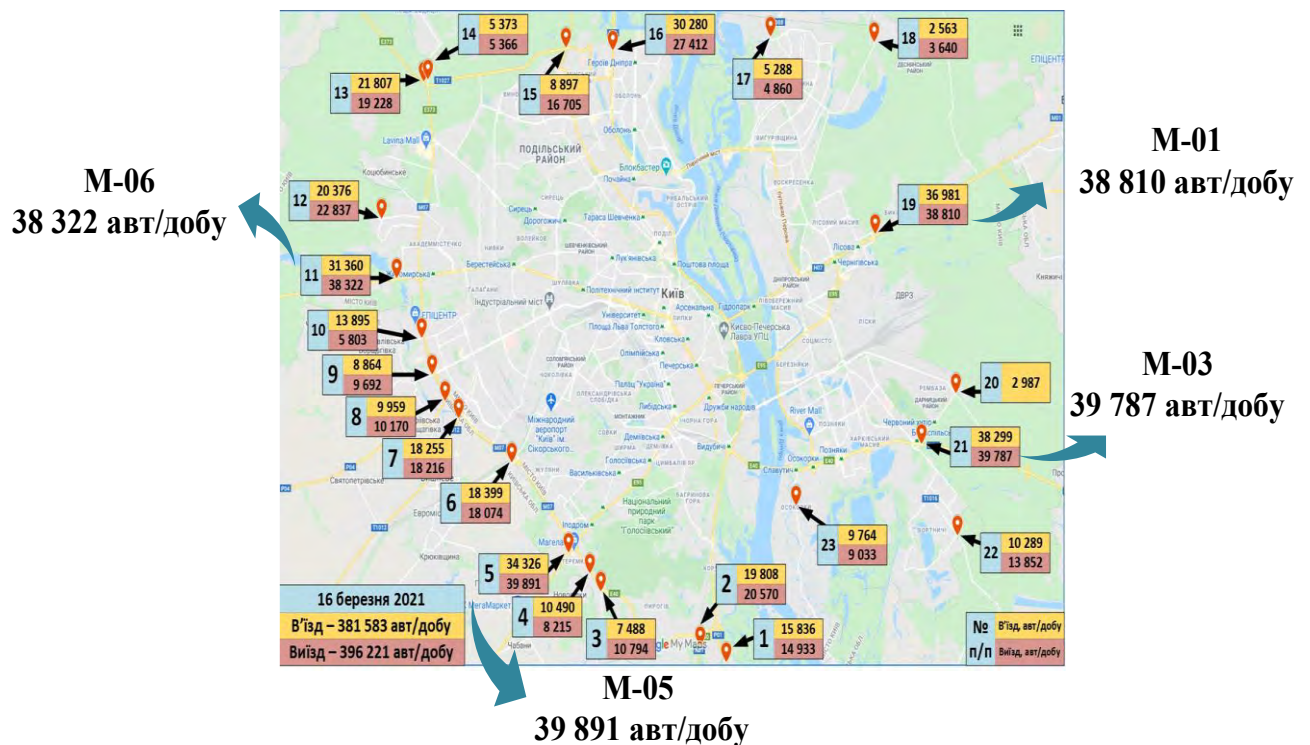


Рисунок 2.5 – Інтенсивність руху на в'їздах у м. Київ за 2021 рік

Середня інтенсивність руху за 2021 рік за місяцями на автомобільній дорозі М-05 Київ – Одеса наведена у Таблиці А.1 Додатку А [44], за годинами доби – у Таблиці А.2 Додатку А, середня швидкість руху за годинами доби – у Таблиці А.3 Додатку А.

Середня інтенсивність руху за 2021 рік за місяцями на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп наведена Таблиці А.4 Додатку А [44], за годинами доби – у Таблиці А.5 Додатку А, середня швидкість руху за годинами доби – у Таблиці А.6 Додатку А.

Склад транспортного потоку на автомобільних дорогах М-05 та М-6 наведено у Таблиці А.7 Додатку А.

2.2 Аналіз статистики дорожньо-транспортних пригод на ділянках підходу автомобільних доріг до міст на прикладі міста Києва

Для аналізу кількості ДТП та визначення транспортно-експлуатаційних показників на ділянках підходу до значних та найзначніших міст було обрано ділянки а/д М-05 Київ – Одеса км 11+660 – км 111+000 та а/д М-06 Київ – Чоп км 14+080 – км 114+000. Дані про дорожньо-транспортні пригоди за період 2019 – 2024 роки було взято із офіційного сайту Патрульної поліції України [65] та у Центрі безпеки дорожнього руху ДП «НІРІ» [68].

На (рис. 2.6) наведено кількість ДТП з загиблими та/або травмованими на автомобільній дорозі М-05 та М-06 за 2019 – 2024 роки

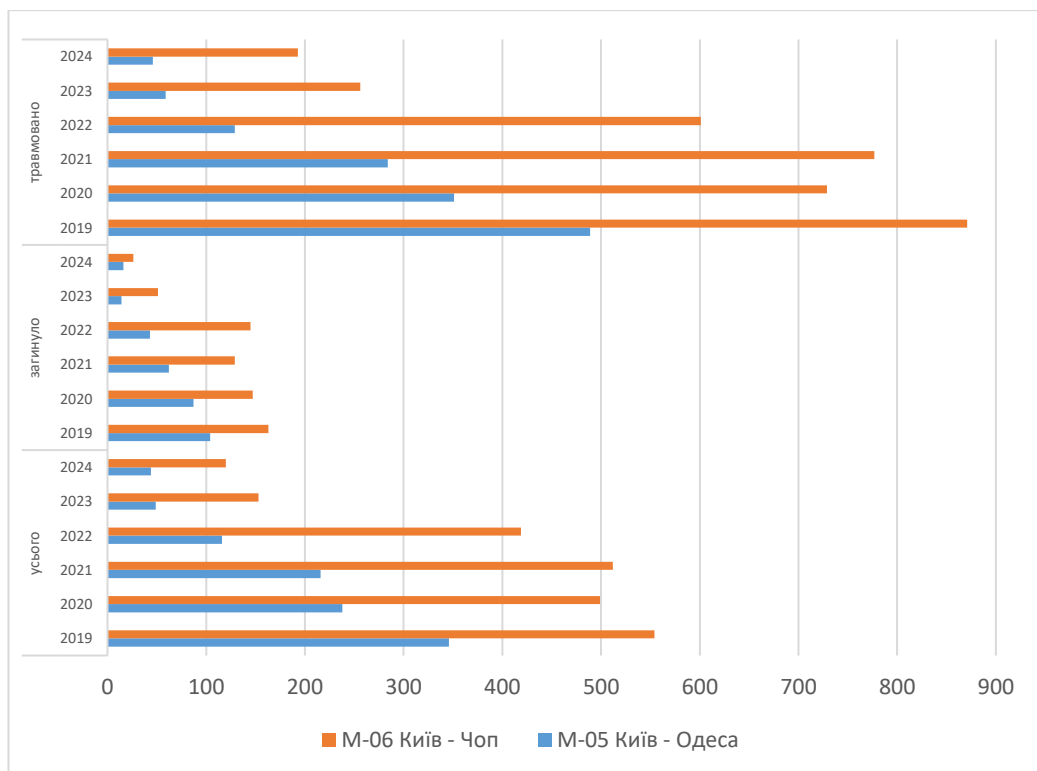


Рисунок 2.6 – Кількість ДТП з загиблими та/або травмованими на автомобільній дорозі М-05 та М-06 за 2019 – 2024 роки

У (табл. 2.2) наведено статистику ДТП з загиблими та/або травмованими на автомобільних дорогах загального користування державного значення. Перелік доріг наведений в таблиці є невичерпним.

Таблиця 2.2 – Статистика ДТП з загиблими та/або травмованими на автомобільних дорогах державного значення

Дорога	ДТП з загиблими та/або травмованими																	
	усього						загинуло						травмовано					
	019	020	021	022	023	024	019	020	021	022	023	024	019	020	021	022	023	024
М-01 Київ - Чернігів - Нові Яриловичі (на Гомель)	8	3	5	3	4	5	6	7	4	0			0	5	53	8	6	7
М-01-01 Південний під'їзд до м. Чернігова																		
М-01-03 Східний під'їзд до м. Бровари																		
М-02 Кіпті - Глухів - Бачівськ (на Брянськ)	8	6	4	6			1	3		1			6	6	4	6		
М-03 Київ - Харків - Довжанський (на Ростов-на-Дону)	21	41	68	59	3	6	5	7	9	0	1	0	88	82	93	00	00	7
М-03-01 Південно-східний об'їзд м. Харкова																		
М-05 Київ - Одеса	46	38	16	16	9	4	04	7	2	3	4	6	89	51	84	29	9	6
М-06 Київ - Чоп (на Будапешт через Львів, Мукачеве, Ужгород)	54	99	12	19	53	20	63	47	29	45	1	6	71	29	77	01	56	93
М-06-01 Східний під'їзд до м. Житомир		0																
М-06-02 Західний під'їзд до м. Житомира																		
М-06-05 Східний під'їзд до м. Львова													4		8			
М-06-07 Західний під'їзд до м. Рівного																		
М-07 Київ - Ковель – Ягодин (на Люблін)	68	51	31	4	8	6	4	3	0	9			50	01	85	43	4	3

На автомобільній дорозі М-05 км 11+660 – км 111+000 за період 2019 – 2024 роки зафіксовано 3127 ДТП з загиблими та/або травмованими. Розподіл ДТП за роками наведено на (рис. 2.7).

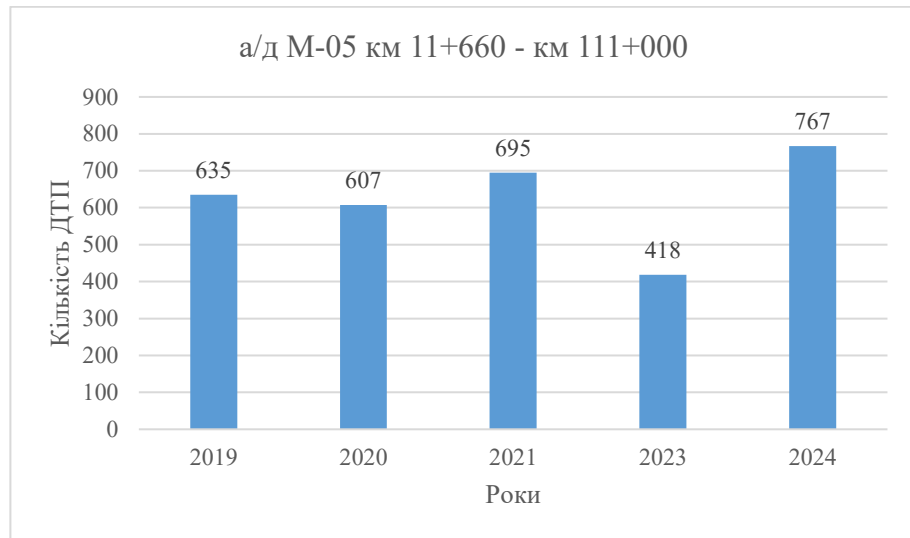


Рисунок 2.7 – Динаміка зміни ДТП на ділянках підходу до м. Києва на автомобільній дорозі М-05 за роками

На автомобільній дорозі М-06 км 14+080 – км 114+000 за період 2019 – 2024 роки зафіксовано 2893 ДТП з загиблими та/або травмованими. Розподіл ДТП за роками наведено на (рис. 2.8).

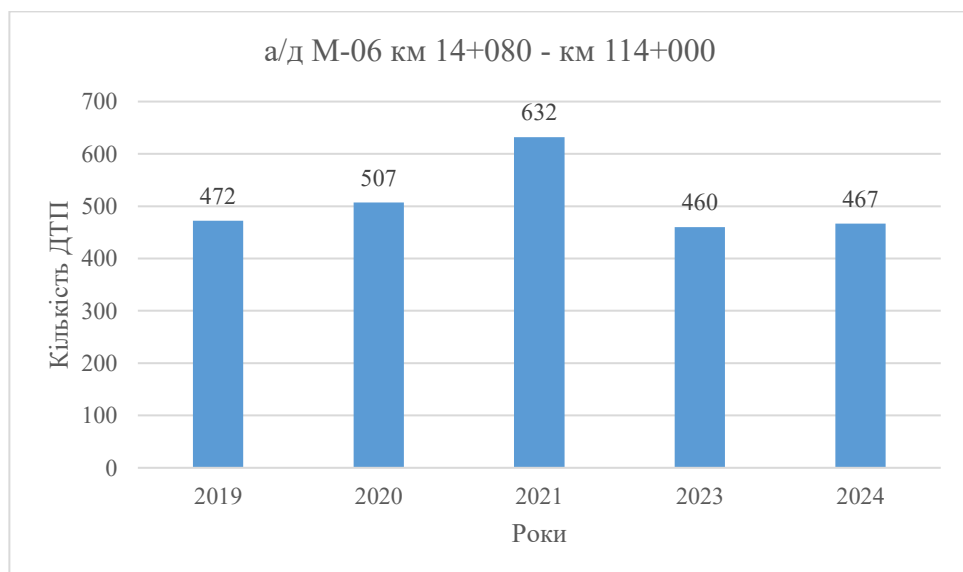


Рисунок 2.8 – Динаміка зміни ДТП на ділянках підходу до м. Києва на автомобільній дорозі М-06 за роками

Як свідчить статистика, розподілу кількості ДТП на ділянках підходу до міста Києва спостерігається підвищення кількості ДТП з 2019 року до 2021 року. Після початку повномасштабного вторгнення росії на територію України в лютому 2022 року, за даними аварійності спостерігається зниження кількості ДТП що пов'язане із зниженням інтенсивності руху. Починаючи з 2023 року спостерігається тенденція до зростання інтенсивності руху, що в свою чергу призводить до збільшення кількості ДТП [54, 68, 71].

Для детального аналізу ДТП, потрібно розглянути ДТП за видами пригод. На (рис. 2.9) наведено розподіл ДТП за видами пригод на автомобільній дорозі М-05.

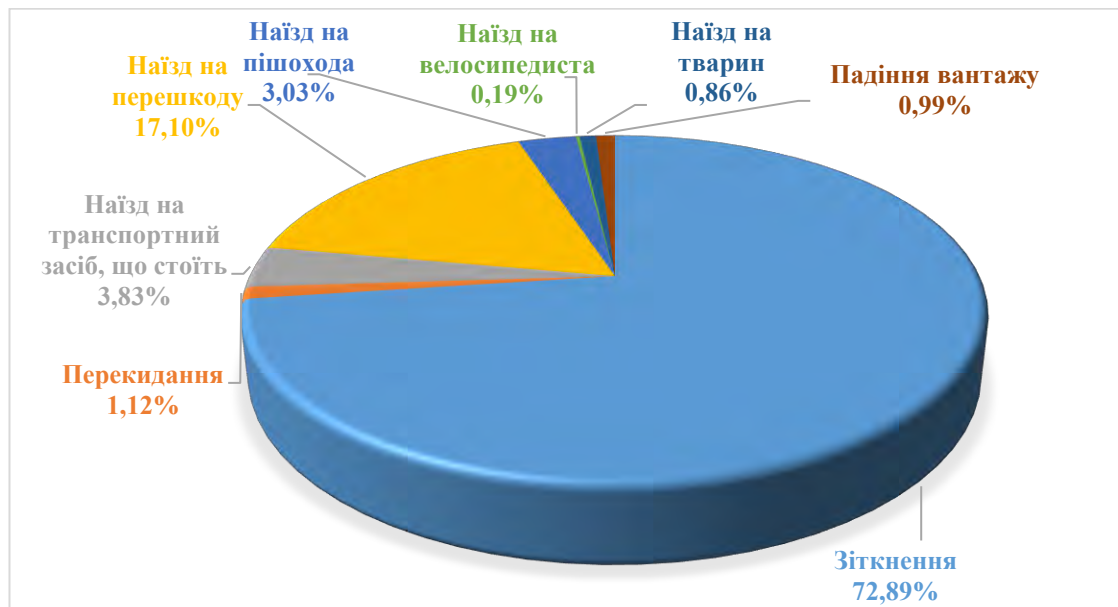


Рисунок 2.9 – Розподіл ДТП за видами на ділянках підходу до м. Києва на а/д М-05

Переважаючим видом ДТП є зіткнення, яке складає 72,89% від загальної кількості. На (рис. 2.10) наведений розподіл кількості ДТП за порушенням правил дорожнього руху на автомобільній дорозі М-05

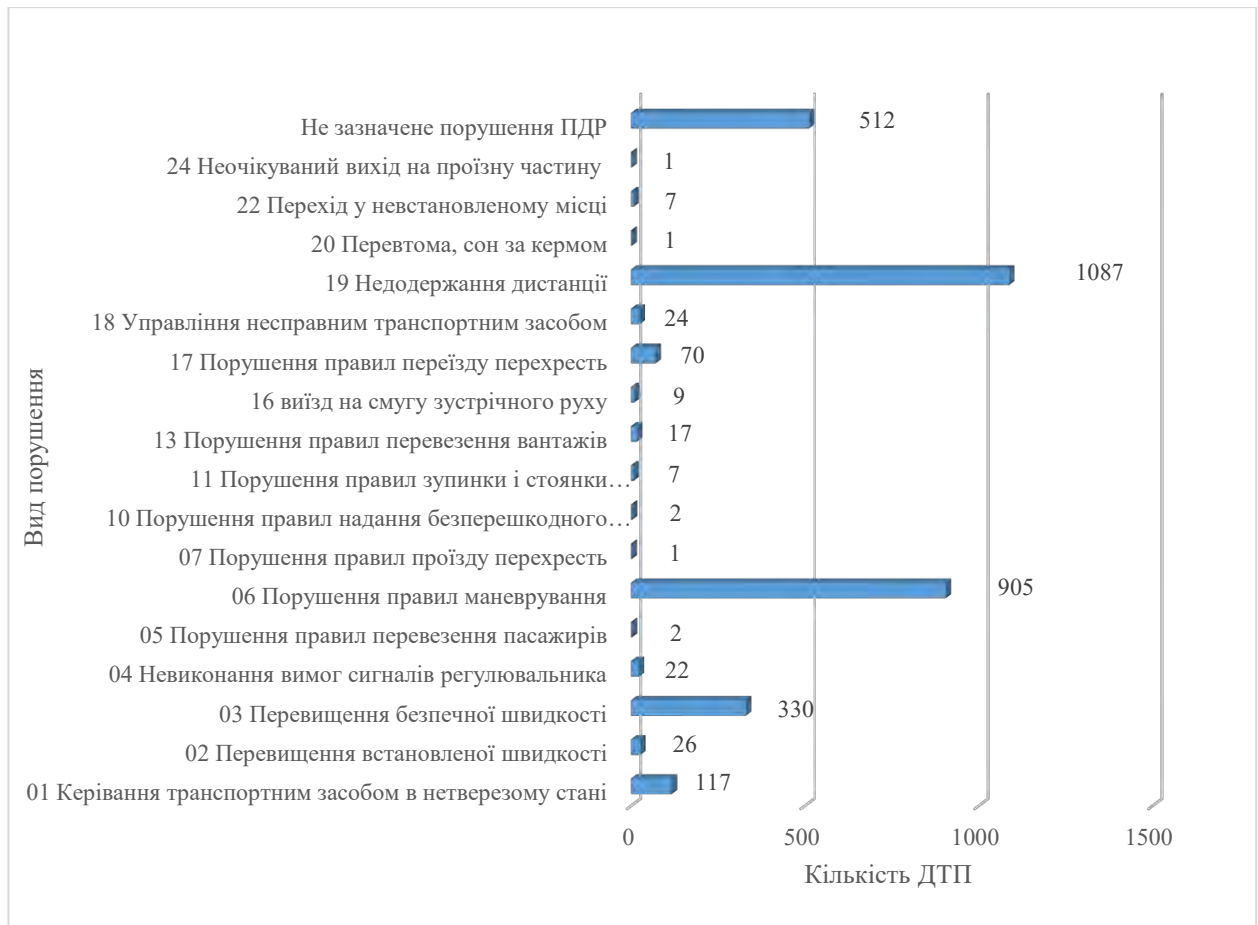


Рисунок 2.10 – Кількість ДТП за видами порушення правил дорожнього руху на а/д М-05

Найпоширенішими причинами виникнення ДТП є недодержання дистанції, порушення правил маневрування та перевищення безпечної швидкості руху. На автомобільній дорозі М-05 за 2019 – 2024 роки, зафіксовано 3137 ДТП в тому числі 398 ДТП з загиблими та/або травмованими, в яких загинуло 592 особи та 240 ДТП з травмованими, в яких 361 особа отримала травми різного ступеню важкості. Велика частка ДТП без зазначення порушення ПДР.

На (рис. 2.11) наведено розподіл кількості ДТП за видами пригод на ділянці підходу до м. Києва на а/д М-06



Рисунок 2.11 – Розподіл ДТП за видами на ділянках підходу до м. Києва на а/д М-06

Переважаючим видом ДТП є зіткнення, яке складає 80,48% від загальної кількості. На (рис. 2.12) наведений розподіл кількості ДТП за видами порушення правил дорожнього руху на автомобільній дорозі М-06.



Рисунок 2.12 – Кількість ДТП за видами порушення правил дорожнього руху на а/д М-06

На автомобільній дорозі найпоширенішими причинами виникнення ДТП є недодержання дистанції, порушення правил маневрування та перевищення безпечної швидкості руху. На автомобільній дорозі М-06 за 2019 – 2024 роки, зафіксовано 2893 ДТП в тому числі 93 ДТП з загиблими та/або травмованими, в яких загинуло 106 осіб та 323 ДТП з травмованими, в яких 516 осіб отримали травми різного ступеню важкості.

У результаті аналізу даних ДТП на автомобільних дорогах М-05 Київ – Одеса км 11+660 – км 111+000 та М-06 Київ – Чоп км 14+080 – км 114+000 побудовано графіки розподілу ДТП при наближенні до міста Києва (рис. 2.13, рис. 2.14) У зазначеному аналізі ДТП за 2022 рік не було враховано, оскільки інформація є не точною та не інформативною.

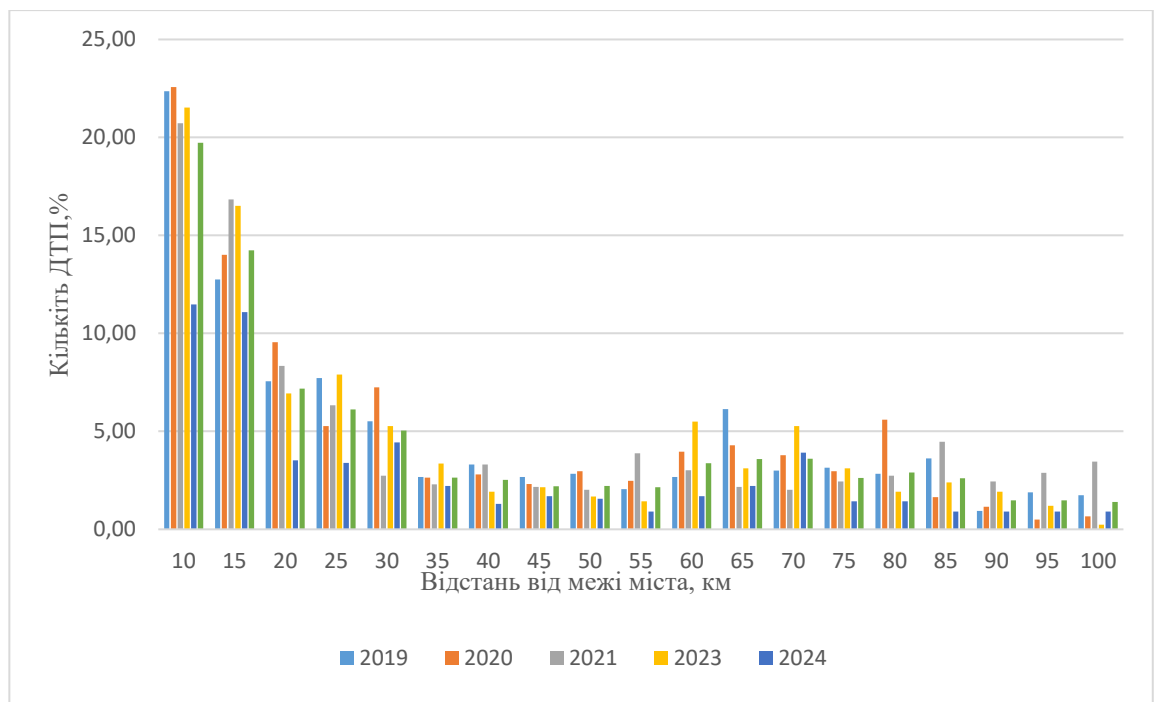


Рисунок 2.13 – Розподіл ДТП на ділянках підходу до міста Києва на автомобільній дорозі М-05

Як видно з графіку при наближенні до межі міста середня кількість ДТП зростає, понад 50 % всіх ДТП припадає на 30-ти кілометрову зону віддаленості від межі міста (згідно з км+).

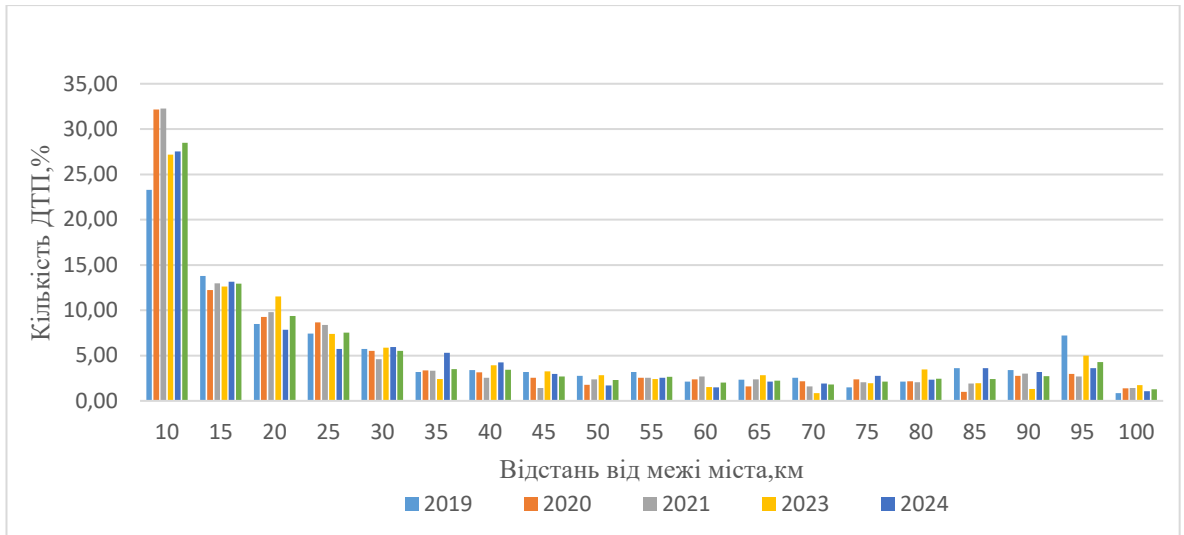


Рисунок 2.14 – Розподіл ДТП на ділянках підходу до міста Києва на автомобільній дорозі М-06

Отже, для міста Києва довжина ділянки підходу становить 30 кілометрів. Довжину ділянки підходу для інших міст слід визначати аналогічним способом.

Статистика аварійності на підходах до міста Києва вказує на те, що при наближенні до міста зі збільшенням інтенсивності руху збільшується кількість ДТП (рис. 2.15).

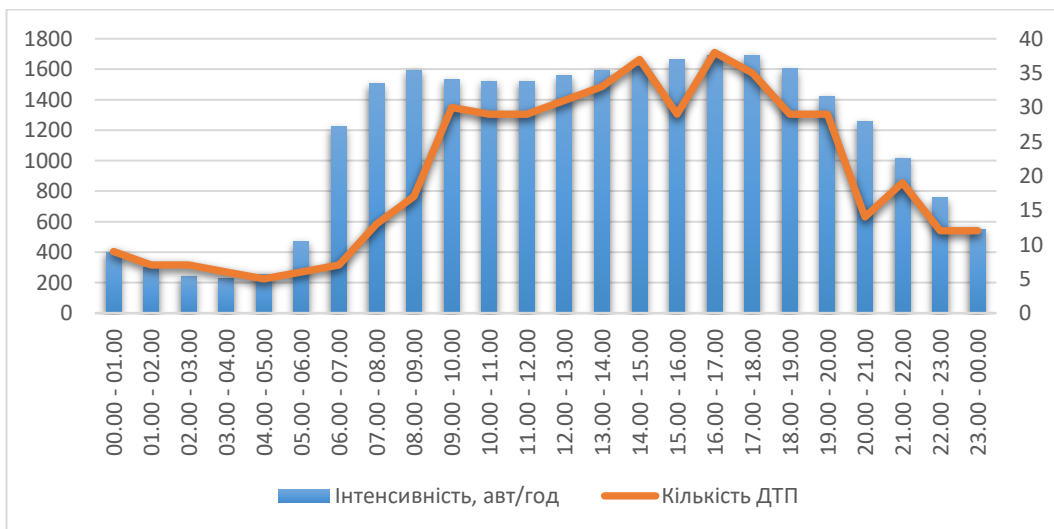


Рисунок 2.15 – Залежність середньої інтенсивності руху – кількості ДТП на ділянках підходу до міста Києва на автомобільній дорозі М-06

Для підтвердження правильності вибору протяжності ділянки підходу до міста було використано коефіцієнт детермінації (R^2). Коефіцієнт детермінації є одним з показників, що описують якість побудованої моделі в статистиці, його ще називають величиною достовірності апроксимації. З його допомогою можна визначити рівень точності прогнозу.

З урахуванням коефіцієнта детермінації було отримано залежності, які мають наступний вигляд:

3-х смугова проїзна частина:

$$y = -0,0163x^3 + 0,5773x^2 - 6,372x + 24,164, \quad (2.1)$$

$$R^2 = 0,9412,$$

де R^2 – коефіцієнт детермінації

На (рис. 2.16) наведено залежність середньої кількості ДТП на ділянках підходу до міста Києва на автомобільній дорозі М-05 Київ – Одеса.

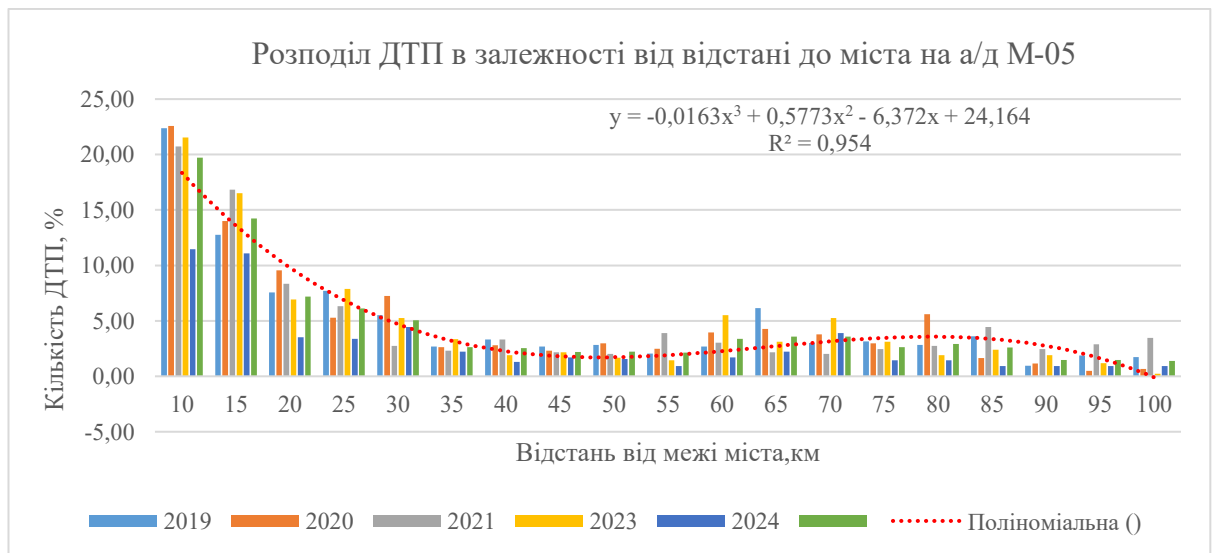


Рисунок 2.16 – Залежність середньої кількості ДТП на ділянках підходу до міста Києва автомобільній дорозі М-05

2-х смугова проїзна частина:

$$y = 0,0021x^4 - 0,1014x^3 + 1,7804x^2 - 13,172x + 36,988, \quad (2.2)$$

$$R^2 = 0,9419,$$

де R^2 – коефіцієнт детермінації

На (рис. 2.17) наведено залежність середньої кількості ДТП на ділянках підходу до міста Києва на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп.

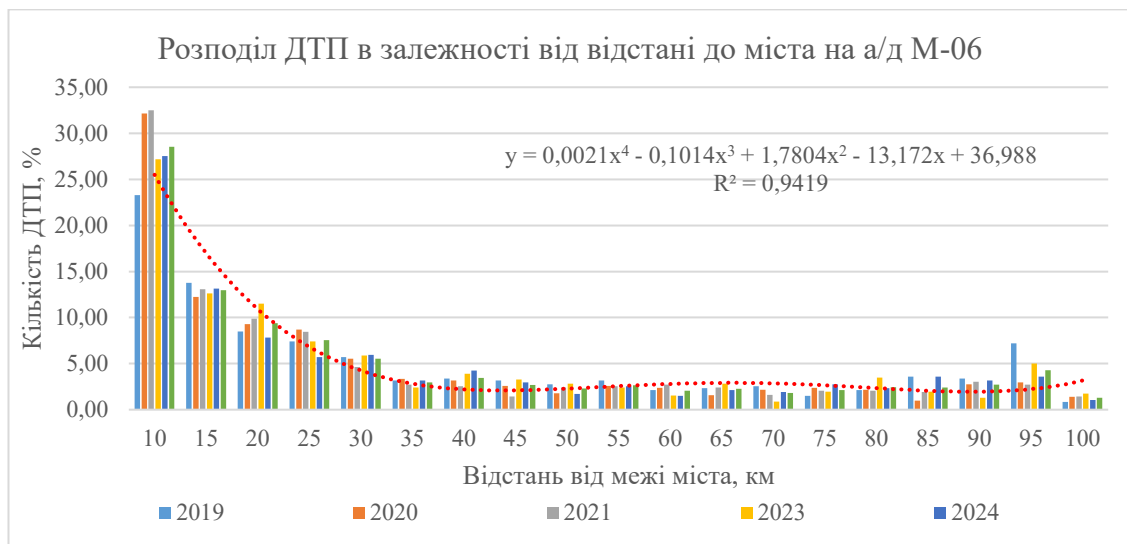


Рисунок 2.17 – Залежність середньої кількості ДТП на ділянках підходу до міста Києва автомобільній дорозі М-05

На підходах до значних та найзначніших міст спостерігається підвищення інтенсивний рух транспорту у порівнянні з точками віддаленості від міста. Транспортні потоки на підходах до міста складаються з поєднання транзитного та місцевого транспорту.

На досліджуваній ділянці підходу наявні пересічення, примикання та місця розворотів для зустрічних транспортних потоків. Таким чином, пропонується для проведення безпосередніх емпіричних досліджень застосувати як об'єкт дослідження ділянку підходу автомобільної дороги до міста Києва.

Для визначення транспортно-експлуатаційних показників на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст використовувалися:

- середня інтенсивність руху за місяцями;
- середня інтенсивність та склад транспортного потоку за годинами доби;
- середня швидкість руху за проміжків часу.

Період часу дослідження інтенсивності руху на ділянках підходу до міст пропонується обрати в піковий період інтенсивності руху, бо в саме цей період спостерігаються найбільш складні умови руху та найбільш висока імовірність виникнення ДТП (рис. 2.18, 2.19).

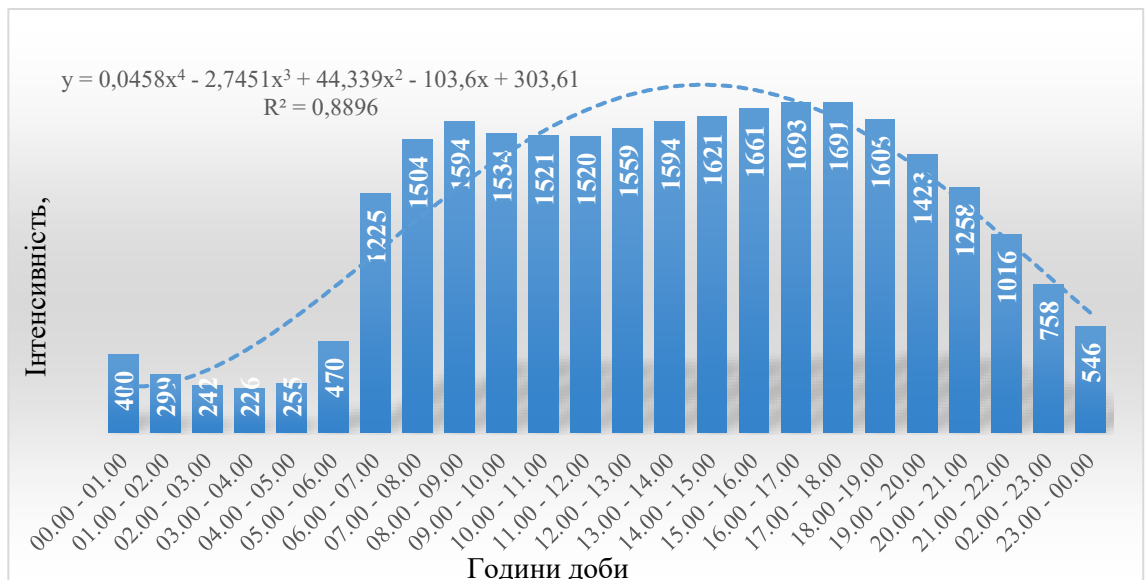


Рисунок 2.18 – Середньодобова інтенсивність руху в 2019 році на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп

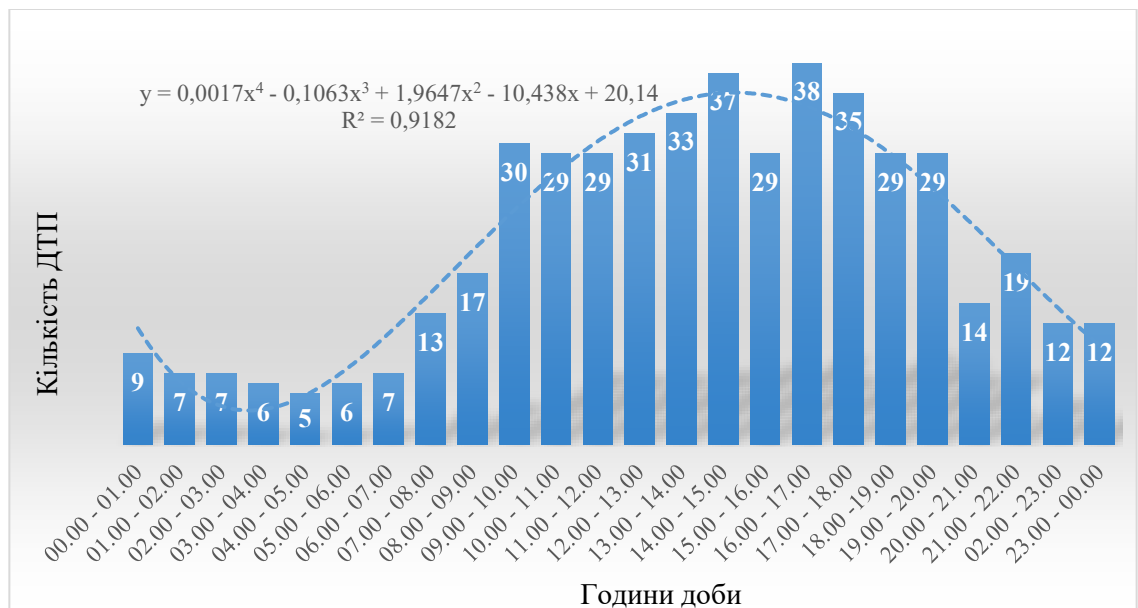


Рисунок 2.19 – Розподіл ДТП протягом доби в 2019 році на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп

Попередні дослідження коливання інтенсивності руху на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст вказує на наявність чітко вираженого пікового періоду, який складає час з 6:00 до 20:00.

Відповідно до отриманих емпіричних даних можливо визначити наступні тенденції. Насамперед потрібно казати на наявність чітко вираженої кількості транспортних засобів на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст у піковий період інтенсивності. Зрозуміло, що вказана кількість наближається до максимальної, при якій буде спостерігатися утворення затору на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст. Також, в зв'язку з піковим періодом, на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст формується так звана мінімальна поточна кількість транспортних засобів.

2.3 Математична модель управління дорожнім рухом у різних «критичних ситуаціях» на ділянках підходу автомобільних доріг до міст

На ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст необхідно розрізняти такі «критичні ситуації» [86]:

- наявність інтенсивності, близької до пропускної здатності;
- наявність недостатньої видимості на дорозі;
- наявність вологого покриття;
- наявність ожеледиці на дорозі;
- наявність дорожньо-транспортної пригоди;
- проведення дорожніх робіт;
- необхідність пропуску спеціальних автомобілів та колон;
- порушення швидкісних режимів на ділянках контролю швидкості руху;
- «ударна хвиля»;
- перевищення рівня загазованості повітряного басейну;
- перевищення рівня шуму у населених пунктах;

– наявність у системі несправної апаратури.

Наявність на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст кожної з критичної ситуації фіксується або за допомогою технічних засобів збору та передачі інформації про дорожній рух, або за допомогою спеціальних повідомлень до центру керування.

У кожному конкретному випадку виникнення критичних ситуацій приймається рішення, яке реалізується шляхом подання команд засобами відображення керуючих впливів на інформаційні табло змінної інформації.

При цьому необхідно запровадити пріоритет у вирішенні тієї чи іншої критичної ситуації при одночасному виникненні декількох. Тому всі критичні ситуації розділені, перш за все, за групами:

I група – обмежують швидкість руху на автомобільній дорозі,

II група – обмежують надходження автомобілів на автомобільну дорогу

III група – безпосередньо не впливає на транспортний потік.

У кожній групі запроваджується пріоритет вирішення завдання управління:

I група:

- наявність ожеледиці;
- виникнення дорожньо-транспортної пригоди;
- наявність недостатньої видимості;
- наявність вологого покриття;
- дорожньо-ремонтні роботи;
- порушення швидкісних режимів на ділянках контролю.

II група:

- пропуск спеціальних автомобілів та колон;
- наявність інтенсивності руху близької до пропускної здатності;
- перевищення рівня загазованості повітряного басейну;
- перевищення рівня шуму у населеному пункті.

III група:

– наявність дорожньо-транспортної пригоди у разі, коли пропускна здатність автомобільної дороги не обмежується.

За відсутності критичних ситуацій транспортний потік залишається без управління, так як відповідно до характеристик системи «дорожні умови – транспортні потоки» здійснюється рекомендація оптимальної величини швидкості руху на всіх елементах управління.

Для управління транспортним потоком диспетчеру необхідно вибрати методику визначення величини керуючих впливів на транспортний потік, а відповідно і критичні величини характеристик транспортного потоку тощо.

Для цього необхідно:

- визначити та описати залежності керуючого впливу для ліквідації критичної ситуації в конкретних умов руху;
- визначити необхідні вихідні дані щодо кожного контрольного перерізу (КП) для прийняття рішення щодо розробки величини керуючого впливу;
- розрахувати критичні величини характеристик щодо кожної ситуації та для кожного контрольного перерізу;
- розрахувати керуючі впливи по кожній критичній ситуації та кожному контрольному перерізу.

Критична ситуація у разі виникнення дорожньо-транспортної пригоди.

Для керування рухом автомобільною дорогою в місці виникнення ДТП необхідно захистити місце події, а водіїв, які під'їжджають до місця ДТП, інформувати про нього.

При виникненні ДТП, а також у період його розслідування на дорозі, частина проїжджої частини дороги не може бути використана для руху. Тому необхідно привести швидкість транспортного потоку у відповідність до умов руху (рис. 2.20).

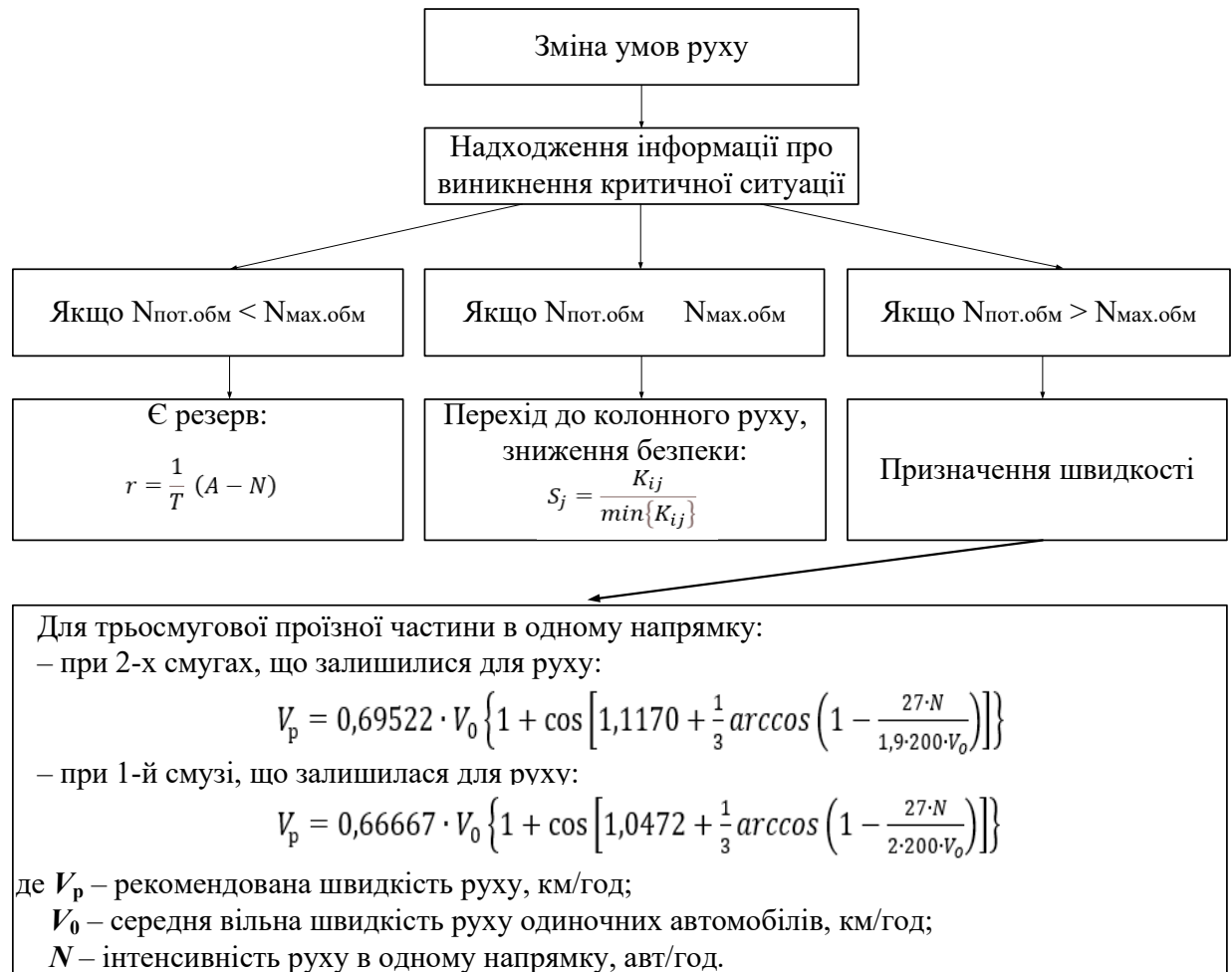


Рисунок 2.20 – Послідовність дій при зміні умов руху транспортного потоку

Необхідна величина швидкості руху в місці ДТП залежить від ширини проїзної частини, можливої для використання під рух, а також від інтенсивності руху транспортного потоку, інформацію про яку диспетчер отримує, викликавши на пульт дані про інтенсивність руху на попередньому ДТП контрольному пункті.

З'ясувавши в процесі повідомлення про виникнення ДТП, кількість смуг можливих для руху та визначившись у величині інтенсивності руху, диспетчер призначає швидкість, яка розрахована за такими залежностями:

1. Для трисмугової проїзної частини в одному напрямку (рис. 2.21):

– при 2-х смугах, що залишилися для руху:

$$V_p = 0,69522 \cdot V_0 \left\{ 1 + \cos \left[1,1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot N}{1,9 \cdot 200 \cdot V_0} \right) \right] \right\}, \quad (2.3)$$

– при 1-й смузі, що залишилася для руху:

$$V_p = 0,66667 \cdot V_0 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot N}{2 \cdot 200 \cdot V_0} \right) \right] \right\}, \quad (2.4)$$

де V_p – рекомендована швидкість руху, км/год.

V_0 – середня вільна швидкість руху одиночних автомобілів, км/год.

N – інтенсивність руху в одному напрямку, авт./год.

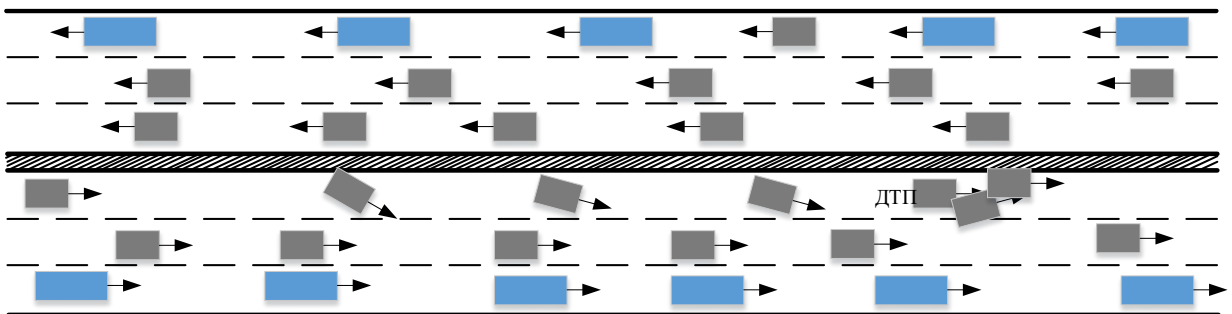


Рисунок 2.21 – Виникнення критичної ситуації – ДТП на трисмуговій проїзній частині

2. Для двосмугової проїзної частини в одному напрямку, при одній смузі, що залишилася для руху (рисунок 2.22):

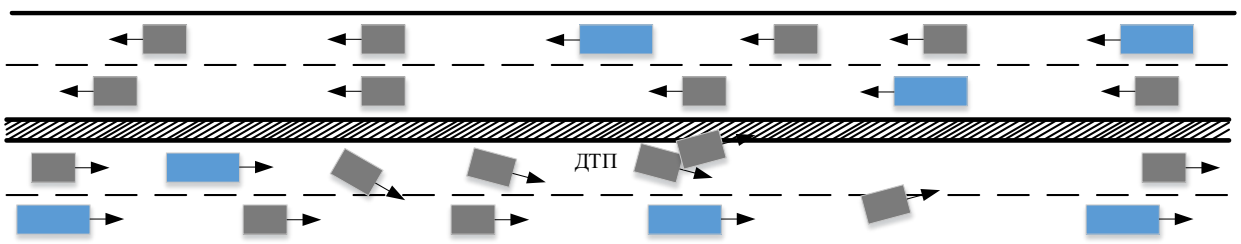


Рисунок 2.22 – Виникнення критичної ситуації – ДТП на двосмуговій проїзній частині

Критична ситуація при проведенні дорожніх робіт.

Під час проведення дорожніх робіт на проїзній частині, проїзд цієї ділянки із середньою швидкістю руху транспортного потоку, що забезпечується попередніми дорожніми умовами, є небезпечним, оскільки швидкість руху не відповідає новим дорожнім умовам які виникли у наслідок проведення дорожніх робіт. У зв'язку із такими роботами зазвичай відбувається фізичне звуження проїзної частини.

Для зниження небезпеки критичної ситуації необхідно проінформувати водіїв про дорожні роботи (така інформація відображається на інформаційному табло змінної інформації). Також необхідно обмеження швидкості, вихідні дані для розрахунку якої і сама величина визначаються аналогічно. Обмеження вводиться, починаючи з контрольного пункту, що передує ділянці, що ремонтується.

Критична ситуація за необхідності пропуску колон або окремих спеціальних автомобілів.

За необхідності пропуску спеціальних автомобілів, інформація про які надходить до диспетчера телефоном або іншими каналами зв'язку, слід забезпечити безперешкодний пропуск таких автомобілів. Для цього закриваються в'їзди на час проходження спеціальних автомобілів та відкрити їх після проходження.

Критична ситуація порушення швидкісного режиму на ділянках контролю швидкості руху.

При перевищенні швидкості руху на контрольованих ділянках може утворитися аварійна ситуація, тобто буде знижено допустимий рівень безпеки руху. Інформація про перевищення заданої величини швидкості руху

надходить до Центр управління рухом, де розробляється рішення про інформування водіїв про дане порушення. Порушенням слід вважати величину: $V_p + \sigma$ в якій V_p – призначене рекомендоване значення швидкості руху, σ – величина середнього квадратичного відхилення.

Прийняте рішення передається на дорожні інформаційні табло, розташовані на ділянці контролю, та за системою зв'язку для служб організації дорожнього руху.

Критична ситуація «ударна хвиля».

В результаті проведених теоретичних досліджень та математичного експерименту було встановлено, що небезпеку зіткнення внаслідок виникнення «ударної хвилі» можна оцінити функцією небезпеки $F(VC; AC; G)$. Аварійна ситуація визначається поєднанням певних знаків характеристик «ударної хвилі» та величиною градієнта спектральних складових решітчастої функції $DS(I; T)$ відстань між автомобілями у групі:

$$F(VC; AC; G) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } VC(T) > 0, AC(T) > 0, |G'(K, T)| \geq P \\ 1, \text{ якщо } VC(T) \leq 0, AC(T) > 0, |G'(K, T)| \geq P \\ 0, \text{ якщо } VC(T) > 0, |G'(R, T)| < P \\ 0, \text{ якщо } VC(T) \leq 0, AC(T) > 0, |G'(K, T)| < P \\ 0, \text{ якщо } VC(T) \leq 0, AC(T) \leq 0 \end{cases}, \quad (2.5)$$

де $VC(T)$ – швидкість переміщення центру мас групи автомобілів, що розглядається, м/с;

$AC(T)$ – прискорення центру мас групи автомобілів, м/с²;

$G'(K, T)$ – градієнт К-ої гармоніки в момент часу, відповідає інтервалу дискретизації T ;

P – граничне значення градієнта.

При визначенні порогового значення градієнта P встановлена його залежність від відстані між автомобілями DS та кількістю автомобілів у групі NS . Імітаційна програма обчислює граничне значення градієнта для

будь-якого поєднання DS та NS. За результатами обчислень складено приблизну робочу таблицю порогових значень градієнта та побудовано ізометричне зображення системи кривих другого порядку загального виду:

$$P = (NS + q)^2 \cdot (DS + \rho)^2, \quad (2.6)$$

де q, ρ – корені рівняння.

Розглянемо можливості практичного використання запропонованого методу керування дорожнім рухом в умовах функціонування АСУДР.

Проаналізуємо структуру інформації, що надходить з контрольного пункту на диспетчерський пункт [55]. На контрольних пунктах на основі даних, що збираються з детекторів транспорту, розташованих уздовж дороги, формуються та усередненні за 5-ти хвилинний інтервал масиви інформації наступного складу:

- середня швидкість руху;
- інтенсивність руху по смугах та за напрямками;
- склад потоку за напрямками;
- дані про погодні умови, що надходять із датчиків.

На диспетчерському пункті масиви, що надходять, оновлюються кожні 5 хвилин, і на основі оновлених даних формується масив інформації, усереднений за 15 хвилин[1, 56]. Такий чином диспетчер приймає рішення щодо критичних ситуацій, що виникають, користуючись середніми значеннями параметрів транспортного потоку.

При відповідному рівні завантаження відбувається колонний рух з невеликими розривами між групами; обгони відсутні; в потоці переважають інтервали менше 2 секунд; спостерігається значне коливання інтенсивності руху протягом години; основний вид ДТП – зіткнення, основна причина ДТП – порушення правил маневрування; коефіцієнт завантаження дороги рухом $Z = 0,5 \dots 0,75$ [64]

Збільшення завантаження веде до різкої зміни умов маневрування автомобілів. Межа, при якій найшвидші автомобілі вже не можуть реалізувати обгони, мають відповідні рівні завантаження. Також різні рівні завантаження дороги можуть спостерігатися на приміській зоні на окремих вузьких ділянках.

Часові інтервали, що характеризують маневрування автомобілів на багатосмугових дорогах, залежить від інтенсивності руху. Зі зростанням інтенсивності руху потреба у зміні смуг зростає, тоді як можливість її реалізації безупинно зменшується. Це відбувається через скорочення кількості інтервалів на попутних смугах руху, які можуть бути прийняті для маневрування [65 – 67].

Дані, отримані щодо розподілу транспортних засобів, показують, що зі збільшенням інтенсивності руху зайнятість смуг практично однакова. З припиненням обгонів потік автомобілів може значною мірою змінюватися і ущільнюватися за рахунок зменшення інтервалів між автомобілями до мінімальних, перш ніж досягне рівня пропускної здатності. У цьому випадку автомобілі рухатимуться суцільною колоною на відстанях один від одного, що визначаються умовами сприйняття водіями дорожньої обстановки, експлуатаційним станом автомобілів [69, 70, 75]. Можна зробити висновок, що розглянуті умови руху, що характеризуються різними рівнями завантаження, відповідають умовам виникнення ударної хвилі. Виходячи з визначення критичної ситуації такі умови руху можуть бути визначені як критична ситуація «Ударна хвиля».

Таким чином, керування транспортним потоком при виникненні «ударної хвилі» можна вводити при досягненні інтенсивності руху, що дорівнює 0,75 величини пропускної здатності. Однак у аналізованій АСУДР для забезпечення резерву інтенсивності використовується такий параметр, як максимальна інтенсивність даних умов руху, що позначається як $N_{\max}$ [51, 63]. Умови руху визначаються середньою швидкістю потоку $\bar{V}$ складом транспортного потоку, що задається довжиною автомобіля l і станом

проїжджой частини, що задається величиною коефіцієнта зчеплення ϕ . Вони формують величину середнього часового інтервалу між автомобілями $\bar{t}$, отже, і величину відстані між автомобілями DS . Тому управління за критерієм «ударна хвиля» пропонується вводити при інтенсивності N , що дорівнює $0,75$ максимальної інтенсивності $N_{\max}$ для існуючих умов руху.

Для практичної реалізації запропонованого методу визначення небезпеки зіткнення при виникненні хвилеподібного процесу необхідне доопрацювання технічного забезпечення контрольного пункту та програмного забезпечення контрольного та диспетчерського пунктів.

- обмеження швидкості руху;
- обмеження в'їзду на автомобільну дорогу;
- закриття автомобільної дороги.

Управління рухом на багатосмуговій автомобільній дорозі при виникненні хвилеподібного процесу має здійснюватися наступним чином:

Здійснюється постійний контроль за рівнем інтенсивності по напрямках руху. Максимальні значення інтенсивності різних умов руху $N_{\max}$ занесені в постійну пам'ять центрального процесора. При досягненні інтенсивності N рівня $0,75 N_{\max}$, що відповідає існуючим умовам руху, включається програма відпрацювання критичної ситуації «ударна хвиля».

За даними стан транспортного потоку в зонах контролю, що надходять з контрольного на диспетчерського пункту, підпрограма обчислює швидкість хвилі і величину градієнта, накопичує, усереднює їх за кожні 5 хвилин і заносить оперативну пам'ять центрального процесора.

Якщо усереднені значення швидкості хвилі та величини градієнта перевищать розрахункові значення, обчислені за формулами апроксимації та занесені в постійну пам'ять центрального процесора, підпрограма переходить в режим оцінки функції ризику F .

Визначаються миттєві значення швидкості, прискорення хвиль і величини градієнта за інтервалами дискретизації часу.

Аналізується функція ризику F . При $F(VC; AC; G) = 1$ дається висновок, що у зоні контролю виникла аварійна ситуація (затор, ДТП).

Приймається рішення про зниження швидкості руху на попередніх ділянках дороги, що реалізується подачею команд управління на дорожні знаки обмеження швидкості (зменшення керуючої установки на один-два дискрети) та керовані інформаційне табло (увімкнення символу «ударна хвиля»).

Протягом 5-10 хвилин (тобто з дискретністю, прийнятою в системі інформаційного забезпечення АСУДР) проводиться перший етап контролю з ліквідації критичної ситуації. Якщо умова $F(VC; AC; G) = 1$ продовжує виконуватися, тобто критична ситуація зберігається, видається команда на керовані інформаційні табло на обмеження надходжень автомобілів на основну автомобільну дорогу з другорядних доріг та примикань, розташованих до зони контролю хвилі.

В іншому випадку (при розсіюванні хвилі) дається команда вимкнення символу «ударна хвиля», а швидкість підтримується зниженою ще 5 - 10 хвилин, а потім подається команда на установку попереднього значення швидкості руху.

Проводиться другий етап контролю за ліквідацією критичної ситуації. При збереженні критичної ситуації, тобто виконання умови $F(VC; AC; G) = 1$, в наступні 5-10 хвилин видається команда на багатопозиційні табло на закриття автомобільної дороги. На другорядних дорогах також надається повідомлення про неможливість в'їзду на основну автомобільну дорогу.

Алгоритм керування транспортним потоком у разі виникнення хвилеподібного процесу представлений на (рис. 2.23).

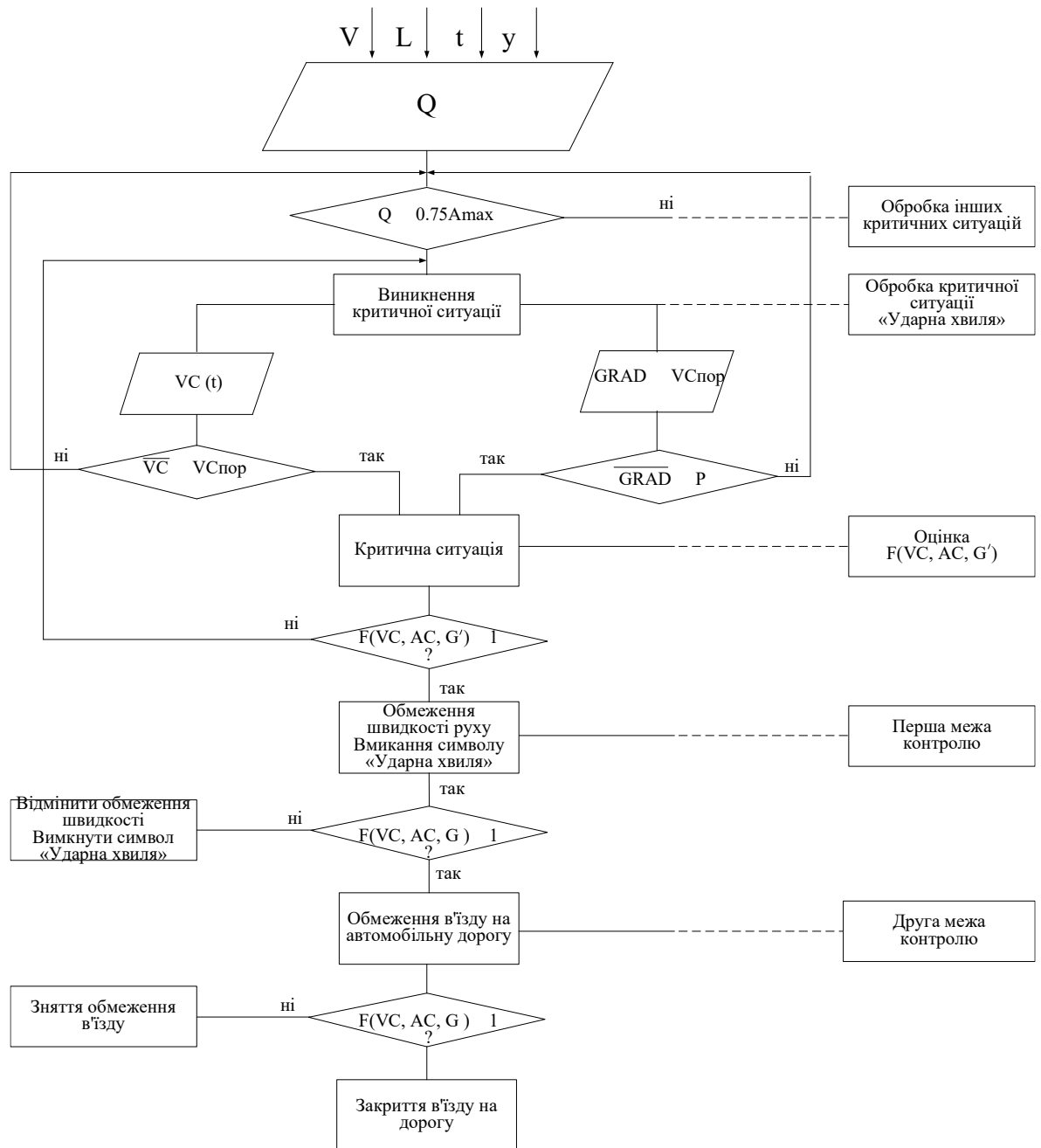


Рисунок 2.23 – Блок-схема управління дорожнім рухом у разі виникнення критичної ситуації «Ударна хвиля».

Взаємодія характеристик системи «Дорожні умови – транспортні потоки» зводиться до їх впливу на стан транспортного потоку, який значною мірою визначається поведінкою водія [62]. Вихідним параметром цієї взаємодії є розподіл тимчасових інтервалів між автомобілями в транспортному потоці.

У транспортному потоці розрізняють інтервали двох типів:

- виміряні безпосередньо між автомобілями, що рухаються

(рис. 2.24 а),

– між заднім бампером переднього автомобіля і переднім бампером заднього (рис. 2.24 б).

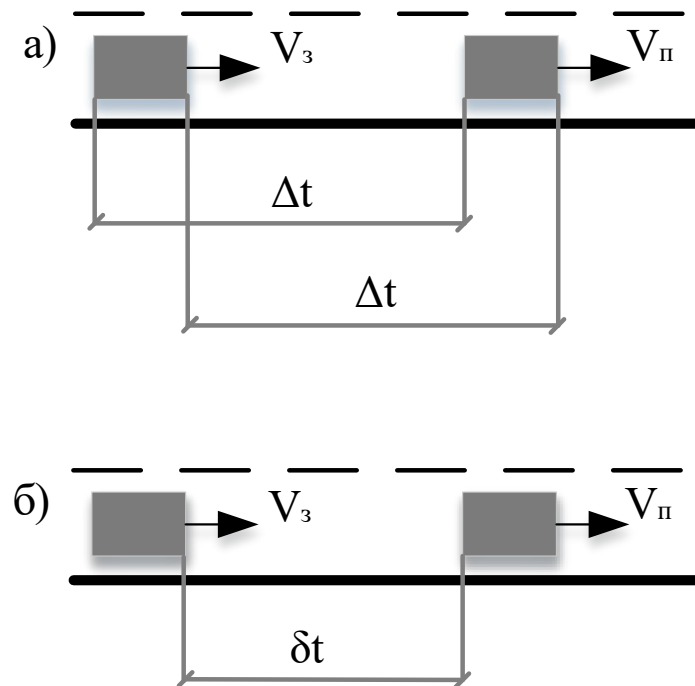


Рисунок 2.24 – Типи часових інтервалів між автомобілями в транспортному потоці

На відміну від дистанції часовий інтервал легко піддається виміру.

Знаючи величини часових інтервалів та швидкості автомобілів, у разі потреби, можна легко перейти до інтервалу по довжині ($\Delta S = \Delta t V$) або дистанції ($d = \delta t V$). Розподіл часових інтервалів у транспортному потоці має випадковий характер внаслідок впливу на нього великої кількості факторів. Більшість досліджень, проведених раніше, стосувалися розподілу інтервалів у транспортних потоках невисокої щільності.

Характер зміни параметрів розподілу часових інтервалів в щільних транспортних потоках повинен мати свої особливості. Дія таких самих чинників на щільний транспортний потік, ймовірно, меншою мірою позначатиметься на зміні його характеристик.

З погляду визначення величини пропускної здатності цікавить

дослідження мінімальних часових інтервалів [58 – 61]. Такі інтервали спостерігаються у щільних транспортних потоках, що рухаються в режимі, близькому до режиму пропускної здатності. При виборі інтервалу до автомобіля, що йде попереду, в щільному транспортному потоці особливу значущість набуває поведінка інших водіїв. Це одна з причин того, що щільний транспортний потік зберігає імовірнісний характер, хоча він і стає менш помітним порівняно з нижчими потоками щільності.

Рухаючись у щільному транспортному потоці, водій вибирає мінімальний інтервал до автомобіля, що йде попереду в залежності від швидкості руху цього автомобіля, його типу, керуючись при цьому власним досвідом, залежно від рівня кваліфікації та психофізіологічних особливостей.

Оскільки всі водії відрізняються один від одного, то відстань до автомобіля, що йде попереду, незважаючи на вагомість таких факторів, як швидкість і склад транспортного потоку, все-таки не визначаються однозначно як функція цих факторів.

Таким чином, одним з аспектів гіпотези про можливість використання розподілу часових інтервалів для оцінки-величини пропускної здатності є те, що при русі транспортного потоку в режимі, близькому до режиму пропускної здатності, автомобілі рухаються з різними інтервалами, тобто має місце їх розподіл. Спостереження за рухом щільних транспортних потоків, що рухаються в режимах, близьких до режиму пропускної здатності, дозволили встановити, що розподіл тимчасових інтервалів між автомобілями в таких транспортних потоках досить точно описується нормальним логарифмічним законом розподілу [71 – 74].

Так як тимчасовий інтервал між автомобілями є безперервною випадковою величиною, то для завдання закону її розподілу достатньо задати щільність розподілу ймовірностей $\varphi(x)$ [75].

Щільність ймовірностей логарифмічного розподілу визначається рівністю:

$$\varphi(x, x_0, \sigma^z) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0 \\ \frac{1}{M_1 \sigma_z(x-0,5)\sqrt{2\pi}} l^{-\frac{u^2}{2}}, & \text{при } x > 0, \end{cases} \quad (2.7)$$

Функція розподілу дорівнює:

$$F(x, x_0, \sigma^z) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u l^{-\frac{t^2}{2}} dt, & \text{при } x > 0, \end{cases}$$

$$u = \frac{\lg(x-0,5) - \lg x_0}{\sigma_z}, \quad (2.8)$$

$$M_1 = \frac{1}{\lg e} = 2,303. \quad (2.9)$$

Логарифмічно нормальний закон розподіл визначається двома параметрами x_0 та σ_z

Величина $\lg x_0$ є математичним очікуванням випадкової величини $z = \lg x$, σ_z – є її середнім квадратичним відхилення.

Математичне очікування, дисперсія та середнє квадратичне відхилення випадкової величини x рівні:

$$\bar{x} = x_0 \cdot e^{2,651\sigma_z^2}, \quad (2.10)$$

$$D = \bar{x}^2 \left[\left(\frac{\bar{x}}{x_0} \right)^2 - 1 \right], \quad (2.11)$$

$$\sigma = \sqrt{D} = \bar{x} \sqrt{\left(\frac{\bar{x}}{x_0} \right)^2 - 1}, \quad (2.12)$$

Крива щільності ймовірностей є графіком функції ймовірностей $y = \varphi(x)$, де $\varphi(x)$ – щільність розподілу ймовірностей. За допомогою щільності розподілу можна визначити ймовірність попадання випадкової величини ξ в будь-який інтервал $x_1 - x_2$.

Функція розподілу ймовірностей дорівнює інтегралу від щільності розподілу і є ймовірністю того, що випадкова величина ξ набуває значення, меншого за деякі числа, x , $F(x) = P\{\xi < x\}$.

Другим аспектом висунутої гіпотези є твердження про те, що для смуги руху на прямій горизонтальній ділянці дороги при забезпеченій видимості за різних погодних умов розподіл інтервалів є функцією наступних факторів: 1

$$\Delta t = f(N, \bar{V}, C, \varphi), \quad (2.13),$$

де N – інтенсивність руху транспортного потоку, авт/год;

$\bar{V}$ – середня швидкість, км/год;

C – складу транспортного потоку, авт;

φ – коефіцієнт зчеплення коліс автомобіля із поверхнею дороги.

Інтенсивність руху один з основних факторів, що впливають на параметри інтервалів у транспортному потоці.

$$K_{B.C} = \frac{\sigma_{N_1} - \sigma_{N_2}}{t_{mod_1} - t_{mod_2}}, \quad (2.14)$$

де $\sigma_{N_1}, \sigma_{N_2}$ – середні квадратичні відхилення при різних значеннях інтенсивності руху;

t_{mod_1}, t_{mod_2} – модальні значення інтервалів при тих же інтенсивностях.

На розподіл мінімальних часових інтервалів також впливатиме поєднання різних типів транспортних засобів. Інтервал до автомобіля, що йде попереду, буде залежати від типів автомобілів, що утворюють пару. При різноманітному складі транспортного потоку середній інтервал між автомобілями слід

визначати з урахуванням можливості поєднання автомобілів, що рухаються один за одним:

$$\begin{aligned}\Delta t = & p_{\text{л}}^2 \Delta t_{\text{лп}} + p_{\text{л}} p_{\text{в}} \Delta t_{\text{лв}} + p_{\text{л}} p_{\text{а}} \Delta t_{\text{ла}} + \\ & + p_{\text{в}} p_{\text{а}} \Delta t_{\text{ва}} + p_{\text{л}}^2 \Delta t_{\text{лп}} + p_{\text{в}} p_{\text{а}} \Delta t_{\text{ва}} + \\ & + p_{\text{а}} p_{\text{л}} \Delta t_{\text{ал}} + p_{\text{а}} p_{\text{в}} \Delta t_{\text{ав}} + p_{\text{а}}^2 \Delta t_{\text{аа}},\end{aligned}\quad (2.15)$$

де $p_{\text{л}}$, $p_{\text{в}}$, $p_{\text{а}}$ – фактична можливість появи легкового автомобіля, вантажного автомобіля, автопоїзда (виходячи зі складу транспортного потоку);

$t_{\text{л}}$, $t_{\text{в}}$ – тимчасові інтервали між різними типами транспортних засобів з урахуванням їхньої довжини.

Залежність «швидкість – щільність» дозволяє отримати залежність часових інтервалів між автомобілями від швидкості, згідно з якими довжина дистанції між автомобілями при заторах дорівнює одному метру:

$$\bar{V} = v_0 \ln \frac{q_{\text{max}}}{q}, \quad (2.16)$$

$$\bar{V} = v_0 \ln \frac{(\bar{b} + \bar{l})}{\bar{V} \cdot \bar{t}}, \quad (2.17)$$

$$\bar{t} = \frac{(\bar{b} + \bar{l}) \cdot e^{\frac{V}{v_0}}}{\bar{V}}, \quad (2.18)$$

де $\bar{V}$ – середня швидкість руху транспортного потоку;

$\bar{t}$ – середній часовий інтервал між автомобілями;

$\bar{l}$ – середня довжина автомобіля у транспортному потоці, м;

v_0 – швидкість яка відповідає пропускній здатності, км/год;

$\bar{b}$ – середня величина відстані між автомобілями при заторі.

Відстань між автомобілями, що зупинилися при заторі при швидкості руху, що відповідає пропускній і не основа натурального логарифму.

У реальних умовах руху у щільному транспортному потоці 30-40% водіїв рухаються із порушенням безпечного інтервалу слідування, тобто спостерігаються небезпечні умови руху внаслідок неприпустимо малих часових інтервалів між автомобілями, що спричиняє виникнення ДТП, пов'язаних із попутними зіткненнями тобто, говорячи про мінімальні часові інтервали слідування в транспортному потоці, поняття мінімального безпечного інтервалу.

Мінімально допустима відстань до автомобіля, що йде попереду, визначається виходячи з умови неможливості зіткнення автомобілів:

$$V_3 t_p + V_3 t - \frac{j_3 t^2}{2} + l_6 = x_o + V_n t - \frac{j_n t^2}{2}, \quad (2.19)$$

де V_3, V_n – швидкості переднього та заднього автомобілів;

j_3, j_n – уповільнення переднього та заднього автомобілів;

t_p – час реакції водія;

x_o – координата переднього автомобіля;

l_6 – зазор безпеки;

t – час гальмування.

Можуть бути такі випадки:

1. Автомобілі однакових типів рухаються із різними швидкостями. Тоді $x_o = V_3 t_p + l_6$, тобто безпечна дистанція буде сумою шляху, пройденого за час реакції водія та зазору безпеки.

2. Автомобілі різних типів рухаються з однаковими швидкостями, тоді

$$x_o = V_3 t_p + \frac{j_n t^2}{2} - \frac{j_3 t^2}{2} + l_6, \quad (2.20)$$

$$(j_n - j_3) t^2 + V_3 t_p - x_o + l_6 = 0,$$

$$t = \sqrt{\frac{(x_0 - v_3 t_p - l_0)^2}{j_n - j_3}}, \quad (2.21)$$

$$1) \begin{cases} x_0 > V_3 t_p + l_0; \\ j_n > j_3, \end{cases} \quad 2) \begin{cases} x_0 < V_3 t_p + l_0; \\ j_n < j_3, \end{cases}$$

3. Автомобілі різних типів рухаються з різними швидкостями. Тоді

$$\frac{(j_n - j_3)t^2}{2} + (V_n - V_3)t + V_3 t - x_0 + l_0 = 0, \quad (2.22)$$

$$t_{1,2} = \frac{-(V_3 - V_n) \pm \sqrt{(V_3 - V_n)^2 - 2(j_n - j_3)(V_3 t_p - x_0 + l_0)}}{j_n - j_3}, \quad (2.23)$$

Рівняння матиме рішення, якщо

$$1) j_n \neq j_3,$$

$$2) (V_3 - V_n)^2 - 2(j_n - j_3)(V_3 t_p - x_0 + l_0) \geq 0,$$

$$V_3 t_p - x_0 + l_0 \leq \frac{(V_n - V_3)^2}{2(j_n - j_3)}, \quad (2.24)$$

$$x_0 \geq V_3 t_p - \frac{(V_n - V_3)^2}{2(j_n - j_3)} + l_0, \quad (2.25)$$

Таким чином, завдання управління щільним транспортним потоком зводиться до впливу на його параметри таким чином, щоб за існуючого рівня характеристик водіїв, автомобілів, ділянки дороги оптимізувати інтервал слідування, підвищивши тим самим безпеку дорожнього руху.

Облік імовірнісного характеру пропускної здатності у процесі управління

рухом дає змогу підвищити гнучкість впливів, що управляють, збільшити період ефективного використання існуючих дорожніх умов, підвищити швидкість руху, знизити транспортні затримки і рівень аварійності.

Незалежно від завдань управління для вироблення оптимальних керуючих впливів необхідно знання величини пропускної здатності тієї чи іншої ділянки дороги, яка характеризуватиме стан системи «Дорожні умови – транспортні потоки» у конкретний момент часу [68 – 71].

Серед типових елементів управління, з точки зору поставленої задачі визначення пропускної здатності як імовірнісної просторово-часової характеристики на основі розподілу тимчасових інтервалів, слід виділити перегони між великими перетинами та примиканнями, на яких можливий розподіл швидкостей та інтенсивності руху та перегони в населених пунктах.

При цьому для прийняття рішень з управління рухом необхідно мати дані про величину пропускної здатності в поточний момент часу, а також необхідно знати, яким резервом пропускної здатності в даний момент часу володіє система управління.

Особливого важливим є знання резерву пропускної здатності при управлінні дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст.

Для опису транспортного потоку, що рухається в режимі пропускної здатності, використовувалась гідродинамічна модель руху транспортного потоку:

$$N = v_0 q \ln \frac{q_{max}}{q}, \quad (2.26)$$

Виразивши величину щільності через динамічний габарит автомобіля, отримаємо:

$$N = v_0 q \ln \left(\frac{\bar{d} + \bar{l}}{\bar{b} + \bar{l}} \right), \quad (2.27),$$

де N – інтенсивність руху, авт/год;

v_0 – швидкість яка відповідає пропускній здатності, км/год;

q – щільність транспортного потоку, авт/км;

$\bar{d}$ – середня величин дистанції між автомобілями в транспортному потоці, м;

$\bar{l}$ – середня довжина автомобіля у транспортному потоці, м;

$\bar{b}$ – середня величина відстані між автомобілями при заторі, м.

$$\bar{V} = v_0 \ln \left(\frac{\bar{d} + \bar{l}}{\bar{b} + \bar{l}} \right), \quad (2.28)$$

$$v_0 = \frac{\bar{V}}{\ln \left(\frac{\bar{d} + \bar{l}}{\bar{b} + \bar{l}} \right)}, \quad (2.29)$$

Використовуючи величину середнього часового інтервалу між автомобілями, формулу матиме вигляд:

$$v_0 = \frac{\bar{V}}{\ln \left(\frac{\bar{t} \cdot \bar{v}}{\bar{b} + \bar{l}} \right)}, \quad (2.30)$$

де $\bar{t}$ – середній часовий інтервал між передніми бамперами автомобілів, що рухаються один за одним. З іншого боку, середній часовий інтервал між автомобілями у транспортному потоці залежно від середньої довжини автомобіля та середньої швидкості руху дорівнює:

$$\bar{t} = \frac{\bar{d} + \bar{l}}{\bar{V}}, \quad (2.31)$$

Підставивши замість $\bar{V}$ вираз (2.29), отримаємо:

$$\bar{t} = \frac{\bar{d} + \bar{l}}{v_0 \ln\left(\frac{\bar{d} + \bar{l}}{\bar{b} + \bar{l}}\right)}, \quad (2.32)$$

Величина пропускної здатності може бути досягнута у випадку, коли транспортний потік рухатиметься зі швидкістю, при якій спостерігатимуться мінімальні часові інтервали між автомобілями:

$$\bar{t}_{min} = \frac{\bar{d}_0 + \bar{l}}{v_0}, \quad (2.33)$$

де $\bar{d}_0$ – середня величина дистанції між автомобілями при швидкості транспортного потоку. Величина залежить від величини оптимальної швидкості руху, яка визначається умовами руху, середньої довжини автомобіля, а також станом покриття, яке залежить від коефіцієнта зчеплення

$$\bar{d}_0 = \bar{f}(\bar{v}_0; \bar{l}; \bar{\varphi}), \quad (2.34)$$

Тому при визначенні величини пропускної здатності необхідно враховувати зміну дистанції зі зміною коефіцієнта зчеплення, тоді величина пропускної здатності визначиться наступним виразом:

$$A = \frac{3600}{\bar{t}_{min}} = \frac{3600 \cdot \bar{v}_0}{\bar{d}_0 + \bar{l}}, \quad (2.35)$$

Таким чином, величина пропускної здатності визначається з використанням величини середнього мінімального інтервалу, що є однією з характеристик розподілу часових інтервалів у транспортному потоці, яке є функцією складу транспортного потоку, величини швидкості, відповідної пропускної здатності та погодних умов [76 – 85, 87].

Величина $\bar{d} + \bar{l}$ у формулі (2.32) являє собою середню відстань між передніми автомобілями при будь-якій середній швидкості транспортного потоку:

$$\bar{d} + \bar{l} = (\bar{b} + \bar{l}) e^{\frac{\bar{V}}{\bar{v}_0}}, \quad (2.36)$$

або з використанням середнього часового інтервалу:

$$\bar{t} \cdot \bar{V} = (\bar{b} + \bar{l}) e^{\frac{\bar{V}}{\bar{v}_0}}, \quad (2.37)$$

Як видно з цього виразу, ця величина залежить від середньої довжини автомобіля в транспортному потоці, відстані між автомобілями, що зупинилися при заторі і від співвідношення величин середньої та оптимальної швидкостей транспортного потоку.

Таким чином, для будь-якої величини середньої швидкості транспортного потоку величина середнього часового інтервалу між автомобілями дорівнюватиме:

$$\bar{t} = \frac{[\bar{d}=f(\bar{V};\bar{l};\bar{\varphi})]+\bar{l}}{\bar{V}} = \frac{[\bar{d}=f(\bar{V};\bar{l};\bar{\varphi})]+\bar{l}}{v_0 \ln\left(\frac{[\bar{d}=f(\bar{V};\bar{l};\bar{\varphi})]+\bar{l}}{\bar{b}+\bar{l}}\right)}, \quad (2.38)$$

Величина максимальної інтенсивності, що відповідає конкретній величині середньої швидкості транспортного потоку, з урахуванням величини середнього часового інтервалу між автомобілями визначиться таким чином:

$$N_{max} = \frac{3600}{t} = \frac{3600 \bar{v}_0 \ln\left(\frac{[\bar{d}=f(\bar{V};\bar{l};\bar{\varphi})]+\bar{l}}{\bar{b}+\bar{l}}\right)}{[\bar{d}=f(\bar{V};\bar{l};\bar{\varphi})]+\bar{l}}, \quad (2.39)$$

Наявність даних про інтенсивність руху дозволяє постійно оцінювати

величину межі пропускної здатності. У цьому інтерес становить величина, яку умовно можна назвати показником темпу зміни величини резерву:

$$r = \frac{1}{T} (A - N) , \quad (2.39)$$

де A – величина пропускної здатності, авт/км;

N – поточне значення інтенсивності руху, авт/год;

T – час, протягом якого відбувається зміна величини інтенсивності руху, год.

2.4 Обґрунтування середніх швидкостей руху на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст в залежності від умов руху

Теоретично визначена величина середньої швидкості руху транспортного потоку необхідна як вихідне дане для прийняття рішення щодо призначення швидкості руху транспортного потоку в критичних ситуаціях, а також для виведення значення швидкості на знак «Рекомендована швидкість».

Принципи визначення теоретичного значення середньої швидкості руху транспортного потоку

Середня швидкість руху транспортного потоку в задовільних погодних та дорожніх умовах, тобто за відсутності критичних ситуацій, залежить від таких характеристик:

а) дорожніх умов: ширини проїжджої частини; кількості смуг руху; геометрії дороги; якості покриття.

б) транспортного потоку: інтенсивності руху; щільність руху; складу транспортного потоку.

В результаті досліджень, проведених на дорогах I категорії, було визначено, що їх геометричні характеристики знижують швидкість руху автомобілів лише тоді, коли подовжні ухили перевищують 3%, а радіуси горизонтальної кривої менше 600 м.

Тому для врахування взаємозв'язків між основними характеристиками транспортного потоку для кожної смуги руху доріг I категорії пропонується використовувати наступну залежність [88]:

$$N = 3.25 \cdot q \cdot \ln \frac{q_{max}}{q}, \quad (2.40)$$

де N – інтенсивність руху, авт/год;

q – щільність потоку, авт/км;

q_{max} – максимальна щільність потоку для даного складу, авт/км, при цьому середню швидкість транспортного потоку слід визначити за формулою:

$$\bar{V} = 23.75 \cdot \ln \frac{q_{max}}{q}, \quad (2.41)$$

або з рівняння:

$$\bar{V} = \frac{N}{q_{max}} \cdot e^{\frac{\bar{V}}{23.75}}. \quad (2.42)$$

Рівняння (2.40) є трансцендентним, і рішення може бути отримане лише наближеними методами.

Виходячи з вищенаведених виразів (2.40) та (2.42), можливі два методи теоретичного визначення середньої швидкості руху транспортного потоку:

- за миттєвою щільністю та складом потоку (рівняння (2.40));
- по інтенсивності та складу потоку (рівняння (2.42)).

Визначення середньої швидкості руху транспортного потоку за миттєвою щільністю та складом транспортного потоку.

У рівнянні (2.41) вихідними даними є миттєва щільність q , яка визначається в результаті натурних спостережень та величина максимальної щільності транспортного потоку для даного складу ($q_{\max}$), що визначається теоретично, за такою формулою:

$$q_{\max} = \frac{1000}{d_{\min} + \bar{l}}, \quad (2.43)$$

де $\bar{l}$ – середня довжина автомобіля у транспортному потоці даного складу, м;

$d_{\min}$ – дистанція між автомобілями у заторі – 1 м

Величина середньої довжини автомобіля у транспортному потоці визначається за формулою:

$$\bar{l} = \frac{\sum n_i \cdot k_i}{\sum n_i}, \quad (2.44)$$

де n_i – кількість автомобілів даного типу, од.;

k_i – відповідний коефіцієнт приведення.

Коефіцієнти приведення зведено у (табл. 2.3):

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти приведення до легкового автомобіля

Тип ТЗ	Коефіцієнт приведення
Мотоцикл без коляски та мопед	0,5
Мотоцикл з коляскою	0,75
Легковий автомобіль	1,0
Вантажний автомобіль вантажопідйомністю, т:	
• до 1	1,0
• від 1 до 2	1,5
• від 2 до 6	2,0
• від 6 до 8	2,5
• від 8 до 14	3,0
• понад 14	3,5

Тип ТЗ	Коефіцієнт приведення
Автопоїзд вантажопідйомністю, т:	
• до 12	3,5
• від 12 до 20	4,0
• від 20 до 30	5,0
• понад 30	6,0
Колісний трактор з причепами вантажопідйомністю, т:	
• до 10	3,5
• понад 10	5,0
Автобус	3,0
Автобус зчеплений (здвоєний)	5,0

Величина $\bar{l}$ може бути також визначена за наступною залежністю:

$$\bar{l} = \frac{k_{\text{л}}\gamma \cdot l_{\text{в}}\delta \cdot l_{\text{а}}k + l_{\text{ан}}\beta + l_{\text{ап.п}}\varphi}{100}, \quad (2.45),$$

де $l_{\text{л}}$ – довжина легкового автомобіля, м;

$l_{\text{в}}$ – довжина вантажного автомобіля, м;

$l_{\text{а}}$ – довжина автобуса, м;

$l_{\text{ан}}$ – довжина автопоїзду, м;

$l_{\text{ан.п}}$ – довжина автопоїзда із причепом, м;

γ – відсоток легкових автомобілів;

δ – відсоток вантажних автомобілів;

k – відсоток автобусів;

β – відсоток автопоїздів;

φ – відсоток автопоїздів із причепом.

Визначення середньої швидкості руху транспортного потоку за інтенсивністю руху та складом транспортного потоку.

Як зазначалося вище, рішення рівняння (2.42) щодо $\bar{V}$ можливе тільки наближеними методами.

Визначивши величину q_{max} за залежністю (2.43) та відношення $\frac{N}{q_{max}}$ за допомогою складених таблиць (таблиця 2.4) знаходимо величину середньої швидкості руху транспортного потоку.

Таблиця 2.4 – Визначення швидкостей руху транспортного потоку

$\bar{V}$, км/год	$\frac{N}{q_{max}}$	$\bar{V}$, км/год	$\frac{N}{q_{max}}$	$\bar{V}$, км/год	$\frac{N}{q_{max}}$
20	8,62	44	6,9	68	3,88
21	8,68	45	6,77	69	3,78
22	8,73	46	6,63	70	3,67
23	8,74	47	6,50	71	3,57
24	8,73	48	6,36	72	3,47
25	8,74	49	6,23	73	3,33
26	8,69	50	6,09	74	3,28
27	8,65	51	5,96	75	3,19
28	8,62	52	5,82	76	3,10
29	8,55	58	5,69	77	3,01
30	8,47	54	5,56	78	2,92
31	8,40	55	5,43	79	2,84
32	8,31	56	5,30	80	2,76
33	8,23	57	5,17	81	2,67
34	8,12	58	5,04	82	2,60
35	8,02	59	4,92	83	2,52
36	7,91	60	4,80	84	2,44
37	7,79	61	4,68	85	2,37
38	7,68	62	4,56	86	2,30
39	7,54	63	4,44	87	2,23
40	7,42	64	4,32	88	2,16
41	7,29	65	4,21	89	2,10
42	7,17	66	4,10	90	2,03
43	7,04	67	3,99		

Призначення рекомендованих швидкостей руху під час управління дорожнім рухом.

Розробка теоретичних основ автоматизованих систем керування рухом на автомобільних дорогах показала, що керування транспортним потоком можливе і необхідне не тільки в критичних ситуаціях, але і в ординарних умовах руху [84, 88].

Найбільш складними з точки зору призначення величин є обмеження і рекомендація швидкостей руху на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст, як на основному перегоні у населених пунктах, де практично виникає необхідність обмеження величини швидкості руху (згори, знизу, або зверху та знизу одночасно), перегони на автомобільних дорогах вимагають рекомендації величини швидкості руху для підтримання заданого рівня економічності, безпеки та зручності перевезень.

Рекомендовану швидкість руху в типових умовах необхідно призначати в залежності від таких факторів: інтенсивності, щільності та складу транспортного потоку, причому в конкретних дорожніх умовах.

При цьому основною характеристикою, яка враховує вплив усіх факторів, є середня швидкість руху транспортного потоку як вихідна характеристика процесу руху в тих чи інших умовах руху.

Використовуючи деякі припущення моделі транспортного потоку, яка застосовується, можна стверджувати, що середня швидкість руху не може перевищувати деяку граничну величину, яку можна представити як середню швидкість руху транспортного потоку у вільних умовах руху:

$$V_B = \frac{\sum_{i=\Phi}^n \bar{V} \alpha_i}{\sum_{i=\Phi}^n \alpha_i}, \quad (2.46)$$

де $\sum_{i=\Phi}^n \bar{V} \cdot \alpha_i = \bar{V}_1 \cdot \alpha_1 + \bar{V}_2 \cdot \alpha_2 + \bar{V}_3 \cdot \alpha_3 + \bar{V}_4 \cdot \alpha_4$

$\bar{V}_1 ; \bar{V}_2 ; \bar{V}_3 ; \bar{V}_4$ – відповідно, середні швидкості руху для легкових, автобусів, вантажних автомобілів, автопоїздів та автопоїздів з причепом;

$\alpha_1 ; \alpha_2 ; \alpha_3 ; \alpha_4$ – відповідний вміст у потоці розглянутих типів транспортних засобів.

Для прикладу наведемо результати досліджень середніх вільних швидкостей руху для різних типів автомобілів та умов руху (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Середні вільні швидкості руху за різних умов руху

Категорія дороги	Кількість смуг руху	Середні вільні умови руху км/год				
		Легкові	Автобуси	Вантажні	Автопоїзди	Автопоїзди з причепом
I _a	6	85.00	73.40	62.00	70.40	70.40
I _б	4	83.40	68.30	64.70	66.10	66.10
II	2	76.40	62.60	62.60	63.00	63.00
III	2	70.60	57.80	57.80	57.60	57.60
IV	2	70.40	57.10	57.10	57.20	57.20

У зв'язку з тим, що у складі транспортного потоку протягом року відбуваються незначні зміни (не більше 7%), то є можливість на основі даних про розподіл інтенсивності руху за годинами доби, днями тижня та місяцями року визначати середню швидкість руху у будь-який момент перспективного періоду.

Для визначення величини швидкості руху, що рекомендується, необхідно (в залежності від результатів моделювання) врахувати, що точність визначення (вимірювання) величини швидкості руху практично становить ± 5 км/год, тобто величина швидкості руху, що рекомендується, повинна призначатися кратною 5 км/год у бік збільшення від середньої величини розрахункової швидкості руху. При визначенні величини швидкості руху, що рекомендується, а також для її контролю встановлюються межі, які обумовлюються середнім квадратичним відхиленням від її величини:

$$(V_p - \sigma) < V_p < (V_p + \sigma), \quad (2.47)$$

де V_p – швидкості руху, що рекомендується.

σ – середнє квадратичне відхилення від швидкості руху, що рекомендується.

Як показали результати досліджень, при неоднорідному транспортному потоці виникає потреба у визначенні двох значень σ :

σ_L – для легкових автомобілів;

σ_B – для вантажних автомобілів.

Значення швидкостей руху автобусів та автопоїздів знаходяться між значеннями швидкостей руху перших двох груп.

Зв'язок між середнім квадратичним відхиленням швидкості руху транспортного потоку та середніми квадратичними відхиленнями швидкостей руху легкових та вантажних автомобілів визначається залежністю:

$$\sigma = \frac{(\bar{V}_L + \sigma_L) - (\bar{V}_B + \sigma_B)}{2}, \quad (2.48)$$

$$\text{при } \bar{V}_B + \sigma_B \geq \bar{V}_L + \sigma_L, \text{ або } \sigma = \bar{V}_L - \bar{V}_B \text{ при } \bar{V}_B + \sigma_B \geq \bar{V}_L + \sigma_L,$$

де $\bar{V}_L; \bar{V}_B$ – відповідно середні швидкості руху легкових і вантажних автомобілів, км/год.

Виходячи з умов зв'язку середнього квадратичного відхилення та середньої швидкості руху [90]:

$$\sigma = 7,4^{-1} \cdot \bar{V}. \quad (2.49)$$

Формула для визначення середнього квадратичного відхилення швидкості руху неоднорідного транспортного потоку має вигляд

$$\sigma = \frac{(\bar{V}_L + 7,4^{-1} \cdot \bar{V}_L) - (\bar{V}_B + 7,4^{-1} \cdot \bar{V}_B)}{2}, \quad (2.50)$$

$$\text{при } \bar{V}_B + 7,4^{-1} \cdot \bar{V}_B \leq \bar{V}_L + 7,4^{-1} \cdot \bar{V}_L,$$

Слід підкреслити, що контроль граничного значення швидкості руху можна здійснювати і за величиною інтервалів слідування, які відповідають цим значенням (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Значення величин швидкостей руху кратних 5 км/год та відповідні їм області інтенсивності та інтервалів руху.

Значення швидкості при знакові 5.30	Зона інтенсивного руху, авт./год		Зона інтенсивного руху, с	
	від	до	від	до
25	983	1001	3,6	4,0
30	931	1015	3,8	4,4
35	861	983	4,0	4,7
40	786	931	4,4	5,4
45	707	861	4,7	6,0
50	557	861	4,7	8,3
55	488	786	5,4	10,3
60	426	707	6,0	13,7
70	300	557	8,3	13,7

Значення рекомендованих швидкостей руху призначаються і передаються диспетчером на інформаційні табло змінної інформації, що рекомендується, за напрямками руху.

Достатньо стабільні зміни інтенсивності руху як протягом години, так і протягом доби дають можливість призначати величину швидкості руху, що рекомендується, поширюючи її на наступну годину доби.

Висновки до розділу 2

За результатами аналізу дорожньо-транспортних пригод на ділянках підходу автомобільних доріг М-05 та М-06 до міста Києва було визначено ділянку дороги середня кількість ДТП на якій зростає. Понад 50 % всіх ДТП

припадає на 30-ти кілометрову зону віддаленості від межі міста (згідно з км+). Отже, для міста Києва довжина ділянки підходу становить 30 кілометрів. Довжину ділянки підходу для інших міст слід визначати аналогічним способом.

Розроблена модель управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст дозволяє динамічно оцінювати пропускну здатність та раціональну швидкість руху, виходячи з реального складу транспортного потоку та конфігурації ділянки автомобільної дороги. Це створює передумови для впровадження інтелектуальних транспортних систем на ділянках підходів до значних та найзначніших міст та регулювання транспортних потоків на них, зокрема в рамках систем адаптивного управління дорожнім рухом.

На основі розробленої математичної моделі удосконалено метод оперативного управління, який базується з урахуванням моделювання руху транспортних потоків в умовах реального часу.

Одним з найперспективніших шляхів розв'язання задач, пов'язаних з оптимізацією роботи автомобільного транспорту та підвищенням безпеки дорожнього руху, є застосування сучасних методів та засобів організації дорожнього руху, зокрема АСУДР або ITS. Найважливіше значення при розробці таких систем має моніторинг дорожнього руху в режимі реального часу. Результати досліджень другого розділу викладено у наступних публікаціях [55, 57, 62, 66, 67, 71, 74, 79, 84, 88].

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ДІЛЯНКАХ ПІДХОДУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ДО МІСТ

3.1 Управління дорожнім рухом при виникненні критичних ситуацій з урахуванням інформаційного забезпечення

Управління дорожнім рухом у загальному випадку здійснюється за п'ятьма етапами:

- 1) збір, передача та обробка інформації про стан системи «Дорожні умови – транспортні потоки»;
- 2) оцінка існуючого стану системи;
- 3) прогнозування можливих станів системи;
- 4) вибір оптимального рішення;
- 5) реалізація обраного рішення.

У свою чергу, технологією процесу управління в АСУДР на автомобільних дорогах передбачається наявність трьох основних підсистем:

- а) Підсистеми збору та обробки інформації про стан системи «Дорожні умови – транспортні потоки» (підсистеми інформаційного забезпечення АСУДР).
- б) Підсистеми ухвалення рішення про метод управління рухом (підсистеми математичного забезпечення АСУДР).
- в) Підсистеми передачі та подання прийнятого рішення щодо управління для учасників руху (підсистеми інформаційного відображення АСУДР).

Наявність цих підсистем забезпечує можливість практичної реалізації зазначених етапів управління, при цьому підсистемою математичного забезпечення вирішуються найбільш важливі, з точки зору стратегії управління задачі оцінки стану об'єкта управління, його прогноз та прийняття рішення про метод управління [89 – 93]. Тому для забезпечення можливості

програмної реалізації оперативного управління в АСУДР необхідна розробка математичного забезпечення управління дорожнім рухом. Розглянемо це питання з погляду загальних принципів імітаційного моделювання систем управління.

Імітаційне моделювання – це математична модель, що поєднує в собі, як математичні, так і логічні поняття, які виконують симуляцію системи в реальному режимі часу за допомогою програмного забезпечення.

Імітаційне моделювання транспортного потоку призначене для вирішення проблем в реальному режимі часу, використовуючи при цьому мінімум затрат, роблячи це швидко і безпечно, оскільки воно не потребує фізичного втілення рішень на практиці [89 – 92, 96]. Це зручний, наглядний, простий для розуміння та перевірки інструмент для аналізу. Імітаційне моделювання транспортного потоку допомагає знаходити оптимальні рішення організації дорожнього руху і дає чітке розуміння системи в загальному та рівня її складності. Реальні системи піддаються впливу різних критичних ситуацій, тому збурення в системі краще та ефективніше досліджувати саме із використанням імітаційних моделей.

У рамках функціонування АСУДР моделювання є основним апаратом теоретичного опису процесу управління дорожнім рухом. В даний час, коли проведення експериментальних досліджень процесу оперативного управління в АСУДР практично неможливе (у зв'язку з відсутністю практично діючих систем інформаційного забезпечення), тільки моделювання дає можливість вирішити завдання даного дослідження [97 – 103].

При вивченні будь-якого процесу методом моделювання необхідно, перш за все, побудувати математичну модель досліджуваного процесу. Математична модель реального процесу (системи) є тим формально описаним об'єктом, вивчення якого можливе математичними методами, в тому числі і за допомогою імітаційного моделювання. Під математичною моделлю процесу функціонування системи розуміють сукупність виразів (формул, рівнянь, нерівностей, логічних умов, елементів тощо), що визначають характеристики

станів системи в залежності від параметрів системи, вхідних сигналів, початкових умов і часу [93 – 95].

Залежно від методу побудови виділяють шість груп моделей: математичні, імітаційні, інформаційні, ситуаційні, лінгвістичні та фізичні [28]. Відмінність моделей різних груп полягає у мові їх описання. Зазначимо, що межі між різними методами побудови моделей динамічні і дуже умовні.

Математичні моделі формуються у вигляді рівнянь та інших конструкцій, що записуються мовою математики. Імітаційні моделі описують об'єкт моделювання мовою алгоритмів, які можуть охоплювати як математичні висловлювання, і деякі неформальні процеси, зокрема і процеси прийняття рішень. Інформаційні моделі відображають поведінку моделюючого об'єкта через потоки інформації, якими обмінюються його елементи та підсистеми в процесі функціонування. Ситуаційні моделі описують поведінку об'єкта мовою типових ситуацій, що становлять миттєву ситуацію об'єкта в останній момент часу, що передуює моменту зміни його стану як на зовнішній вплив. Лінгвістична модель представляє опис об'єкта природним або близьким до природної мови. Фізична модель є або сам об'єкт, але підготовлений до «чистого» експерименту, або його опис мовою фізичних процесів, близьких за своєю природою до процесів, які у самому об'єкті.

Процес управління дорожнім рухом в умовах функціонування АСУДР взаємно обумовлений як у часі, так і послідовності прийняття окремих рішень [104 – 111]. Кожне із зазначених рішень, яке може бути оформлене у вигляді наказу, команди, рекомендації тощо, при цьому є результатом процесу управління на даному його етапі. Таким чином, підготовка кожного рішення може розглядатися як інформаційний процес, який незалежно від рівня управління формується в загальному випадку за одноманітним циклічним алгоритмом. Тому загальну структуру системи управління дорожнім рухом найпростіше запобігти за допомогою інформаційної моделі. Модель оперативного управління дорожнім рухом, є складовою частиною загальної моделі процесу управління в АСУДР, і повинна відображати особливості її

функціонування при реалізації конкретного рішення оперативного управління дорожнім рухом.

Інформаційний потік у процесі оперативного управління дорожнім рухом відповідно до загальної схеми управління АСУДР з основними принципами управління дорожнім рухом повинен проходити наступні етапи.

Спочатку на підставі інформації про характеристики стану системи «Дорожні умови – транспортні потоки» необхідно провести оцінку умов руху на ділянці оперативного управління. Отримані дані про параметри дорожніх і погодних умов, є вихідною інформацією для підготовки рішення про можливість оперативного управління дорожнім рухом (зазначене рішення в рамках прийнятої в АСУДР стратегії управління має відбуватися при виявленні, наявності на дорозі критичної ситуації).

На підставі цього в підсистемі математичного забезпечення приймається рішення про доцільність застосування оперативного управління, а також про схему його практичної реалізації в даних дорожніх умовах, інформація про це транслюється інформаційних табло змінної інформації у вигляді відповідних рекомендацій.

Для реалізації прийнятого рішення про оперативне управління на наступному етапі необхідно вироблення раціональних при даних параметрах руху керуючих впливів, які повинні транслюватися у вигляді відповідних сигналів засобів відображення інформації на контрольних пунктах АСУДР.

Для моделювання процесу оперативного управління дорожнім рухом у програмному середовищі PTV Vissim, на основі наведених даних, необхідно розробити відповідний алгоритм [112 – 116]. Алгоритм це точне розпорядження, яке задає обчислювальний процес, що починається з довільних вихідних даних (з деякої сукупності можливих для даного алгоритму вихідних даних) і спрямований на отримання повністю визначеного цими вихідним даним результату.

Під алгоритмом в АСУДР розуміють математичний опис, що дозволяє за схемою інформації (параметрами дорожніх умов, дорожніх контролерів,

характеристик режимів руху транспортного потоку) та координатами визначати функціональну характеристику системи «Дорожні умови – транспортні потоки» необхідно обґрунтувати і розробити алгоритм процесу оперативного управління при існуючих значеннях параметрів стану системи «Дорожні умови – транспортні потоки».

Пропонований алгоритм процесу оперативного управління дорожнім рухом в АСУДР представлений у вигляді блок-схеми (рис. 3.1).

Форма запису алгоритму досить повно відбиває його логічну структуру і є універсальною, оскільки не залежить від особливостей тієї чи іншої мови програмування.

Аналізуючи блок-схему представлену на рисунку 3.1, з точки зору зв'язку з природою модельованого процесу, легко побачити, що кожен з елементів є деяким етапом процесу оперативного управління дорожнім рухом на автомобільних дорогах.

Оцінка доцільності застосування керуючих впливів в автоматизованій системі управління дорожнім рухом (АСУДР) є критично важливим етапом у процесі прийняття рішень при виникненні критичних ситуацій. Цей етап передбачає визначення того, чи дійсно виявлена ситуація потребує активного втручання з боку системи управління, або ж поточні параметри руху дозволяють зберігати автономну стабілізацію транспортного потоку без втручання.

Визначення доцільності накладання керуючих впливів

$$S(t) = \{N_k(t), V(t), q(t), Y_n(t)\} \quad (3.1)$$

де $N_k(t)$ – інтенсивність руху смугою, авт/год;

$V(t)$ – швидкість руху смугою, авт/год;

$q(t)$ – щільність транспортного потоку, авт/год;

$Y_n(t)$ – погодні умови.

З іншого боку, з математичної точки зору кожен з елементів містить деяку самостійну групу (блок) елементарних операцій, обсяг яких може бути досить

великим, після виконання зазначених операцій повинні бути отримані деякі кількісні показники, необхідні для прийняття окремого керуючого рішення або безпосереднє керуюче рішення (наказ, команда, рекомендація).



Рисунок 3.1 – Блок-схема процесу оперативного управління дорожнім рухом при виникненні критичних ситуацій з використанням інформаційного забезпечення АСУДР

Основні елементи представлені на блок-схемі (відповідні зазначеним на рисунку 3.1 етапах «Оцінка умов руху на ділянці оперативного управління», «Визначення критичної ситуації», «Визначення доцільності накладання керуючих впливів для розв’язання даної критичної ситуації», «Вибір способу реалізації оперативного управління в даних дорожніх умовах», «Формування керуючих впливів в АСУДР», «Передача команд в підсистему оперативного управління дорожнім рухом», «Контроль додержання водієм управлінських вказівок АСУДР», «Оцінка ефективності оперативного управління та збереження аналітики») завдяки складній логічній та аналітичній структурі, вони можуть бути інтегровані до математичної моделі, яка описує процес оперативного управління дорожнім рухом.

У подальшому дослідженні будуть сформовані імітаційні моделі руху транспортних потоків при виникненні критичних ситуацій на ділянках підходу автомобільних доріг до міст та їх реалізація по кожному із зазначених основних етапів процесу управління.

Варто зауважити, що на початкових етапах впровадження АСУДР основна частина завдань стосується інформаційного забезпечення. Математичне забезпечення охоплює переважно алгоритми та методи реалізації складних моделей управління [9].

3.2 Модельний експеримент управління дорожнім рухом при виникненні критичних ситуацій на ділянці підходу автомобільних доріг до міст

Основними перевагами моделювання є: прискорення розв’язання задач; можливість вирішення завдань, що не розв’язуються аналітично; дослідження та імітація руху транспортних потоків без натурних експериментів; прогнозування поведінки транспортного потоку; отримання великого обсягу різноманітної інформації; вивчення імовірнісної поведінки та взаємодії в

потоці транспортних засобів; можливість відтворення будь-яких ситуацій (реальних і гіпотетичних); можливість вивчення руху транспортних потоків через мережу автомобільних доріг, яке важко здійснити в реальних умовах.

При моделюванні можуть бути реалізовані такі моделі: детерміністичні; математичного очікування; статистичні імітаційні.

Детерміністичне моделювання є розрахунок за допомогою програмного забезпечення на основі аналітичних залежностей. Таке моделювання дозволяє значно скоротити час розрахунку за відомими залежностями.

На основі моделей очікування за допомогою ПК обчислюються лише математичні очікування характеристик руху транспортного потоку як імовірнісного процесу. При статистичному моделюванні всі явища, що спостерігаються в потоці руху транспортних засобів, розглядаються як випадкові. За такого моделювання з допомогою програмного забезпечення вивчаються взаємодії випадкових явищ. Імітаційне моделювання є загальним уявленням логічних зв'язків у розглянутому транспортному потоці як складній системі і поєднує перелічені моделі. Всі ці способи моделювання можуть бути успішно застосовані щодо дослідження впливу дорожніх умов на характеристики руху транспортних потоків.

У світовій практиці широке поширення отримали відомі програмні продукти для імітаційного моделювання у галузі організації руху транспортних потоків. Серед таких програм можна виділити VISSIM, розроблений компанією PTV AG з Німеччини, а також GETRAM/AIMSUN [107]. У 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 на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст 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 [103]. PTV VISSIM імітаційне програмне забезпечення значно полегшує завдання проєктувальника, надаючи надійну основу для розробки дорожньо-транспортних та міських інфраструктурних проєктів [115-119].

Під час проведення модельного експерименту по визначенню впливу дорожніх умов та характеристики руху транспортних потоків на ділянці підходу автомобільної дороги М-06 Київ – Чоп (рис. 3.2) до міста Києва була розроблена імітаційна модель руху транспортних потоків на ділянці даної автомобільної дороги, яка дозволить визначити транспортно – експлуатаційні показники.

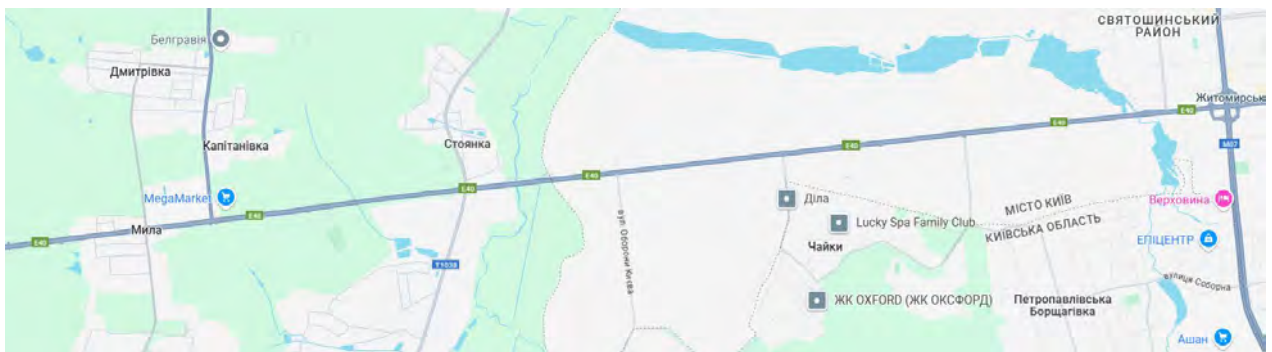


Рисунок 3.2 – Фрагмент ділянки підходу а/д М-06 до міста Києва

Для дослідження була обрана визначена ділянка підходу автомобільної дороги М-06 до міста Києва, яка є автомобільною дорогою загального користування державного значення.

У результаті дослідження та аналізу характеристик руху транспортних потоків та дорожніх умов, була сформована імітаційна модель яка представлена на (рис. 3.3).

Зазначена ділянка автомобільної дороги має асфальтобетонний дорожній покрив. На даній ділянці наявність пересічення та примикань на одному рівні на другорядними дорогами та розвороти для зустрічних транспортних потоків.

Основними транспортно-експлуатаційними показниками, що описують умови руху транспортних потоків на дорогах, є: інтенсивність руху, склад транспортного потоку, швидкість руху транспортного потоку. Аналіз величин середньодобової годинної та пікової інтенсивності руху на автомобільній

дорозі показав, що найбільш завантаженими є ділянки підходу автомобільних доріг до міста Києва у пікові години.

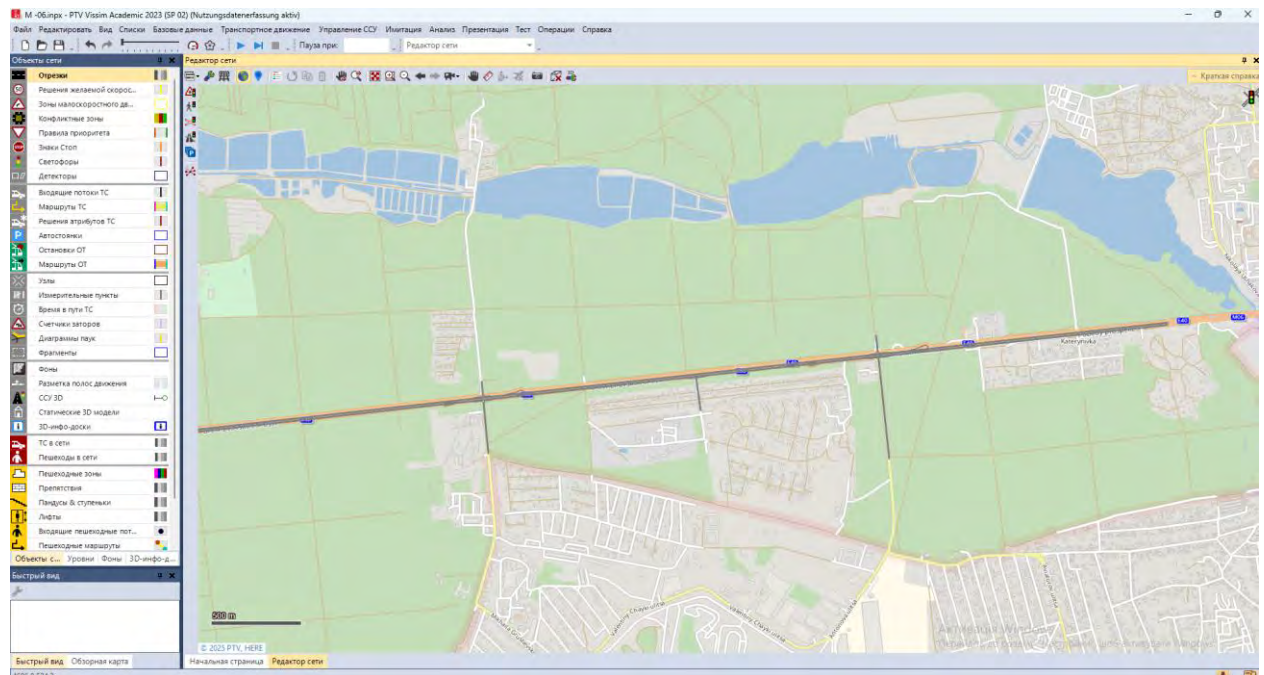


Рисунок 3.3 – Знімок екрану при виконанні імітаційного моделювання руху транспортних потоків ділянки підходу а/д М-06 до міста Києва у програмному середовищі PTV VISSIM

У пікові години збільшується інтенсивність руху транспортного потоку, стан транспортного потоку переходить з вільних умов у частково зв'язані та зв'язані. Це призводить до виникнення критичних ситуацій на автомобільній дорозі. У разі виникнення на автомобільній дорозі критичних ситуацій таких як: ДТП, дорожні роботи, пропуск колон або спеціальних транспортних засобів, перевищення швидкісного режиму на ділянці контролю швидкості руху та ситуація «ударна хвиля», виникає необхідність в управлінні транспортним потоком. Вплинути на транспортний потік можна шляхом управління швидкістю руху на визначеній ділянці підходу автомобільної дороги до міста Києва.

3.3 Експериментальні дослідження режимів руху транспортних потоків на ділянці підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст

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 10000 x 10000 метрів (рис. 3.4).

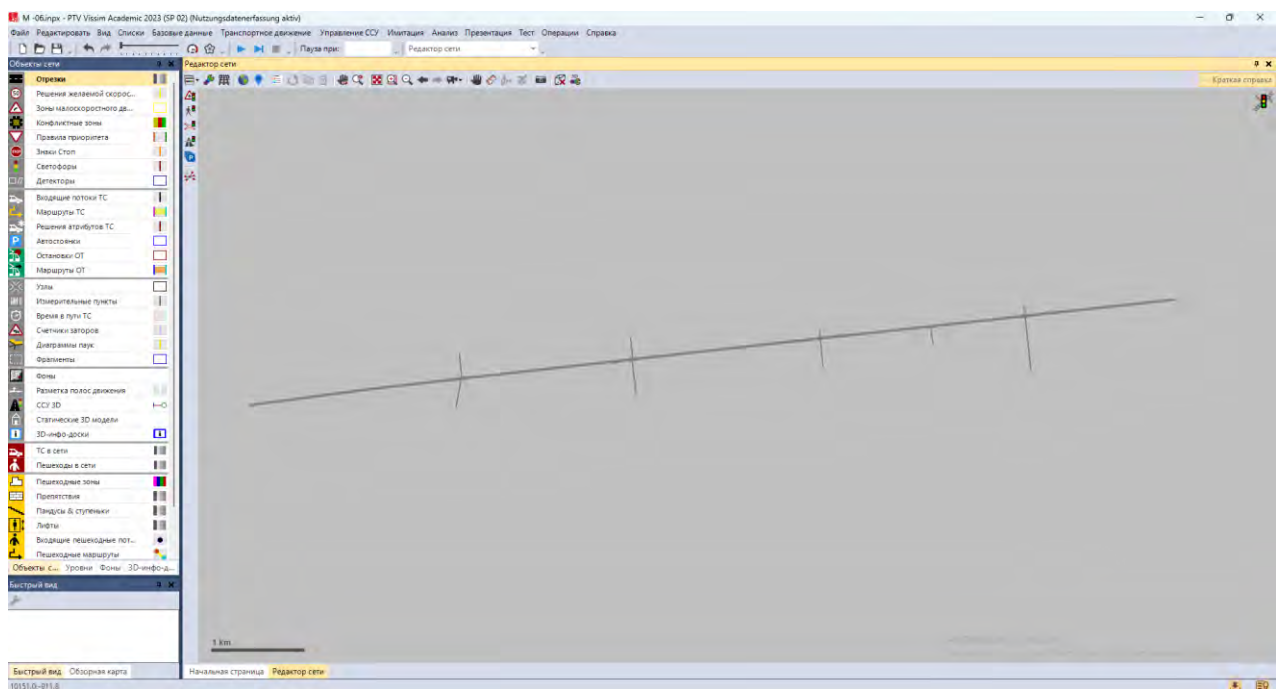


Рисунок 3.4 — Результат моделювання досліджуваної ділянки в програмному середовищі PTV VISSIM

PTV VISSIM — це не стільки модель транспортного потоку, скільки інструмент для дослідження руху транспортних потоків. Тому для модельного експерименту було розроблено імітаційну модель руху транспортних потоків на визначеній ділянці підходу автомобільної дороги загального користування державного значення, яка дозволить визначити параметри руху транспортних засобів та показники ефективності дорожнього руху.

Вихідними даними для створення моделі була обрана ділянка підходу автомобільної дороги до міста Києва, яка характеризується: шириною проїзної частини; кількістю смуг руху; інтенсивність транспортного потоку; складом транспортного потоку; наявністю пересічень та розворотів для зустрічних транспортних потоків (рис. 3.5).

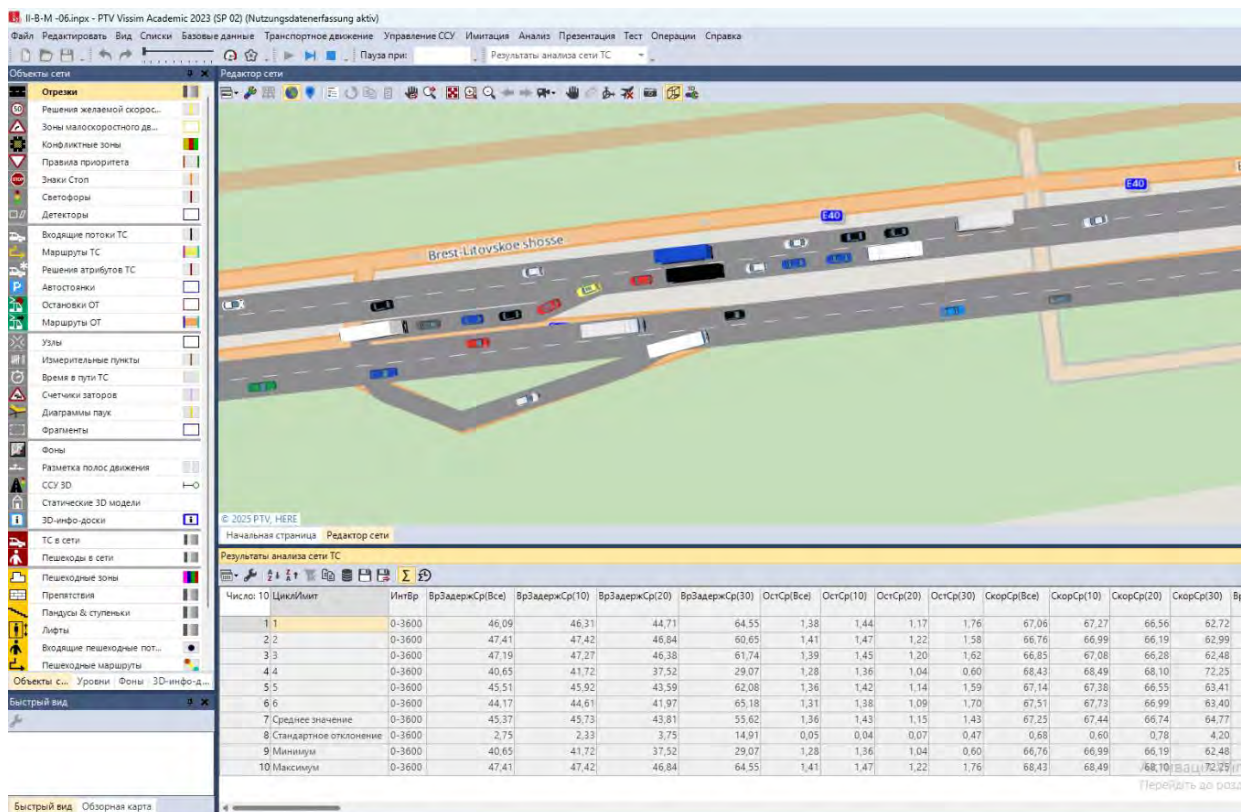


Рисунок 3.5 – Знімок екрану при моделюванні розподілу транспортних потоків при виникненні критичної ситуації

3.4 Результати моделювання руху транспортних потоків на досліджуваній ділянці

Побудова імітаційної моделі на ділянці підходу автомобільної дороги до міста Києва в PTV VISSIM виконується за наступною послідовністю:

1. Побудова ділянки підходу автомобільної дороги: відтворення відрізків дороги, пересічень, організація зустрічного руху, створення місць розворотів

зустрічних транспортних потоків, створення перехідно-швидкісних смуг, нанесення дорожньої розмітки (рис. 3.6).

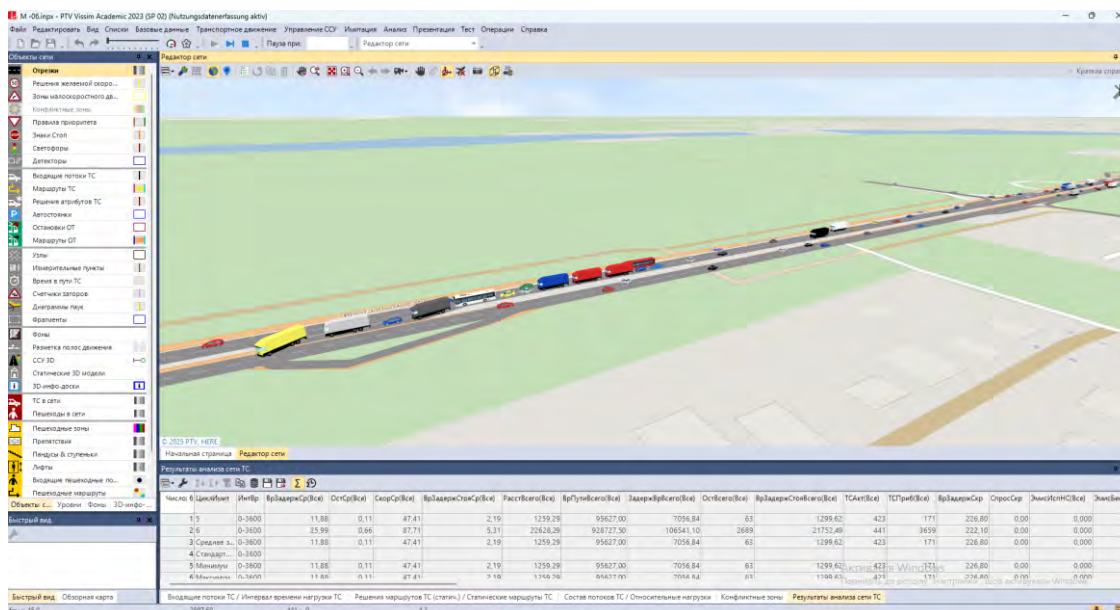


Рисунок 3.6 – Знімок екрану при моделюванні руху транспортних потоків при існуючих умовах руху

2. Введення транспортного потоку: задання інтенсивності руху, складу транспортних засобів, маршрутів транспортних потоків; введення правил пріоритету в конфліктних зонах (рис. 3.7 – 3.9).

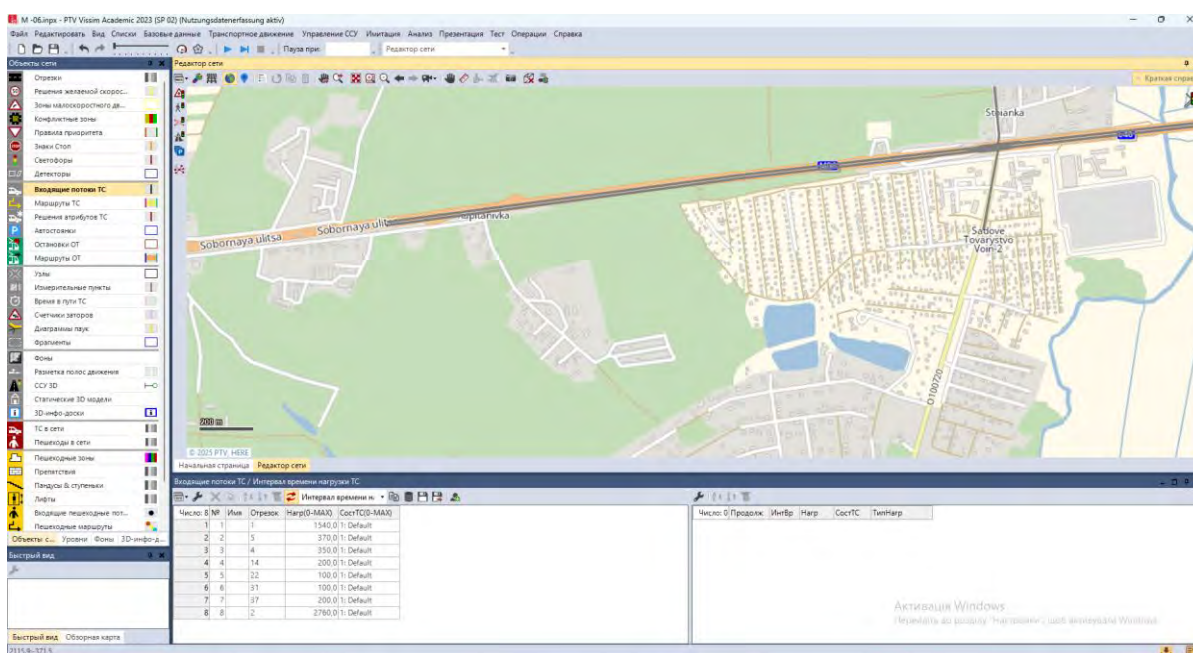


Рисунок 3.7 – Введення вхідних потоків транспортних засобів

[illegible]

Рисунок 3.9 – Склад транспортного потоку

3. Виведення результатів аналізу моделювання. Після відтворення моделі і задання параметрів транспортного потоку в програмному середовищі PTV Vissim можна отримати ряд даних для аналізу виконаної роботи. Тобто можна не тільки візуально оцінити результати моделювання, але і отримати дані для

аналізу результатів моделювання на основі чого можна сформувані обґрунтовані висновки.

Для отримання коректних даних для аналізу, необхідно налаштувати параметри конфігурації моделі у вкладці «Аналіз/Конфігурація». Без активації необхідної опції файл аналізу створено не буде.

Активуємо необхідні пункти в вікні налаштування режимів імітації (рис. 3.10), зокрема: «Вхід автомобіля», «Аналіз мережі транспортних засобів», «Час руху по мережі», «Час затримки», «Лічильник заторів», «Вузли», тривалість імітації становить 1 год або 3600 с.

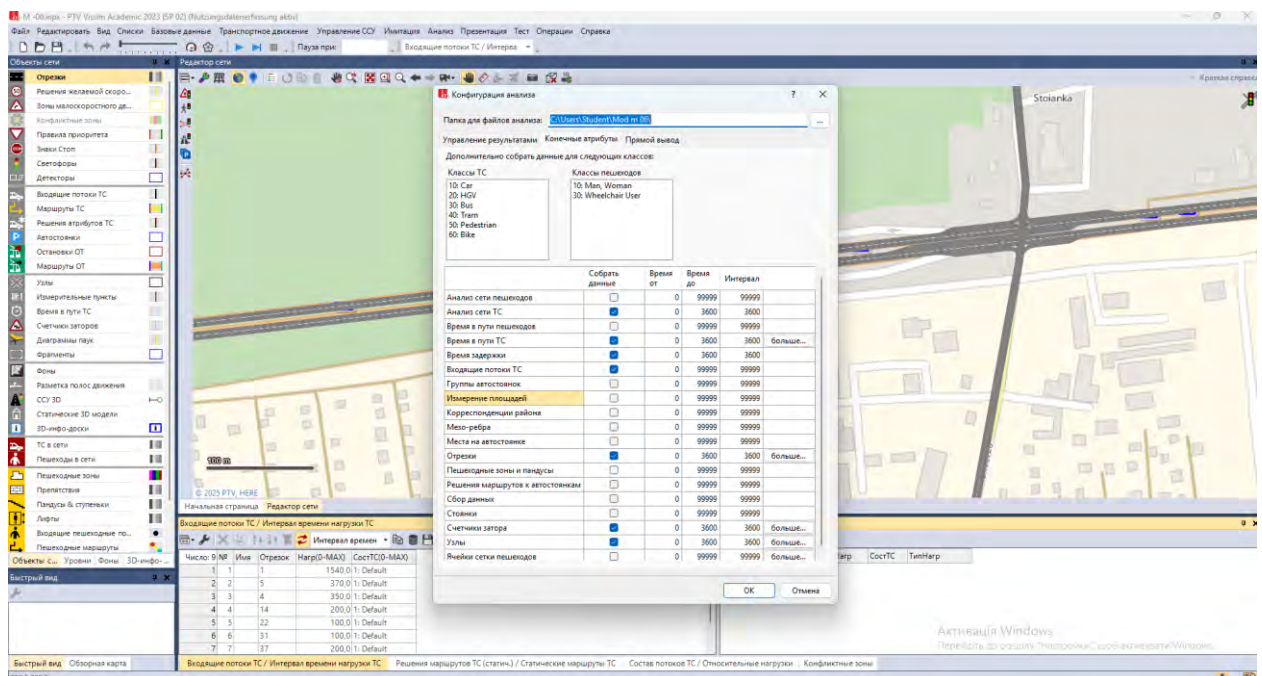


Рисунок 3.10 – Налаштування параметрів імітації

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.

Першим варіантом проведеного імітаційного моделювання був рух транспортних потоків на ділянці підходу автомобільної дороги до міста Києва

в існуючих умовах. Була обрана ділянка протяжністю 10 км на якій дозволена швидкість руху 110 км/год, в межах цієї ділянки наявне одне пересічення транспортних потоків на одному рівні та місця розворотів транспортних засобів. При наближенні до пересічення та місць розворотів наявні дорожні знаки поступового зниження швидкості 90 км/год – 70 км/год – 50 км/год, наведено на (рис. 3.11).

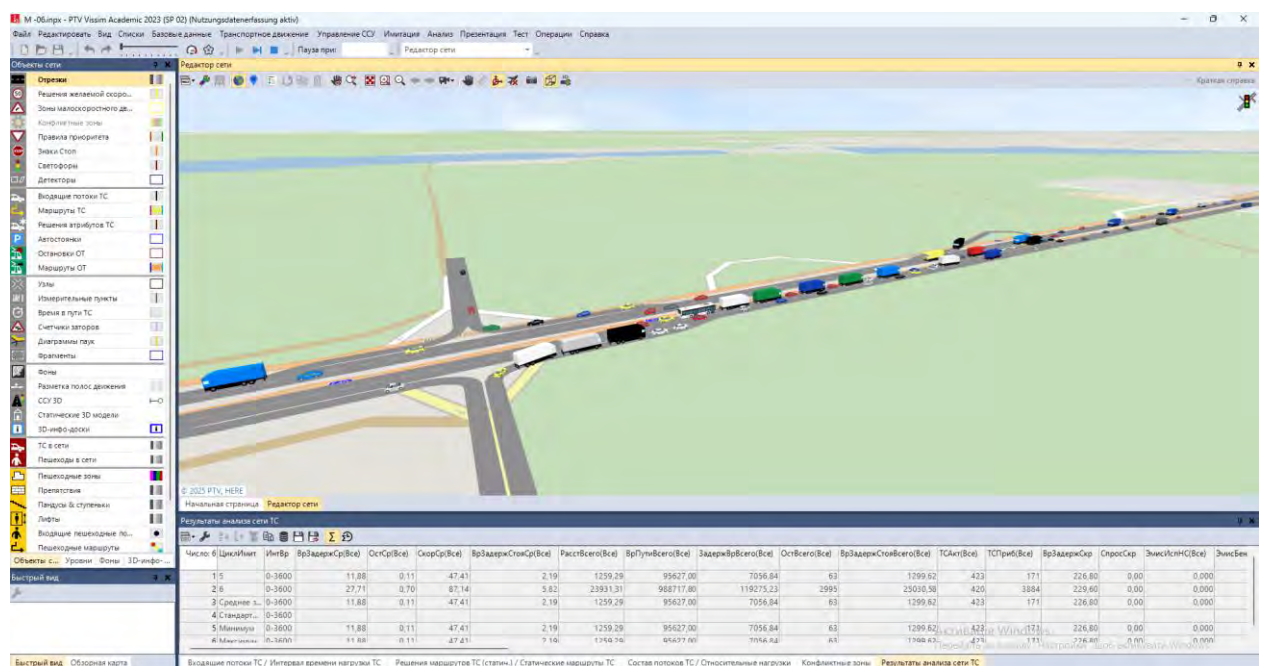


Рисунок 3.11 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків в існуючих умовах (варіант І)

Як свідчать результати моделювання, за існуючих умов руху очікуваний середній час затримки одного транспортного засобу в межах ділянки управління складає 40,84 с, середня швидкість – 67,25 км/год, середній кількість зупинок, стоянок – 9 шт, сумарний час затримки всього транспортного потоку – 184 578 хв.

Другим варіантом було проведено імітаційне моделювання за тих же дорожніх умов, при виникненні критичних ситуацій. У даному варіанті розглядалось перекриття однієї зі смуг в результаті виникнення ДТП або проведення дорожньо-ремонтних робіт, або пропуск колон.

Імітаційне моделювання руху транспортних потоків у разі виникнення критичних ситуацій на ділянці підходу автомобільної дороги до міста Києва (варіант II) передбачало аналогічні умови розподілу транспортних потоків (рис. 3.12).

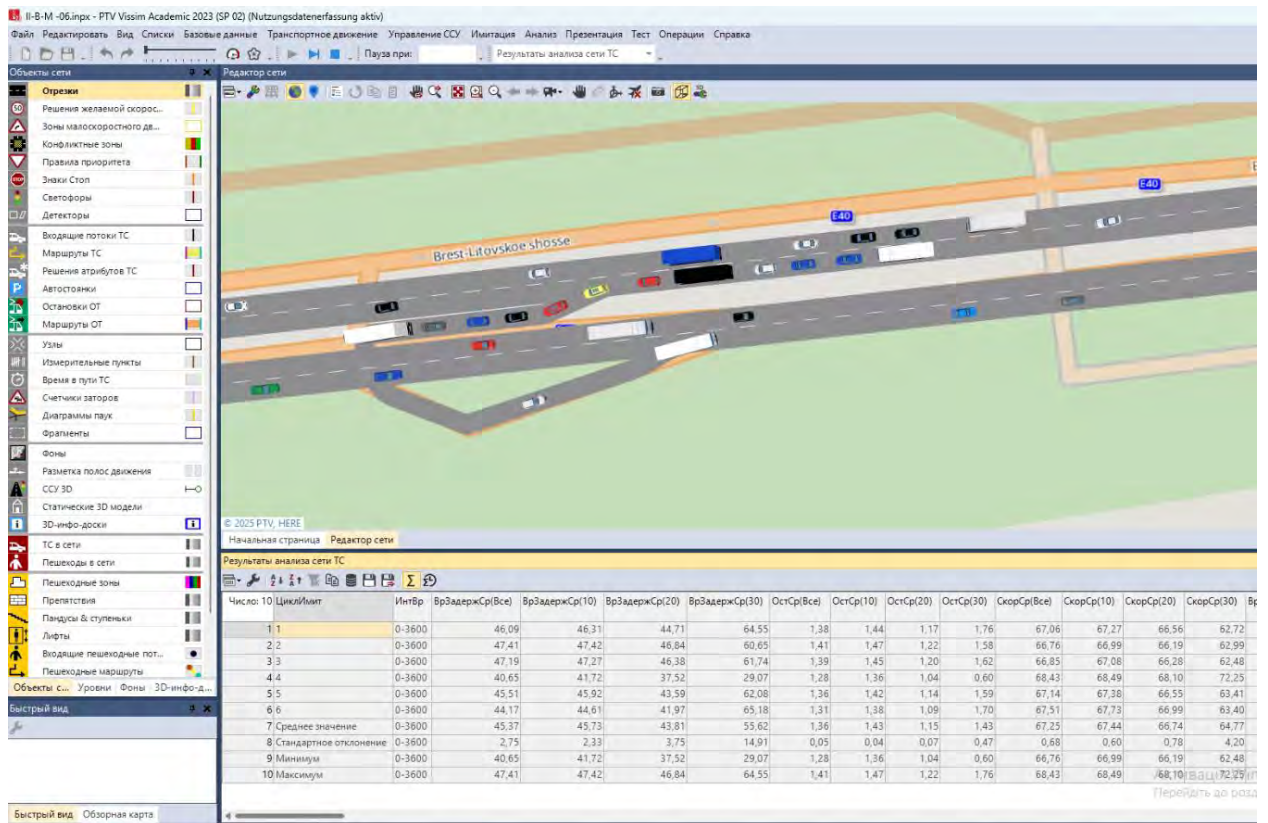


Рисунок 3.12 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків при виникненні перешкод на окремих її ділянках мережі (варіант II)

Як показали результати моделювання, за такого варіанту прогнозований середній час затримки одного транспортного засобу збільшується до 45,54 с, його середня швидкість зменшується до 63,1 км/год, а величини середня кількість зупинок, стоянок збільшуються – 13 та сумарного часу затримки всього транспортного потоку – 257 940 с відповідно.

Третім варіантом було проведено імітаційне моделювання за тих же дорожніх умов, при виникненні критичних ситуацій. У даному варіанті розглядалось перекриття однієї зі смуг в результаті виникнення ДТП або проведення дорожніх робіт, або пропуск колон.

Як показали результати моделювання, за такого варіанту прогнозований середній час затримки одного транспортного засобу має скласти 37,57 с, його середня швидкість – 69,03 км/год, а величини середньої кількості зупинок, стоянок – 9 та сумарного часу затримки всього транспортного потоку має скласти 123 265 с відповідно.

3.5 Аналіз результатів моделювання

Результати дисертаційного дослідження вказують на ефективність використання імітаційного моделювання для аналізу руху транспортних потоків на ділянці підходу автомобільної дороги М-06 до міста Києва. Дослідження включало чотири варіанти імітаційного моделювання (табл. 3.1, рис. 3.14): руху транспортних потоків в існуючих умовах функціонування транспортної мережі (варіант I); при виникненні критичних ситуацій в існуючих умовах (варіант II), при виникненні критичних ситуацій в існуючих умовах та накладанні управлінських рішень (варіант III) та при впровадженні запропонованих заходів (варіант IV).

Таблиця 3.1 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків

	I варіант	II варіант	III варіант	IV варіант
	Існуючі умови руху	Виникнення перешкоди для руху в існуючих умовах	Виникнення перешкоди для руху та накладання управлінських рішень	Впровадження запропонованих заходів
Середня швидкість на ділянці, (км/год)	63,67	63,1	67,31	68,83
Середній час затримки, (с)	40,84	45,54	45,09	37,57
Середня кількість зупинок, стоянок, (од)	9	13	13	9
Сумарний час затримки, (с)	184 578	257 940	220 110	123 265

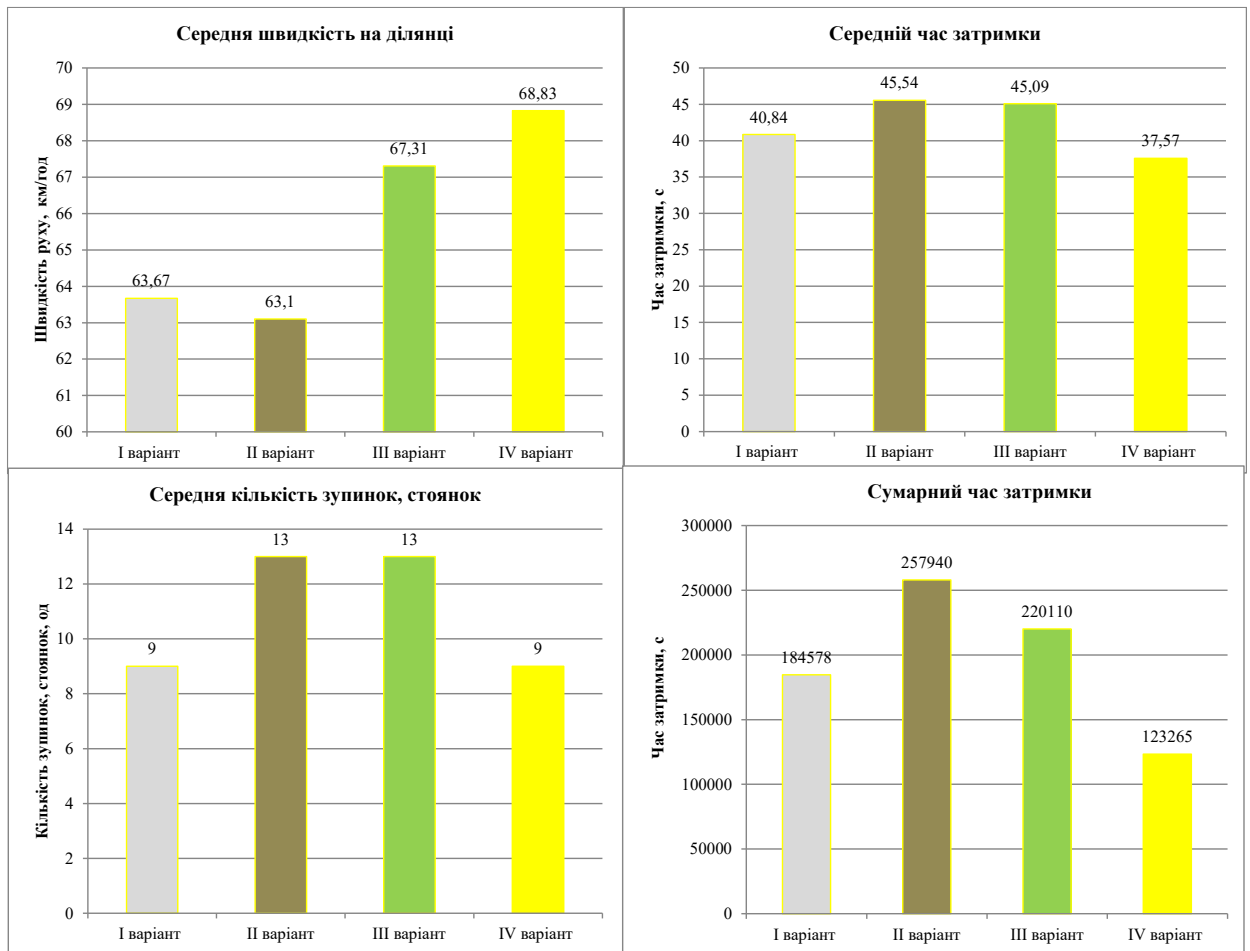


Рисунок 3.14 – Результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків

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 рекомендація швидкісного режиму руху транспортних потоків на ділянках підходу до значних та найзначніших міст, призвело до позитивних результатів. Середній час затримки становить 37,57 с, який зменшився і складає 19 % відповідно, середня швидкість руху транспортного потоку становить 69,03 км/год, яка збільшилась на 5 км/год, що свідчить про ефективність запропонованих заходів у покращенні умов руху на ділянці мережі М-06.

Висновки до розділу 3

Розроблений алгоритм оперативного управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до значних та найзначніших міст базується на використанні інформаційного забезпечення в рамках автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУДР), дозволяє зменшити транспортні затримки, підвищити середню швидкість руху транспортного потоку та підвищити ефективність використання дорожньої інфраструктури.

Імітаційні експерименти, виконані у середовищі PTV Vissim, підтвердили, що впровадження запропонованих заходів з управління швидкістю руху за умов виникнення критичних ситуацій призводить до покращення основних транспортно-експлуатаційних показників: середній час затримки зменшився на 19%, середня швидкість руху транспортного потоку становить 68,83 км/год, яка збільшилась на 5 км/год, а загальний час затримки транспортного потоку суттєво скоротився порівняно з базовим сценарієм. Це свідчить про ефективність запропонованих заходів у покращенні умов руху на ділянці автомобільної дороги М-06.

Результати досліджень третього розділу викладено у наступних публікаціях [89, 92, 96, 101, 103, 111].

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ НА ДІЛЯНКАХ ПІДХОДУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ДО МІСТ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Визначення показників системи «дорожні умови - транспортні потоки»

При здійсненні моніторингу дорожнього руху в режимі реального часу необхідно визначити ряд показників які розглядаються в системі «Дорожні умови – транспортні потоки».

Інтенсивність руху, ширина проїзної частини, ширина узбіччя, максимальний поздовжній похил та мінімальні радіуси кривих в плані характеризують стан аварійності на ділянці підходу автомобільної дороги до міст визначаються на основі натурних спостережень[120,121].

Показники такі як кількість підйомів з похилом більше 50%, кількість кривих з радіусом менше 200 м, кількість ділянок з обмеженням швидкості руху до 60 км/год, тип покриття визначаються на основі даних про автомобільну дорогу або на основі натурних спостережень.

Показники інтенсивність руху в години «пік», склад транспортного потоку визначаються або за результатами моніторингу руху на місцях, або за результатами натурних спостережень на даній ділянці.

Показники середньої швидкості руху, рекомендованої швидкості визначаються у такому порядку:

а) показник середня вільна швидкість транспортного потоку визначається за результатами проїзду автомобілем за маршрутом рівною дорогою у вільному режимі руху;

б) показник швидкості руху для легкових автомобілів визначається як

приватне від розподілу довжини ділянки автомобільної дороги на час прямування від початку до кінця;

в) показник оптимальної швидкості руху визначається за такою формулою:

$$V_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2g(l_a + l_6)(\varphi + f \pm i)}{K_3 + K_{\text{п}}}}, \quad (4.1),$$

де g – прискорення вільного падіння ($g = 9,8$ м/сек²);

l_a – Довжина автомобіля в м ($l_a = 5$ м);

l_6 – довжина зазору безпеки ($l_6 = 5$ м);

φ – коефіцієнт зчеплення;

f – коефіцієнт опору коченню ($f = 0,02$);

i – поздовжній ухил (для спрощення $i = 0$);

$K_3, K_{\text{п}}$ – коефіцієнти ефективності гальмування заднього та переднього автомобілів ($K_3 = 2,0$; $K_{\text{п}} = 1,2$);

при $i = 0$:

$$V_{\text{опт}} = 15,7\sqrt{\varphi + \epsilon} \text{ (м/с) або } V_{\text{опт}} = 56,52\sqrt{\varphi + \epsilon} \text{ км/год.}$$

Значення φ береться за показником коефіцієнта зчеплення та станом дорожнього покриття;

г) показник максимальної пропускної здатності визначається за формулою:

$$A_{\text{max}} = \frac{1000V_{\text{опт}}}{Z}, \quad (4.2)$$

$$Z = l_a + \frac{V_{\text{опт}}^2}{2g\varphi} + l_6 = 10 + \frac{V_{\text{опт}}^2}{19,6\varphi}, \quad (4.3)$$

з урахуванням попередніх значень та складових;

д) показник середньої швидкості руху визначається за формулою:

$$\bar{V} = V_{\text{вїл}} - \frac{N}{A_{\text{max}}} (V_{\text{вїл}} - V_{\text{опт}}), \quad (4.5);$$

значення $V_{\text{вїл}}$ – беруться за показником середньої вільної швидкості руху, км/год, N – за показником пікової інтенсивності руху авт/год, $V_{\text{опт}}$ – за показником оптимальної швидкості руху, авт/год, A_{max} – за показником максимальної пропускної здатності, авт/год;

е) показник рівень завантаження проявляється за результатами розрахунку попередньої формули:

$$Z = \frac{N}{A_{\text{max}}}, \quad (4.6);$$

Показник мінімального коефіцієнту безпеки визначається в такому порядку:

а) визначається швидкість руху на мінімальному радіусі заокруглення на ділянці автомобільної дороги, що визначається за формулою:

$$V_R = 4,06\sqrt{R}, \quad (4.7)$$

б) визначається швидкість руху з урахуванням поздовжнього похилу на підйом за наведеною (табл. 4.1):

Таблиця 4.1 – Швидкість руху з урахуванням поздовжнього похилу

Величина поздовжнього похилу на підйомах, ‰	Величина швидкості руху, км/час (V_i)
30	100
40	100
50	95
60	80

Величина поздовжнього похилу на підйомах, ‰	Величина швидкості руху, км/час (V_i)
70	60
80	50
90	40
100	30

в) порівнюються значення з показником обмеження швидкості, менше підставляється у формулу для визначається коефіцієнта безпеки:

$$K_6 = 0,01 V, \text{ де } V \text{ чи } V_R, \text{ чи } V_i, \text{ чи } V_{\text{обм.}}$$

Показник фактичної аварійності визначається за інформацією наданою Національною поліцією України за період, що розглядається.

Склад транспортного потоку визначається на основі даних отриманих з камер і датчиків руху. Інші графіки розподілу інтенсивності та швидкостей руху формуються в результаті статистичної обробки даних.

4.2. Послідовність обробки інформації в системі «Дорожні умови – транспортні потоки»

Алгоритми та програма з обробки інформації про інтенсивність руху з отриманням розподілів.

Інтенсивність руху на автомобільних дорогах є однією з найважливіших характеристик транспортних потоків. Зазвичай розрізняють середньодобову годинну інтенсивність руху, середньомісячну добову інтенсивність руху, середньорічну добову інтенсивність руху та інтенсивність руху за годину «пік». У силу того, що інтенсивність руху змінюється за годинами доби, днями тижня, по місяцях, сезонах і рік у рік, виникає необхідність знати не лише її величину, а й розподіл інтенсивності руху за зазначеними періодами. Такі розподіли можна отримувати безпосередньо з цілодобових натурних спостережень, або на основі вибіркового обліку руху та використання

коефіцієнтів перерахунку.

Останні одержують на основі тривалих статистичних спостережень за рухом на автомобільних дорогах. Знання розподілу інтенсивності руху за відповідний період часу дозволяє робити аналіз завантаження автомобільної дороги та відповідності її вимогам, що пред'являються автомобільним транспортом.

Поряд з іншими характеристиками транспортних потоків (швидкість руху, склад транспортного потоку, щільність) інтенсивність руху дає уявлення про умову руху, аварійність та безпеку, про необхідність проведення заходів щодо зміни умов руху.

Програма підрахунку інтенсивності руху передбачає визначення кількістю транспортних засобів, що пройшли через поперечний переріз дороги за кожен годину доби, інтенсивності руху протягом будь-якого дня тижня, добової інтенсивності руху протягом кожного місяця року та підрахунок добової середньорічної інтенсивності (рис. 4.1).

Вихідними даними є інтенсивність руху протягом 1 години, добові погодинні коефіцієнти A_i , що характеризують зміну інтенсивності по годинах доби, коефіцієнти B_i , що характеризують зміну інтенсивності руху по днях тижня та коефіцієнти C_i , що характеризують зміну інтенсивності по місяцях року.

Середньодобова годинна інтенсивність руху

$$\bar{N} = \frac{N}{A_i}, \quad (4.8)$$

де N – інтенсивність руху протягом 1 години, авт/год.

Як коефіцієнт A_i вибирається від'ємний коефіцієнт з масиву коефіцієнтів A , що характеризують зміну інтенсивності руху по годинах доби. Знак «мінус» у коефіцієнта A_i , що відповідає певній годині доби, є ознакою того, що

інтенсивність руху визначена для цієї години доби.

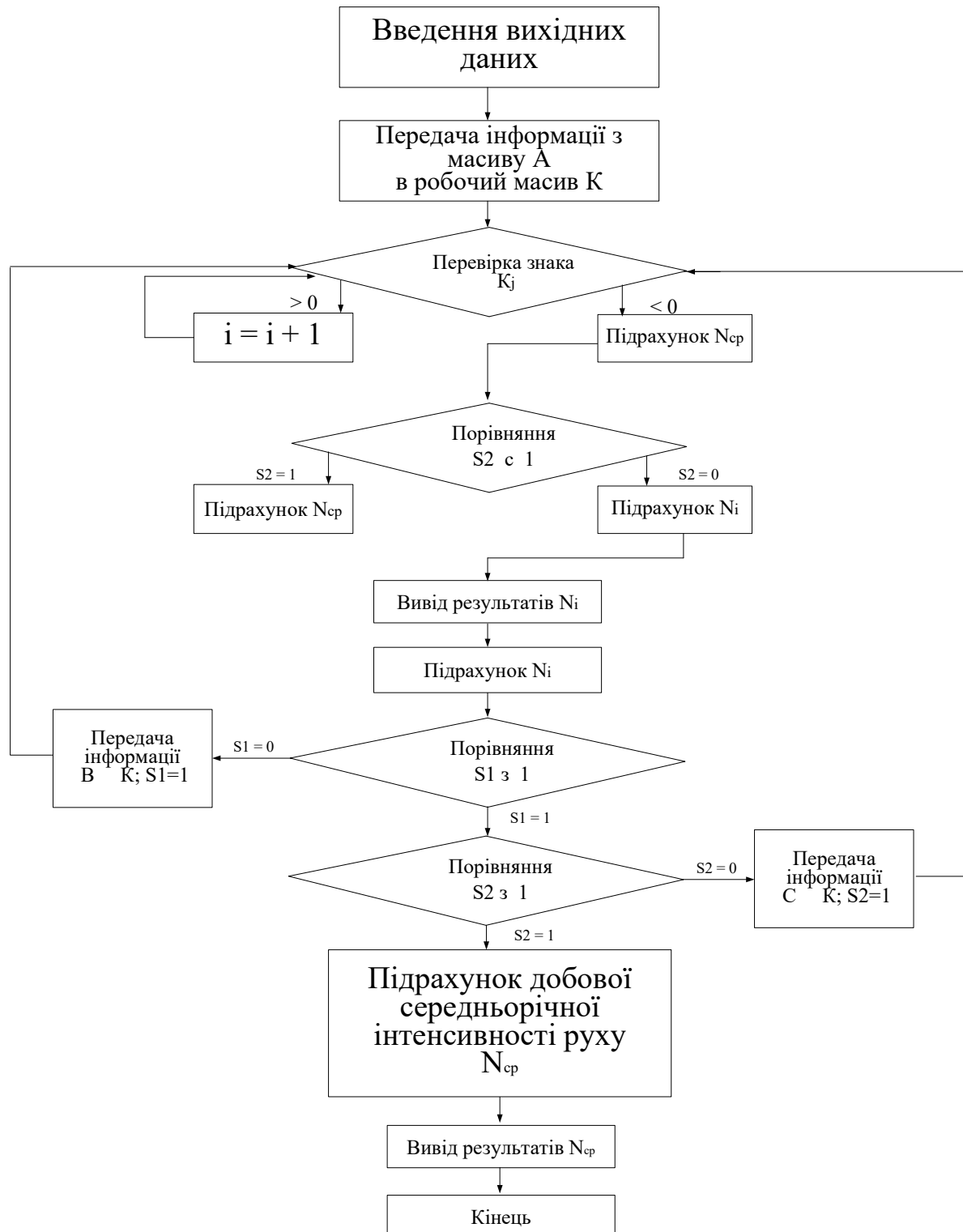


Рисунок 4.1 – Послідовність обробки інформації про інтенсивність руху з отриманням розподілу

Якщо інтенсивність руху вимірюється протягом кількох годин, середньодобова годинна інтенсивність руху:

$$\bar{N} = \frac{N_{n-m}}{\sum_{i=n}^m A_i}, \quad (4.9)$$

де N_{n-m} – кількість транспорту, що пройшов за час від n до m годин. Як коефіцієнти A_i вибираються негативні коефіцієнти з масиву A .

Число транспортних засобів, що пройшли за кожну годину доби:

$$N_i = N_i \cdot A_i, \quad i=1,2,3,\dots,24,$$

Середньотижнева добова інтенсивність руху визначається так:

$$\bar{N} = \frac{N_1}{B_1}, \quad (4.10)$$

де $N_i = \frac{N}{A_i}$ – добова інтенсивність руху, авт./добу;

B_i – від’ємний коефіцієнт масиву коефіцієнтів B , що характеризують зміна інтенсивності руху по днях тижня. Знак «мінус» у коефіцієнта B_i , що відповідає певному дню тижня, є ознакою того, що інтенсивність руху визначена для цього дня тижня.

Інтенсивність руху протягом кожного дня тижня:

$$N_i = B_i \cdot \bar{N}, \quad i=1,2,\dots,7, \quad (4.11)$$

Середньорічна добова інтенсивність руху:

$$\bar{N} = \frac{N_1}{C_1}, \quad (4.12),$$

де N_1 – добова інтенсивність руху, віднесена до місяця, коли вимірювалася

$$\text{інтенсивність руху } N_i = \frac{N \cdot 24}{A_i \cdot B_i \cdot C_i}.$$

C_i – негативний коефіцієнт з масиву C коефіцієнтів, що характеризують зміну інтенсивності руху за місяцями року. Знак «мінус» у коефіцієнта C_i , що відповідає певному місяцю року, є ознакою того, що інтенсивність руху визначена для цього місяця.

Добова середньорічна інтенсивність руху:

$$\bar{N}_{\text{річ}} = \frac{N \cdot 24}{A_i \cdot B_i}. \quad (4.13)$$

Підготовка вихідної інформації

Початкова інформація складається з 4-х масивів.

1-й масив виписують суворо послідовності, зазначеної в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Послідовність обробки інформації

Позначення	Пояснення
Межа	Признак початку масиву
М	Кількість годин протягом доби
К1	Кількість днів протягом тижня
К2	Кількість місяців протягом року
N_{n-m}	Кількість транспортних засобів які проходять за час з n по m
Межа	Показник закінчення масиву

2-й масив є масив добових погодинних коефіцієнтів A_i , що характеризують зміну інтенсивності по годинах доби. 3-й масив коефіцієнтів B_i , що характеризують зміну інтенсивності за місяці року.

Зі знаком «мінус» виписують коефіцієнти, що відповідають місяцю, дню тижня і тим часом доби, для яких визначено інтенсивність руху.

Алгоритм та програма з оцінки аварійності руху

В основу оцінки покладено існуючу методику визначення аварійності дорожніх умов за сумарним коефіцієнтом аварійності.

Розроблені програми дозволяють оцінювати аварійність окремої ділянки автомобільної дороги та всієї мережі в цілому, дозволяючи проводити також порівняльну оцінку ділянок та доріг та прогнозувати стан аварійності з урахуванням зміни показників.

Для оцінки стану системи «дорожні умови – транспортні потоки» необхідно мати оцінку аварійності дорожніх умов як одну з найважливіших. Вказана вище методика дозволяє оцінювати відносну аварійність дороги в порівнянні з ідеальними умовами: ширина проїжджої частини – 7,5 м, ширина узбіччя – 3,75 м, узбіччя укріплені на 3 м, ділянка горизонтальної та прямої в плані, відстань видимості не менше 750 м, відстань між «вузькими місцями» не менше 4 км, покриття шорстке, капітального типу.

Показником являється сумарний коефіцієнт аварійності, що є добутком приватних коефіцієнтів. Для отримання останніх необхідно використовувати дані натурних спостережень про стан системи «дорожні умови - транспортні потоки». Однак за наявності великої кількості ділянок на автомобільній дорозі, а доріг у мережі, така операція вимагає значних витрат часу, тим більше, що інтерес представляє не тільки визначення сумарних коефіцієнтів аварійності, але й розташування їх величин за зростанням та спадання, і також отримання відносної зміни величин коефіцієнтів аварійності у порівнянні з мінімальними. Це дозволяє виділити ділянки доріг, на яких необхідне впровадження заходів щодо підвищення безпеки руху, та сприяє покращенню умов руху. Зазначена робота може бути використана як для оцінки аварійності доріг в умовах експлуатації.

Кожна ділянка дороги характеризується набором коефіцієнтів аварійності, кількість яких у кожному наборі не перевищує 15. Оцінка дорожніх умов на маршруті за коефіцієнтами аварійності здійснюється за кілька етапів (рис. 4.2):

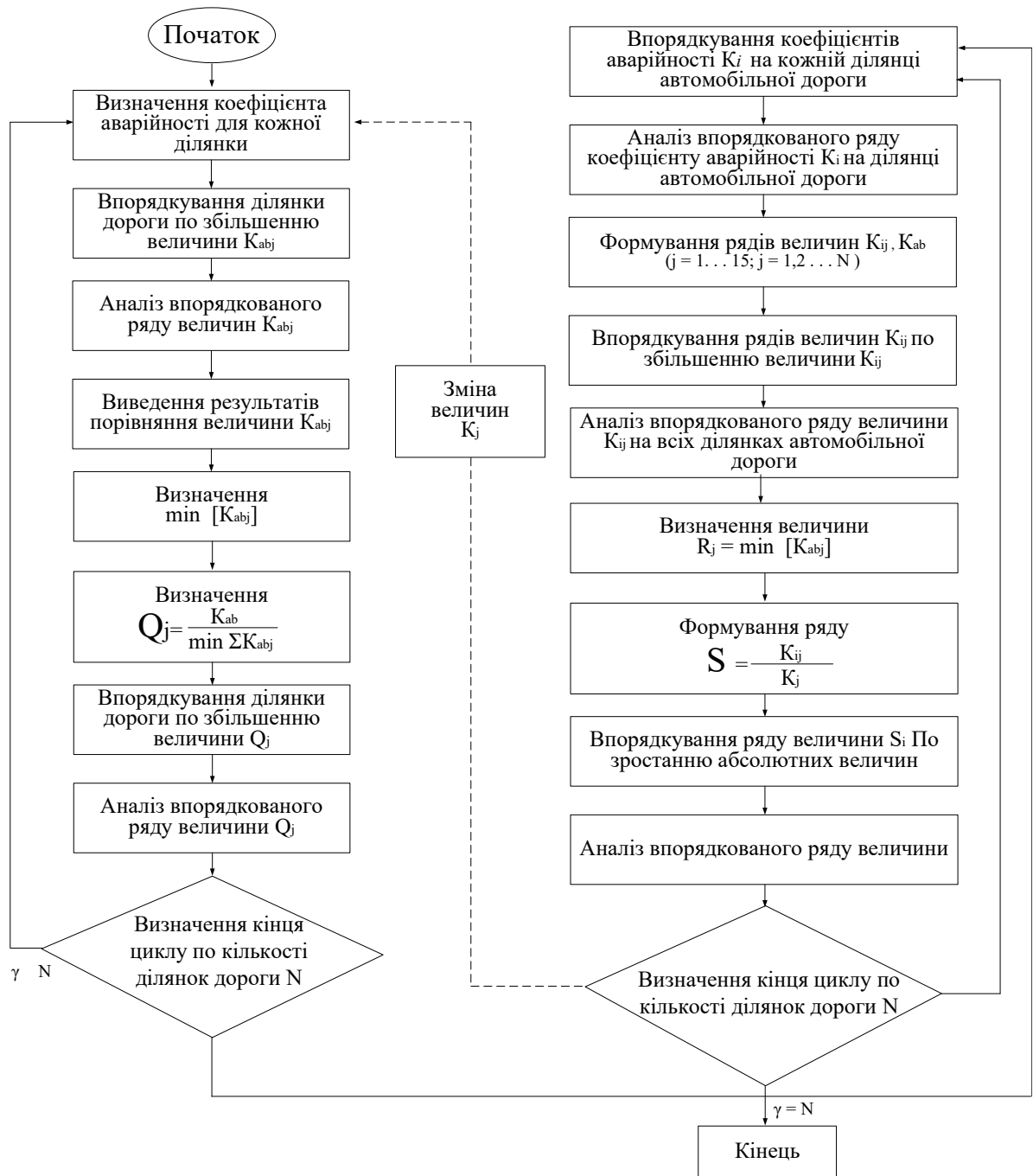


Рисунок 4.2 – Блок-схема програми «оцінка аварійності дорожніх умов»

1. Для загальної оцінки дорожніх умов необхідно визначити сумарний коефіцієнт аварійності за існуючими дорожніми умовами для кожної ділянки дороги:

$$K_{abj} = \prod_{i=1}^{15} K_j, \quad (4.14)$$

де $j = 1, 2, \dots, N$, N – кількість ділянок дороги, од.

Загальна оцінка дорожніх умов на даній ділянці дороги приймається задовільною, якщо $K_{abj} < 40$ і незадовільною за $K_{abj} > 40$.

2. Ступінь аварійності ділянок дороги характеризується за допомогою впорядкованого ряду коефіцієнтів K_{abj} за зростанням величин K_{abj} .

3. Для характеристики порівняльної аварійності на ділянках визначається відношення величин K_{abj} до сумарного коефіцієнта аварійності «благополучної» ділянки, що визначається шляхом знаходження мінімальної величини:

$$Q_j = \frac{K_{abj}}{\min\{K_{abj}\}}. \quad (4.15)$$

4. Порівняльна аварійність характеризується впорядкованим рядом величин Q_i за зростанням величин Q_i .

5. Для визначення неблагополучних характеристик кожної окремої ділянки дороги складається ряд коефіцієнтів K_i для даної ділянки дороги у порядку зростання їх абсолютних величин.

6. Для визначення найбільш неблагополучних ділянок дороги за окремими коефіцієнтами K_i ($i = 1, 2, \dots, 15$), складаються впорядковані ряди за зростанням величин K_{ij} . Кожен ряд містить стільки K_{ij} , скільки обстежується ділянок дороги. У кожному ряді $i = \text{const}$.

7. Оцінка порівняльної аварійності на дорозі за кожним окремим коефіцієнтом аварійності K_i проводиться за допомогою величин:

$$S_j = \frac{K_{ij}}{\min\{K_{ij}\}}, \quad (4.16)$$

де $j = 1, 2, \dots, N$.

Величини S_j розташовуються в ряд у порядку, що зростає.

Для оцінки перспективної інтенсивності руху слід замінити коефіцієнт K_i

на нове значення цього коефіцієнта у зв'язку зі значенням деякої перспективної інтенсивності руху. Блок-схема передбачає перерахунок за всіма 7 етапами за потребою.

Для прогнозування показника аварійності окремих ділянок доріг у разі покращення дорожніх умов у вихідній інформації має бути здійснена заміна відповідних значень коефіцієнтів K_i . В цьому випадку необхідний перерахунок за всіма 7 етапами.

Аналіз отриманих даних показав, що коефіцієнт аварійності є недостатньо повним та недостатньо зручним показником для оцінки дорожніх умов. Оцінка цим коефіцієнтом довгих ділянок вельми умовна, хоч і дозволяє судити про безпеку руху на одній ділянці в порівнянні з іншими

4.3 Структура автоматичного збирання інформації про дорожній рух

В умовах збільшення інтенсивності та щільності руху на автомобільних дорогах достовірна інформація про дорожній рух може бути отримана тільки на основі автоматизації її збору. Достовірність і точність результатів вимірювання характеристик транспортних потоків залежить від методів автоматичного збору, що застосовуються, що безпосередньо впливає на формування автоматизованих систем управління дорожнім рухом, а також на їх вартість [122 – 131].

У зв'язку з імовірнісним характером пересування транспортних засобів дорогою, вибір оптимального методу збору інформації залежить від інтенсивності руху, дорожніх та погодно-кліматичних умов.

В результаті аналізу факторів, що впливають на траєкторію пересування транспортних засобів, запропоновано цільову функцію вибору методу та відповідної структури облікового пункту, що забезпечує максимально достовірну інформацію про дорожній рух [132, 133]:

$$C=f(N, Y_D, Y_{\Pi}), \quad (4.17)$$

де C – структура контрольного пункту;

N – інтенсивність руху, авт./год;

Y_D, Y_{Π} – відповідно дорожні та погодно-кліматичні умови.

Основними методами збору інформації про дорожній рух є послідовний, паралельний та комбінований. Застосовність того чи іншого методу збору інформації про дорожній рух у конкретних дорожніх та погодно-кліматичних умовах визначається комплексом показників, основним з яких є достовірність інформації, що отримується.

У зв'язку з нерівномірністю розподілу транспортного потоку по ширині проїжджої частини, яка визначається наявністю маневрів, дорожніми та погодно-кліматичними умовами, а також величиною інтенсивності руху, вибір оптимального методу збору інформації про дорожній рух з точки зору мінімальної похибки обліку пов'язаний з вивченням та описом як ймовірності виникнення цих маневрів, і якісної і кількісної їх оцінкою [134 – 144].

Послідовний метод збирання інформації про дорожній рух на багатосмугових дорогах пов'язаний із встановленням однієї зони контролю у кожному напрямку (рис. 4.3). Втрати інформації у разі викликані одночасним появою двох чи більше транспортних засобів у цій зоні.

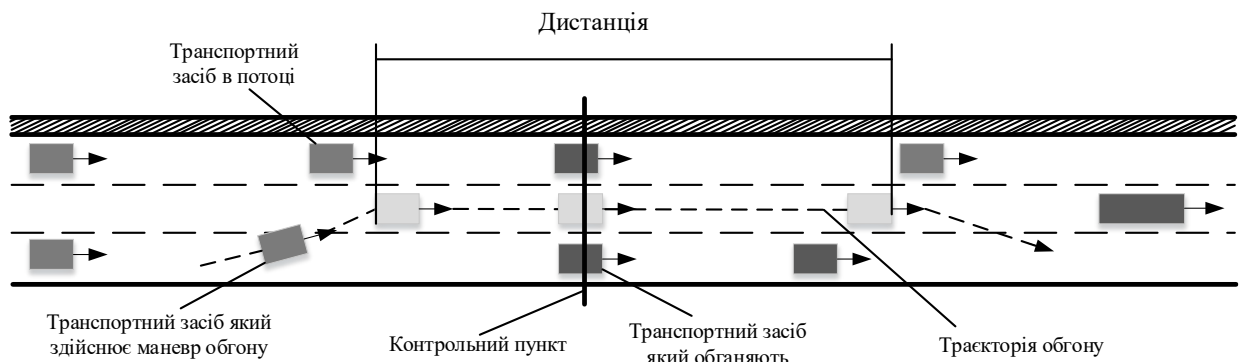


Рисунок 4.3 – Послідовний метод збору інформації на багатосмуговій дорозі

Вираз визначення кількості транспортних засобів в умовах реального режиму часу має вигляд:

$$n = n_{\Sigma}^* + \Delta n_g + \Delta \bar{n}_{обг} \quad , \quad (4.18),$$

де n_{Σ}^* – показання датчика автоматичного збору інформації про дорожній рух;

Δn_g – сумарні втрати інформації через одночасної незалежної появи g транспортних засобів над датчиком на g -смуговій дорозі в одному напрямку;

$$\Delta n_g = n \sum_{g=2}^r P_r(g)(g-1), \quad (4.19),$$

де $\Delta \bar{n}_{обг}$ – сумарні втрати інформації через маневр транспортного засобу який здійснює «обгін» у зоні датчика;

$$\Delta \bar{n}_{обг} = \frac{d_o}{L_o} \sum_{i=1}^{r-1} n_i P_r(g), \quad (4.20),$$

де $P_r(g)$ – сумарна ймовірність одночасної незалежної появи транспортних засобів на g смугах r – смугової дороги.

Застосування паралельного методу збору інформації зі структурою установки датчика на кожній смузі забезпечує отримання інформації про інтенсивність руху на відповідних смугах. Похибка підрахунку транспортних засобів у цьому випадку викликана одночасним перетином транспортних засобів двох датчиків сусідніх смуг при переході на іншу смугу або при обгоні, а також за недотримання транспортним засобом встановленої смуги руху. Аналогічні дослідження було проведено, застосовуючи комбінований спосіб збору інформації про дорожній рух (рис. 4.4), тобто встановленням датчиків на кожній смузі руху.

Для розглянутих методів визначено відповідні похибки автоматичного збирання інформації. Було встановлено, що похибки, що з'явилися при

фіксації інтенсивності руху, так само впливають на фіксацію інших характеристик структури транспортного потоку – щільність руху і зайнятість.

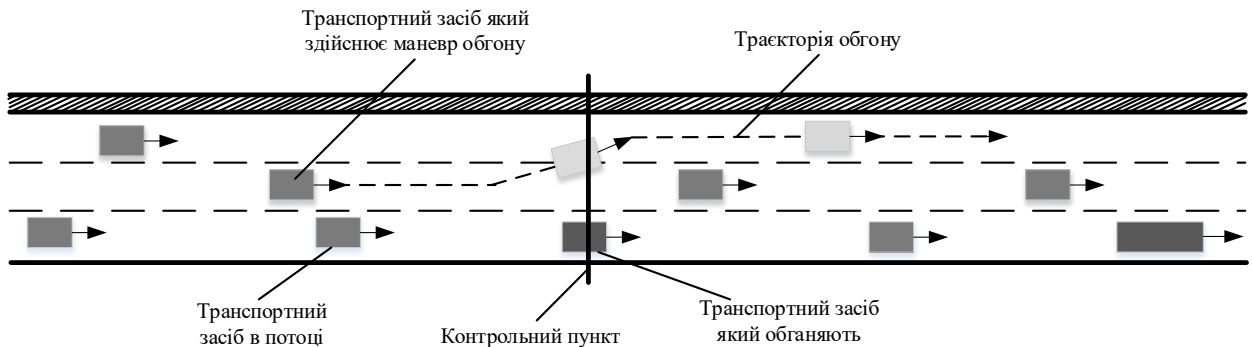


Рисунок 4.4 – Метод збору інформації про дорожній рух

Введено поняття «ступінь зв'язаності» транспортних засобів, що виражає ступінь залежності швидкості a_i транспортного засобу від тимчасового інтервалу τ_{12} між a_i та a_{i-1} транспортними засобами, що рухається і є функцією:

$$\alpha = e^{-BT_{1,2}} \quad (4.21),$$

де α – ступінь зв'язаності транспортних засобів a_i та a_{i-1} ;

B – коефіцієнт, що показує «тісноту» зв'язку між швидкістю V_i та середньою швидкістю $\bar{V}_{i-1}(T)$ попередніх транспортних засобів.

Вибір точності визначення швидкості транспортного потоку обмежений його нестаціонарністю, а тому оптимальною кількістю вимірювань швидкості транспортних засобів є така, при якій встановлена похибка вимірювання V_* дорівнює зміні ΔV математичного очікування швидкості транспортного потоку, функціонально пов'язаного із зміною інтенсивності ΔN за проміжок часу Δt .

Знання про розподіл тимчасових інтервалів між транспортними засобами необхідних для перевірки запропонованих виразів визначення похибок автоматичного обліку інтенсивності руху.

Оскільки межі застосування того чи іншого закону розподілу тимчасових

інтервалів між транспортними засобами дозволить однозначно охопити весь діапазон зміни інтенсивності руху, то в результаті статистичних досліджень запропоновано функцію розподілу $F(t)$ тимчасових інтервалів між транспортними засобами, що є функцією інтенсивності руху:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \cdot (1 + \lambda t \mu) \quad (4.22),$$

де λ – параметр розподілу;

t – величина часового інтервалу;

$\mu = (1 - e^{-0.005N})$ – емпіричний коефіцієнт.

Встановлено, що розподіл часових інтервалів між послідовною появою транспортних засобів прямого та зворотного напрямів у визначеній зоні, що характеризує часові інтервали взаємно накладеного транспортного потоку, підпорядковується експоненційно закону. Ця закономірність спостерігається незалежно від інтенсивності руху.

Порівнюючи теоретичні та статистичні дослідження, було встановлено оптимальні методи збору інформації про дорожній рух залежно від інтенсивності руху, дорожніх та погодно-кліматичних умов [145 – 151].

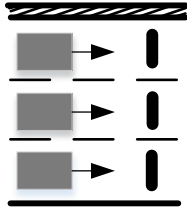
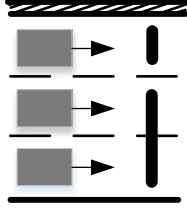
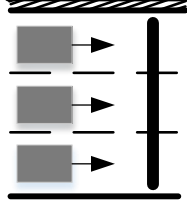
Так, на двосмуговій дорозі послідовний метод збору інформації про дорожній рух переважно доцільно використовувати при ширині проїжджої частини до 8,5 м незалежно від погодно-кліматичних умов та інтенсивності руху, а також на дорогах з шириною понад 8,5 м за нерівномірного руху за напрямками та несприятливих погодно-кліматичних умовах, коли збільшується кількість транспортних засобів, що не дотримуються встановлених смужок руху (табл. 4.3).

Паралельний метод збору інформації про дорожній рух на двосмуговій дорозі рекомендується використовувати у сприятливих погодно-кліматичних умовах на дорогах із шириною проїжджої частини з 7 до 8,5 м при рівномірній інтенсивності руху за напрямками понад 200 авт./год, а також на дорогах із шириною проїжджої частини вище 8,5 м у сприятливих умовах незалежно від

інтенсивності руху та несприятливих погодно-кліматичних умов за рівномірної інтенсивності руху за напрямками понад 250 авт./год.

На багатосмуговій дорозі у сприятливих дорожніх та погодно-кліматичних умовах незалежно від інтенсивності руху доцільно використати паралельний метод збору інформації про дорожній рух[152 – 163]. Комбінований метод із встановленням однієї зони контролю на крайній правій та середній смугах та однієї зони контролю на крайній лівій смузі рекомендується використовувати у несприятливих дорожніх та погодно-кліматичних умовах (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Рекомендації вибору структури автоматичного збору інформації на три смугових автомобільних дорогах

Метод збору	Погодні умови	Інтенсивність руху, авт/год
	Сприятливі	$N > 350$
	Сприятливі несприятливі	$N < 350$ $N > 350$
	Сприятливі несприятливі	$N < 350$ $N > 350$

Якщо не потрібна інформація про розподіл інтенсивності руху смугами, то при інтенсивності, що не перевищує 350 авт/год, може бути застосований послідовний метод збору інформації про дорожній рух.

Для найбільш типових характеристик транспортного потоку на

двосмугових та багатосмугових автомобільних дорогах побудовано графіки відносної похибки обліку інтенсивності руху на двосмугових (рис. 4.5) та багатосмугових (рис. 4.6) дорогах.

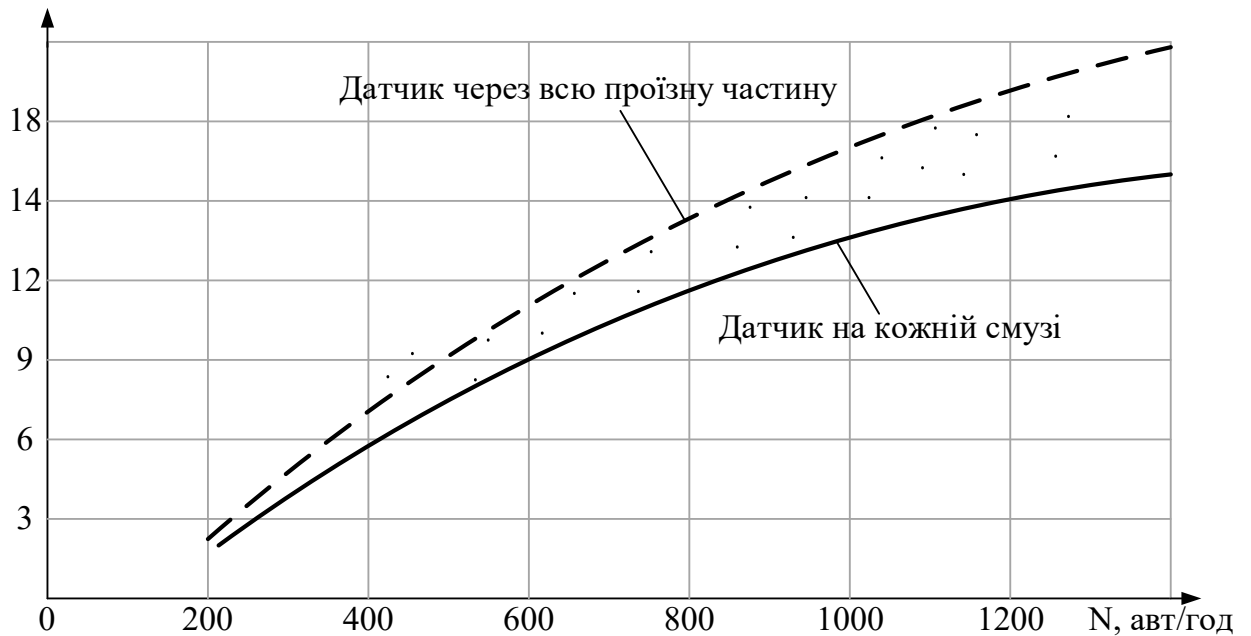


Рисунок 4.5 – Відносна похибка обліку інтенсивності руху на двосмуговій дорозі

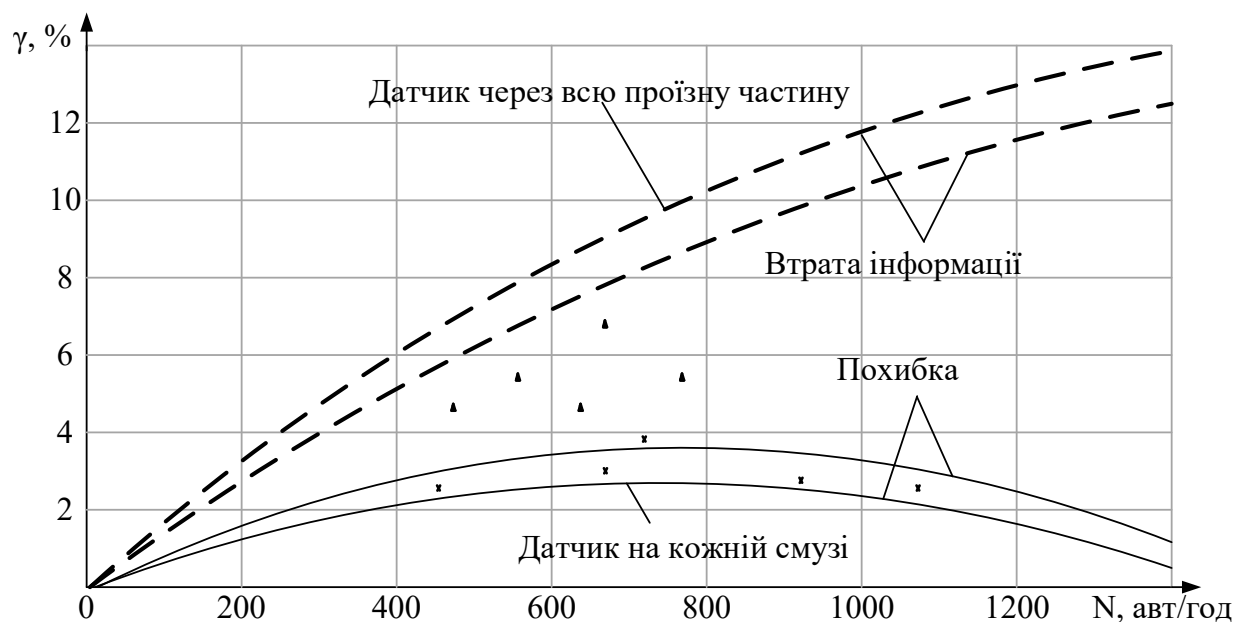


Рисунок 4.6 – Відносна похибка обліку інтенсивності руху на трьох смуговій автомобільній дорозі.

4.4 Методика управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст за допомогою інформаційного забезпечення

В основу методики покладено метод оперативного управління транспортними потоками з урахуванням виникнення різних критичних ситуацій [164 – 167]. У кожному конкретному випадку виникнення критичних ситуацій приймається рішення, яке реалізується шляхом подання команд засобами відображення керуючих впливів на інформаційні табло змінної інформації.

Загальні підходи до розрахунку за методикою управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст, можна виразити у вигляді блок-схеми (рис. 4.7).

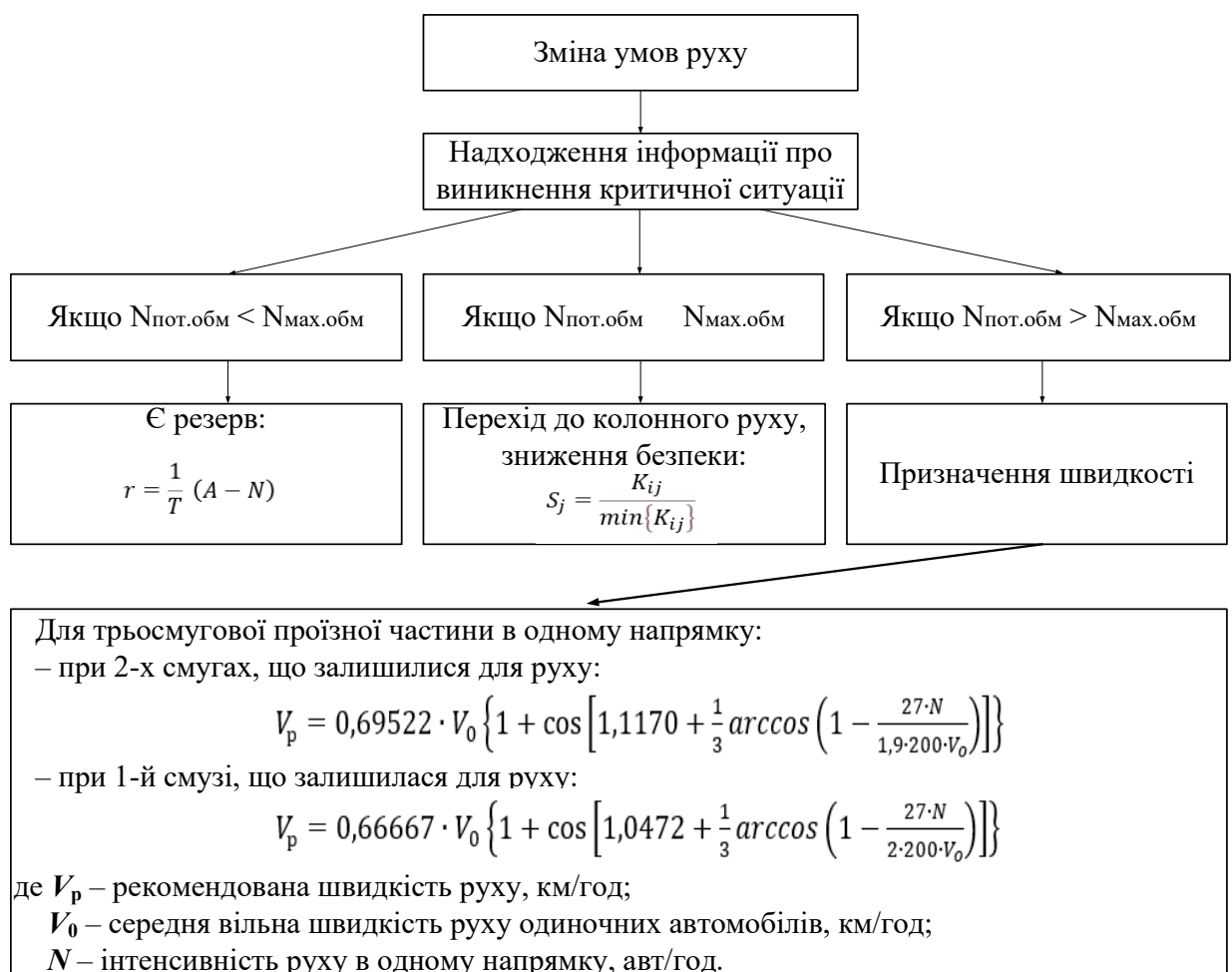


Рисунок 4.7 – Блок-схема прийняття рішень

Це дозволяє зменшити транспортні затримки, підвищити середню швидкість руху транспортного потоку та підвищити ефективність використання дорожньої інфраструктури.

Для управління рухом у разі виникнення такої критичної ситуації як ДТП, необхідно захистити місце події, а водіїв, які під'їжджають до місця ДТП – інформувати про нього. Привести швидкість транспортного потоку у відповідність до умов руху з урахуванням кількості смуг можливих для руху та визначившись у величині інтенсивності руху.

Для визначення швидкості руху транспортного потоку, яка буде використана на ділянці дороги у разі виникнення критичної ситуації необхідно використовувати математичну модель управління дорожнім рухом.

Результати розрахунку швидкості руху для трьосмугової проїзної частини в одному напрямку при 2-х смугах, що залишилися для руху і дозволених швидкості руху автомобілів на ділянці $V_0 = 110$ км/год за формулою (4.23) розраховано та зведено у (табл. 4.4).

$$V_p = 0.69522 \cdot V_0 \left\{ 1 + \cos \left[1.1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot N}{1.9 \cdot 200 \cdot V_0} \right) \right] \right\}, \dots (4.23)$$

Якщо $N = 100$ авт./год, то:

$$V_p = 0.69522 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1.1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 100}{1.9 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 101 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 300$ авт/год, то:

$$V_p = 0.69522 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1.1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 300}{1.9 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 95 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 500$ авт/год, то:

$$V_p = 0.69522 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1.1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 500}{1.9 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 90 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 700$ авт/год, то:

$$V_p = 0.69522 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1.1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 700}{1.9 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 86 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 900$ авт/год, то:

$$V_p = 0,69522 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 900}{1,9 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 82 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 1100$ авт/год, то:

$$V_p = 0,69522 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 1100}{1,9 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 79 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 1300$ авт/год, то:

$$V_p = 0,69522 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 1300}{1,9 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 75 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 1500$ авт/год, то:

$$V_p = 0,69522 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 1500}{1,9 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 72 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 1700$ авт/год, то:

$$V_p = 0,69522 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,1170 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 1700}{1,9 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 69 \text{ км/год}$$

Розрахунок виконано до $N = 3100$ авт./год.

Залежність «інтенсивність – швидкість» показано на рисунку 7.

Таблиця 4.4 – Призначення швидкості руху при трьосмуговій проїзній частині в одному напрямку, при 2-х смугах, що залишилися для руху

Інтенсивність N , авт./год	Швидкість V_p , км/год	Інтенсивність N , авт./год	Швидкість V_p , км/год
100	101	2 100	62
300	95	2 200	60
500	90	2 300	58
700	86	2 500	57
900	82	2 600	55
1 100	79	2 700	53
1 300	75	2 800	50
1 500	72	2 900	48
1 700	69	3 000	45
1 900	65	3 100	41

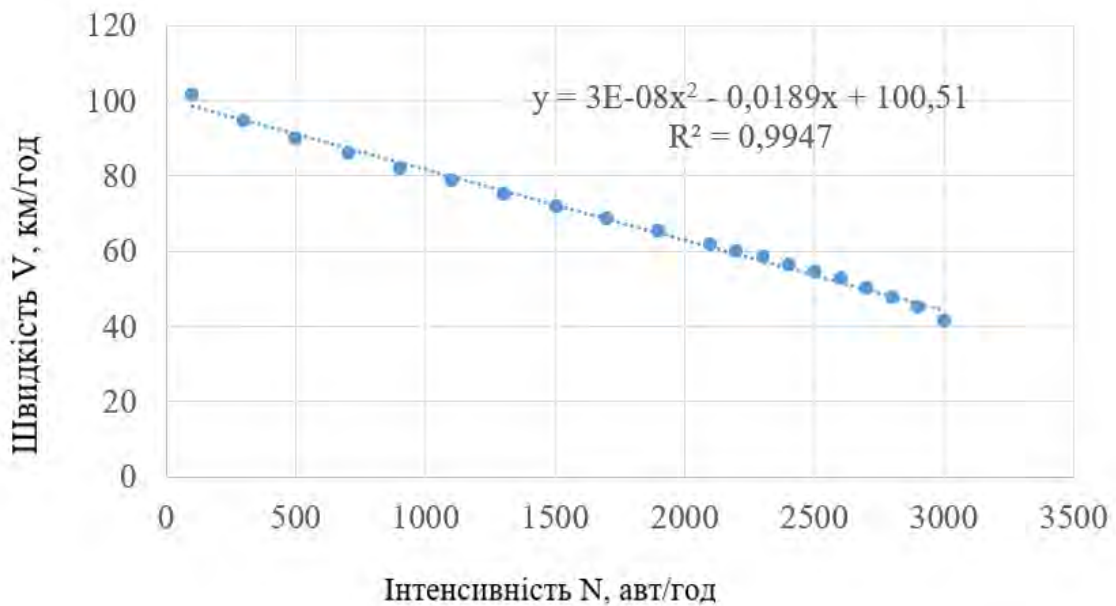


Рисунок 4.8 – Залежність «інтенсивність – швидкість»

Результати розрахунку для двосмугової проїзної частини в одному напрямку при 1-й смузі, що залишилися для руху і дозволених швидкості руху автомобілів на ділянці $V_0 = 110$ км/год за формулою (4.24) розраховано та зведено у таблицю 3.

$$V_p = 0.66667 \cdot V_0 \left\{ 1 + \cos \left[1.0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot N}{2 \cdot 200 \cdot V_0} \right) \right] \right\} \dots \dots \dots (4.24)$$

Якщо $N = 100$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 100}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 102 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 300$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 300}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 96 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 500$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 500}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 92 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 700$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 700}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 88 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 900$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 900}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 85 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 1100$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 1100}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 81 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 1300$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 1300}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 78 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 1500$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 1500}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 75 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 1700$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 1700}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 73 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 1900$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 1900}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 69 \text{ км/год}$$

Якщо $N = 2100$ авт./год, то:

$$V_p = 0,66667 \cdot 110 \left\{ 1 + \cos \left[1,0472 + \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{27 \cdot 2100}{2 \cdot 200 \cdot 110} \right) \right] \right\} = 66 \text{ км/год}$$

Розрахунок виконано до $N = 3200$ авт./год.

Залежність «інтенсивність – швидкість» показано на рисунку 4.9.

Таблиця 4.5 – Призначення швидкості руху при двох смуговій проїзній частині в одному напрямку, при 1-й смузі, що залишилися для руху

Інтенсивність N , авт./год	Швидкість V_p , км/год	Інтенсивність N , авт./год	Швидкість V_p , км/год
100	102	2 200	65
300	96	2 300	63
500	92	2 400	61
700	88	2 500	60
900	85	2 600	58
1 100	81	2 700	56
1 300	78	2 800	54

Кінець таблиці 4.5

Інтенсивність N , авт./год	Швидкість V_p , км/год	Інтенсивність N , авт./год	Швидкість V_p , км/год
1 500	75	2 900	52
1 700	73	3 000	49
1 900	69	3 100	46
2 100	66	3 200	43

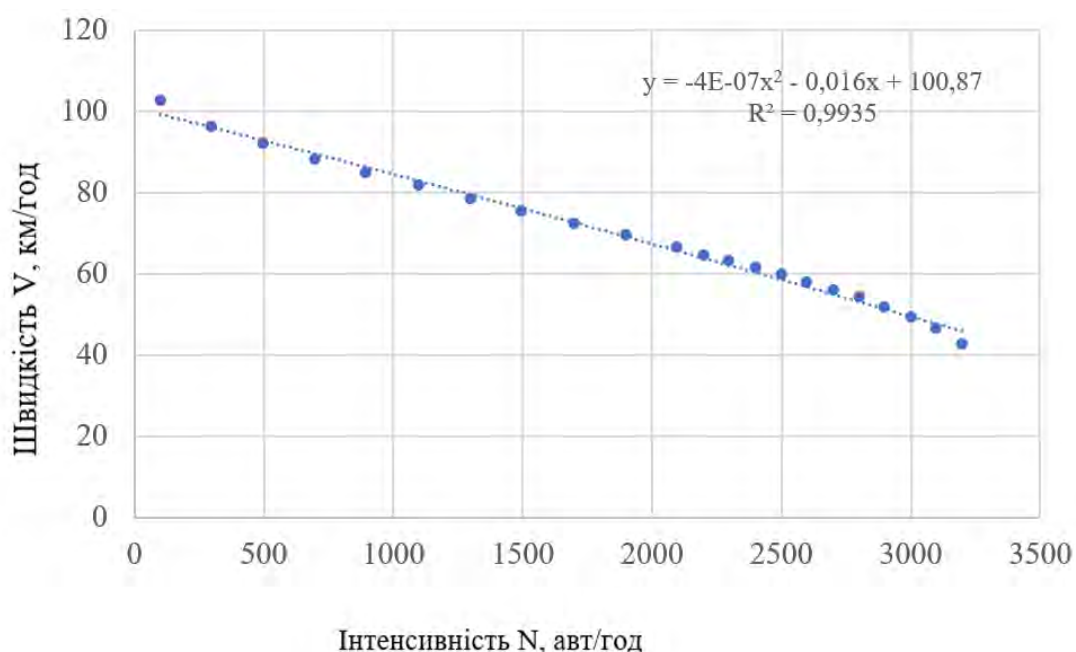


Рисунок 4.9 – Залежність «інтенсивність – швидкість»

Визначивши швидкість, знаючи інтенсивність та пропускну здатність визначають резерв – величину, яку умовно можна назвати різницею між інтенсивністю та пропускну здатністю. Резерв визначають за формулою:

$$r = \frac{1}{T} (A - N),$$

де A – величина пропускну здатності, авт/км;

N – поточне значення інтенсивності руху, авт/год;

T – час, протягом якого відбувається зміна величини інтенсивності руху, год.

З урахуванням інтенсивності, швидкості та пропускної здатності було проведено низку обчислень для відповідного обґрунтування значення резерву.

Для трьосмугової проїзної частини в одному напрямку при

2-х смугах, що залишилися для руху і дозволених швидкості руху автомобілів на ділянці $V_0 = 110$ км/год, $N = 100$ авт./год, $A = 2\,200$ авт./год, $V_p = 101$ км/год, то $r = 2\,100$ авт./год.

Якщо $N = 300$ авт./год, $V_p = 95$ км/год, то $r = 1\,900$ авт./год.

Якщо $N = 1\,900$ авт./год, $V_p = 65$ км/год, то $r = 300$ авт./год.

Розрахунок виконували до $N = 3000$ авт./год, $V_p = 41$ км/год,

то $r = -800$ авт./год, тобто при такій інтенсивності резерв відсутній.

Аналогічні розрахунки потрібно виконувати для двосмугової проїзної частини.

Введення запропонованих заходів управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг, зокрема рекомендація швидкісного режиму руху транспортних потоків на ділянках підходу до міст, призвело до позитивних результатів.

Відповідно до проведених розрахунків визначено рекомендовані швидкості руху для кожного окремого випадку.

Висновки до розділу 4

Розроблено методику управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст на основі удосконаленого методу управління дорожнім рухом на підходах до міст в умовах функціонування автоматизованих систем. Розроблену методику можна адаптувати на інші ділянки автомобільних доріг шляхом аналогічного аналізу та розробленого підходу з використанням інформації у реальному часі.

Результати досліджень четвертого розділу викладено у наступних публікаціях [121, 127, 129, 133, 135, 151, 167].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено рішення актуальної науково-практичної задачі, що полягає в удосконаленні методу оперативного управління на основі моделювання руху транспортних потоків з урахуванням реального часу, що дозволяє оптимізувати параметри регулювання залежно від транспортної ситуації на ділянках підходу автомобільних доріг до міст, що дозволяє підвищити ефективність функціонування системи «Дорожні умови – транспортні потоки».

Основні наукові та практичні результати полягають в наступному:

1. Виконано аналіз існуючих методів управління дорожнім рухом на підходах до міст в умовах функціонування автоматизованих систем. Було встановлено, що для прийняття ефективних рішень, математичні моделі, на яких базуються чинні методи, потребують удосконалення з метою врахування актуальних і фактичних даних про транспортний потік, його склад, інтенсивність та умови руху в реальному часі. У результаті аналізу було виявлено, що найбільш ефективними в європейському контексті є інтегровані системи ITS, які базуються на багаторівневому зборі даних.

2. Проаналізовано дорожньо-транспортні пригоди на ділянках підходу автомобільних доріг до міста Києва та було виявлено, що понад 50 % усіх зафіксованих ДТП сконцентровано в межах 30-кілометрової зони віддаленості від межі міста. Це свідчить про чітку тенденцію до збільшення інтенсивності руху транспортного потоку та завантаженості ділянки дороги, що й впливає на частоту виникнення ДТП при наближенні до межі міста.

Розроблено математичну модель адаптивного управління рухом транспортних потоків на підходах до міст з урахуванням реального часу. Встановлено, що на підходах до міст можуть виникати різні критичні ситуації, які фіксуються або за допомогою технічних засобів збору та передачі інформації про дорожній рух, або за допомогою спеціальних повідомлень до

центру керування. У кожному конкретному випадку виникнення критичних ситуацій приймається рішення, яке реалізується шляхом подання команд засобами відображення керуючих впливів на інформаційні табло змінної інформації.

3. Удосконалено метод оперативного управління на основі моделювання руху транспортних потоків з урахуванням реального часу, який використовувався під час імітаційного моделювання заторів у середовищі PTV Vissim.

У процесі моделювання було встановлено, що середня величина швидкості становить 63,67 км/год, а середній час затримки – 40,48 с. Однак при виникненні перешкоди середній час затримки значно збільшується до 45,57 с, а середня швидкість зменшується до 63,1 км/год., але після надання рекомендацій щодо встановлення швидкісного режиму було визначено, що середній час затримки становить 37,57 с, який зменшився і складає 19 %, середня швидкість руху транспортного потоку становить 68,83 км/год, яка збільшилась на 5 км/год, що свідчить про ефективність запропонованих заходів у покращенні умов руху на ділянці автомобільної дороги М-06.

Отримані результати підтвердили адекватність розробленої математичної моделі, зокрема було отримано, аналогічно розрахункам, рекомендовані швидкості руху, в обох розглянутих випадках вони знаходяться у межах 63 – 65 км/год за інтенсивності руху 1800 – 1900 авт./год.

4. Розроблено методику управління дорожнім рухом на ділянках підходу автомобільних доріг до міст, на основі математичної моделі та удосконаленого методу оперативного управління, що дозволить зменшити транспортні затримки, підвищити середню швидкість руху транспортного потоку та підвищити ефективність використання дорожньої інфраструктури. Розроблену методику можна адаптувати на інші ділянки автомобільних доріг шляхом аналогічного аналізу та розробленого підходу з використанням інформації у реальному часі.

Результати дисертаційного дослідження було використано при розробленні нормативних документів.

Матеріали досліджень були впроваджені у навчальний процес, зокрема при викладанні дисципліни «Управління дорожнім рухом» і «Дорожні умови та безпека руху (Спецкурс)» для студентів Національного транспортного університету.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К., Лановий О.Т., Линник І.Е., Поліщук В.П. Системологія на транспорті. Кн.4. Організація дорожнього руху : навч. посіб. Київ. 2006 452с.
2. Поліщук В. П. Автоматизоване управління дорожнім рухом на автомобільних дорогах.: дис. ... д-р. техн. наук. Київ, 1996. 467 с. (рос.мова).
3. Smart motorway M4 junctions 3 to 12 National Highways
URL: [https://assets.highwaysengland.co.uk/roads/road-projects/m4-junctions-3-12-managed-motorway/M4+junctions+3-12+smart+motorway+%E2%80%93+Public+Exhibition+Display+\(Spring+2019\).pdf](https://assets.highwaysengland.co.uk/roads/road-projects/m4-junctions-3-12-managed-motorway/M4+junctions+3-12+smart+motorway+%E2%80%93+Public+Exhibition+Display+(Spring+2019).pdf) (дата звернення: 10.03.2020)
4. Germany's approach to adaptive traffic control.
URL: <https://www.itsinternational.com/its8/feature/germanys-approach-adaptive-traffic-control> (дата звернення: 10.03.2020)
5. Поліщук В.П., Лановий О.Т., Дзюба О.П., Красильнікова О.В. та ін Організація та регулювання дорожнього руху: підручник. Київ, 2011. 467 с.
6. Polishchuk V., Yanishevskyi S., Bilonoh O., Nahrebelna L., Trushevsky V., Korchevska A., Semenchenko O., Vyhovska I. Expert assessment of engineering and planning solutions to improve the safety of vulnerable road users in Ukraine. *Expert assessments in decision making: risks and safety: collective monograph*. Tallinn: Scientific Route OÜ, 222. 2023. Pp. 154-206.
URL: <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1.ch6>
7. 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>.
8. ДСТУ 8894:2019 Безпека дорожнього руху. Лінійний аналіз аварійності та оцінювання умов безпеки руху на автомобільних дорогах
URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=84294
(дата звернення: 15.07.2022)

9. Hulchak O, Popov S, Nahrebelna L, Korchevska A Distribution of Traffic Speeds on the Approaches to Major and Most Significant Cities. *Transport Technologies*. 2025. Vol.6(1), 48–60.
URL: <https://science.lpnu.ua/tt/all-volumes-and-issues/volume-6-number-1-2025/distribution-vehicle-speeds-traffic-flow-multilane>
10. Про автомобільні дороги: Закон України. Редакція від 15.11.2024, підстава - 4017-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text> (дата звернення: 17.08.2022)
11. Про дорожній рух: Закон України. Редакція від 05.01.2025, підстава - 4149-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text> (дата звернення: 04.03.2025)
12. Дзюба О.П., Корчевська А.А., Шевченко А.Т. Аналіз впровадження інтелектуальних транспортних систем в європейських містах. *Вісник Національного транспортного університету*. Серія «Технічні науки». Київ, 2022. Вип. (48) с 193-200
URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/51/193_200.pdf
13. Порядок проведення аудиту безпеки автомобільних доріг. Затверджений Наказом Міністерства Інфраструктури України 09 квітня 2021 року №204. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0738-21#n15> (дата звернення: 15.07.2022)
14. Порядок проведення перевірки безпеки автомобільних доріг. Затверджений Наказом Міністерства інфраструктури України 18 травня 2021 року №266. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0737-21#Text> (дата звернення: 12.07.2022)
15. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А., Щербатюк А.О., Модлицький Г.Г. Швидкість та дорожньо-транспортні пригоди. *2nd International Scientific and Practical Conference "Scientific Innovation: Theoretical Insights and Practical Impacts"* 2025 Naples, Italy. С. 184-187
URL: <http://dspace.pdpu.edu.ua/bitstream/123456789/21661/1/Venger.pdf>

16. Нагребельна Л.П., Кострульова Т.Є., Корчевська А.А., Шпінь Д.М. Вплив війни на об'єкти дорожньої інфраструктури. відновлення. *V Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Russia-Ukraine War: Consequences for the World»* 30-31 січня 2025 року. С.171-173

URL:<http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2025/02/Conference-Proceedings-January-30-31-2025.pdf>

17. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій

URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=83211

(дата звернення: 18.08.2021)

18. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Зі Змінами № 1 та № 2.

URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=96760

19. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Зі Зміною № 1. URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98059

20. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови.

URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=92700

(дата звернення: 19.09.2023)

21. ДСТУ 4100:2021 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування.

URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=95084

(дата звернення: 23.09.2023)

22. ДСТУ 4092-2002 Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки.

URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=24575

(дата звернення: 12.07.2020)

23. ДСТУ EN 12368:2019 Устаткування для регулювання дорожнього руху. Світлофори (EN 12368:2006, IDT).

URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=87946

(дата звернення: 12.07.2022)

24. ДСТУ 8752:2017 Безпека дорожнього руху. Проект організації дорожнього руху. Правила розроблення, побудови, оформлення. Вимоги до змісту.

URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=75058

(дата звернення: 07.05.2019)

25. Правила дорожнього руху. Загальні положення 2025.

URL: <https://vodiya.ua/pdr/1/> (дата звернення: 12.07.2022).

26. Постанова КМУ від 15 грудня 2023 р. № 1318 «Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення»

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1318-2023-%D0%BF#Text> (дата

звернення: 11.03.2024).

27. ГБН В.2.3-37641918-550:2018 Автомобільні дороги. Зупинки маршрутного транспорту. Загальні вимоги проектування.

URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76711

(дата звернення: 10.02.2024).

28. Хом'як А.Я., Старовойда Л.М. Аналіз руху транспортних потоків на приміських дорогах. *Безпека дорожнього руху України*. Київ, 2000. № 2 (7). С. 29 – 32.

29. Yanishevskiy S.V., Korchevskiy A.O. Study of traffic flows on the approaches to significant and most significant cities. *Visnuk NTU*. Kyiv, 2012. Vol 26, pp 391-399.

30. Нагребельна Л.П., Кострульова Т.Є., Корчевська А.А., Шпінь Д.М. Роль дорожньої розмітки у забезпеченні безпеки дорожнього руху. *XXXV International scientific and practical conference «Modern Scientific Research is the Engine of Technical Progress»* (August 21-23, 2024) Karlovy Vary, Czech Republic. International Scientific Unity, 2024. 125 с.

URL: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/08/Modern_scientific_research_is_the_engine_of_technical_progress_August_21_23_2024_Karlovy_Vary_Czech_Republic.pdf

31. Лановий О.Т. Теоретичні основи та практичні методи забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг: дис. ... д-р техн. наук: Київ, 2019. 399с.
32. Осипов В.О. Удосконалення методу оцінки безпеки дорожнього руху на окремих ділянках автомобільних доріг: дис. ... канд. тех. наук. Київ, 2017. 245с.
33. Вознюк А.Б. Удосконалення методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг.: дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2021. 226с.
34. Виговська І.А. Удосконалення методу управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг.: дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2024. 187с.
35. Zhu, W., Cai, W., Kong, H. Optimal path planning based on ACO in intelligent transportation. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering* 6, 2025, pp. 441-450
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2025.02>. (SCOPUS).
36. Yang, S., Wu, Q. SDSINet: A spatiotemporal dual-scale interaction network for traffic prediction. 2025 *Applied Soft Computing*, 173, art. no. 112892, URL: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2025.112892> (SCOPUS)
37. Priya, C.S., Francis, F.S. Optimizing Traffic Speed Prediction Using a Multi-Objective Genetic Algorithm-Enhanced RNN for Intelligent Transportation Systems 2025 *IEEE Access*, 13, pp. 35688-35706. 1
URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3544864> (SCOPUS)
38. Jima, D., Sipos, T. Road geometry-related crash distribution, economic losses, and an alternative severity level analysis approach using combined parameters utilizing relative percentage share. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2025. 10 (1), art. no. 17, URL: <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01815-9> (SCOPUS)

39. Murali, N., David, D.B. Using Blue Whale Technology: An ML Edge Self-Adaptable Vehicle Slowdown Earliest Warning Information System. 2025. Lecture Notes in Electrical Engineering,
URL: https://doi.org/10.1007/978-981-97-8422-6_7 (SCOPUS)
40. Kumar, V., Tiwari, S., Sharma, R.K., Sinha, A., Tejani, G.G. A real time video sliced frame image based intelligent traffic congestion monitoring system using faster CNN (2025) Journal of Optics (India), art. no. 110229, URL: <https://doi.org/10.1007/s12596-025-02606-w> (SCOPUS).
41. Бурко Д.Л., Линник І.Е., Завальний О.В., Вакуленко К.Є. Дослідження інтенсивності транспортних потоків на вулицях міста Харкова. *Вісник НУБГП*. Рівне, 2023. Вип. 2 (102). С. 365–381. URL: <https://drive.google.com/file/d/1T9s-sO6tEm5KRq6e1xCiI3KnqZmZ3Ck/view>
42. Indra, G., Nirmala, E., Nirmala, G., Senthilvel, P.G. An ensemble learning approach for intrusion detection in IoT-based smart cities (2024) Peer-to-Peer Networking and Applications, 17 (6), pp. 4230-4246. Cited 2 times. URL: <https://doi.org/10.1007/s12083-024-01776-x> (SCOPUS).
43. Chawla, P., Hasurkar, R., Bogadi, C.R., Korlapati, N.S., Rajendran, R., Ravichandran, S., Tolem, S.C., Gao, J.Z. Real-time traffic congestion prediction using big data and machine learning techniques (2024) World Journal of Engineering, 21 (1), pp. 140-155. Cited 4 times.
URL: <https://doi.org/10.1108/WJE-07-2021-0428> (SCOPUS)
44. 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).
45. V. L. Knoop. Traffic flow theory: an introduction with exercises. URL: https://www.victorknoop.eu/research/book/Knoop_Intro_traffic_flow_theory_edition3.pdf
46. Кашканов. А. А., Грисюк О. Г. Безпека руху автомобільного транспорту: навч. посіб. Вінниця, 2005. 177 с.

47. Пальчик А. М. Організація дорожнього руху : навч. посіб. Київ, 2011. 228 с.
48. Кашканов А. А., Кужель В.П. Організація дорожнього руху : навч. посіб. Вінниця, 2017. 125 с.
49. Лобашов О.О., Прасоленко О.В., Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху» : навч. посіб. Харків, 2011. 221 с
50. Polishchuk, V. P., Nahrebelna, L. P., Vyhovska, I. A., & Popov, S. Y. Applying energy principles to the assessment of road traffic safety. *Visnuk NTU*, Kyiv, 2024, Vol 1(58), pp 133-141. URL: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2024-1-58-133-141>.
51. Нагребельна Л.П. Удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі.: дис. ... доктора філософії. Київ, 2021. 192с.
52. Хомяк Я. В. Організація дорожнього руху: підручник. Київ. 1986. 271 с.
53. Прейгер Д.К. Собкевич О.В., Ємельянова О.Ю. Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного розвитку. НІСД, Київ, 2011. 37 с.
54. 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. 82 – 85 с.
55. 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 проєктами, системний аналіз і логістика*. Київ, 2015. № 15 (1). С.129-135.
56. Oskarbski J., Kamiński T., Kyamakya K., Chedjou J. Ch., Żarski K., Pędzińska 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. URL: <https://doi.org/10.3390/s20185057> (SCOPUS).

57. Нагребельна Л.П., Кострульова Т.Є., Корчевська А.А., Шпінь Д.М. Роль дорожньої розмітки у забезпеченні безпеки дорожнього руху. *XXXV International scientific and practical conference «Modern Scientific Research is the Engine of Technical Progress»*. August 21-23, 2024. Karlovy Vary, Czech Republic. International Scientific Unity, 2024. 125 с. URL: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/08/Modern_scientific_research_is_the_engine_of_technical_progress_August_21_23_2024_Karlovy_Vary_Czech_Republic.pdf
58. 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.
59. Kopits E., Cropper M. Traffic fatalities and economic growth. Washington, DC, The World Bank, 2003 (Policy Research Working Paper No. 3035).
60. 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.
61. Галкін А.С., Бурко Д.Л., Воронько В.В. та ін. Концепція підвищення ефективності транспортних та логістичних систем в найзначніших містах : монографія. Харків, 2024. – 180с. ISBN 978-617-8238-82-7 URL:<https://tsl.kname.edu.ua/images/mon/MONOGRAFIA-2024.pdf>
62. 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, 2023. С. 185-190. ISBN: 978-966-632-318-0 (Online) URL: <http://doi.org/10.33744/978-966-632-318-0-2022-3>
63. Михайленко І.В., Четверухін Б.М. Управління дорожнім рухом на автомобільних дорогах. Київ, 1991. 193 с.[рос.мова].

64. Поліщук В.П., О.П. Дзюба. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. Київ, 2008. 175с.
65. Шевчук Я.В. Регіональна політика розвитку автотранспортної інфраструктури в Україні. *Сталий розвиток економіки*. Хмельницький, 2011. №1. С. 108-114.
66. Корчевська А. А. Кострульова Т. Є. Нагребельна Л. П. Шпінь Д. М. Аналіз технічних вимог і методів випробування матеріалів для дорожньої розмітки, як підґрунтя для нових стандартів. *Дороги і мости*. Київ, 2024 Випуск 30. с. 370-379
URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.370>
67. Янішевський С.В., Білоног О. Є., Корчевська А. А. Обмеження швидкості транспортних засобів в містах для підвищення безпеки вразливих учасників дорожнього руху. *Вісник Національного транспортного університету*. Серія «Технічні науки». Київ. 2023. Вип. 1 (55). с. 335-347
URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/55/335.pdf>
68. 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
69. 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.
70. Кудрицька Н.В. Транспортно-дорожній комплекс України: сучасний стан, проблеми та шляхи розвитку. Монографія. – Київ, 2010. 338 с.
71. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А. Дорожній рух як об'єкт управління системою «дорожні умови – транспортні потоки». Міжнародна науково науково-практична конференція. *Інноваційні підходи у відновленні транспортної інфраструктури в особливих умовах воєнного стану: виклики та перспективи*, 23-24 жовтня 2024 року . 529 – 532
URL: <https://drive.google.com/file/d/119CSuU4Cu0QEYWXsZdIklaOXf4FnYlyU/view>

72. Мікловда В.П., Шевчук Я.В. Сучасний стан та рівень розвитку автомобільної інфраструктури України. *Науковий вісник Ужгородського університету*. Серія «Економіка». Ужгород, 2011. Вип. 32. С. 6-13.

73. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К., Лановий О.Т., Линник І.Е., Поліщук В.П. Системологія на транспорті. Кн.3. Дослідження операцій в транспортних системах : навчальний посібник. Київ. 2005. 375 с.

74. Нагребельна Л.П., Кострульова Т.Є., Корчевська А.А., Шпінь Д.М. Важливість дорожньої розмітки у забезпеченні безпеки дорожнього руху. *The XXIX International scientific and practical conference "Business culture in the conditions of socio-cultural transformation of society"* (July 23 – 26, 2024). Lyon, France. International Science Group. 2024. 223 с.

URL: <https://isg-konf.com/wp-content/uploads/2024/07/Business-culture-in-the-conditions-of-socio-cultural-transformation-of-society.pdf>

75. 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.

76. Lynnyk, I., Zavalniy, O., Vakulenko, K., & Burko, D. Sustainable Urban Mobility of Kharkiv: Current State and Development Prospects. In *International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering* (2023, June). Cham: Springer Nature Switzerland. 424-436 p.

77. Дмитрієв І.А., Бурмака М.М. Стан та перспективи розвитку мережі автомобільних доріг загального користування. Харків, 2014 С. 64 - 72.

URL:https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/6281/1/piprp_2013_1_14.pdf

78. Лановий О.Т., Виговська І.А. Ефективність функціонування транспортних систем: економіка організації дорожнього руху: навч. посіб. Київ, 2020. 200с.

79. Нагребельна Л.П., ст. викл. Корчевська А.А. Щодо автоматизованого управління дорожнім рухом. *79-та наукова конференція професорсько-*

викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Київ. НТУ, 2023.

URL: https://drive.google.com/file/d/1oCZ0c6h_jAHE-xpYJQjC5b-yZ_B5TFp_/view

80. 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.

81. Лановий О.Т., Виговська І.А. Удосконалення функціонування мережі автомобільних доріг загального користування України. *Вісник НТУ*. Київ, 2019 Вип. 1 (43). С. 84-91.

82. Офіційний сайту Патрульної поліції України
URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 10.01.2025).

83. 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. Дніпро. Пороги, 2021. 536 с. С. 489-500.

84. Корчевська А.А. Управління дорожнім рухом в містах на основі моніторингу за ділянками підходу автомобільних доріг до них. *LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ. НТУ, 2021. – 472 с. URL: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-77.pdf>

85. Поліщук В.П. Основні напрями діяльності з організації дорожнього руху. *Безпека дорожнього руху України*. Київ, 2004. № 1-2. С. 69-71 (рос. мова).

86. Центр безпеки дорожнього руху ДП «НІРІ»
<https://nidi.org.ua/ua/centr>

87. Неізнестний С.В., Пальчик А.М. Неізнестна 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.

88. Поліщук В.П., Корчевська А.А., Нагребельна Л.П. Визначення середніх і рекомендованих швидкостей руху на підходах до значних та найзначніших міст в залежності від умов при управлінні рухом. Актуальні напрями розвитку технічного та виробничого потенціалу національної економіки: монографія Дніпро. Пороги, 2021. 183-209с. ISBN 978-617-518-399-1
89. Корчевська А.А. До питання про вплив змін транспортної інфраструктури на характеристики транспортного потоку. *Вісник НТУ*. Київ, 2022. Вип. 3 (53) С.172-177.
90. Afrin T., Yodo N. A Survey of Road Traffic Congestion Measures towards a Sustainable and Resilient Transportation System. *Sustainability*, Switzerland. 2020. Vol. 12(11). URL: <https://doi.org/10.3390/su12114660> (SCOPUS).
91. Prasolenko, O., Burko, D., Tkachenko, I., Chumachenko, V. «Driver Behavior in Complicated Road Infrastructure». *International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.
92. Поліщук 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.
93. Сирийчик Т., Фургальські А., Клімкевич Ч., Камола М. Транспортна політика України та її наближення до норм Європейського Союзу. Аналітично-дорадчий центр Блакитної стрічки. Київ, 2010 102 с.
94. Проєкт «Велике будівництво» – масштабна розбудова якісної інфраструктури України.
URL: <https://bigbud.kmu.gov.ua/> (дата звернення: 11.09.2022).
95. Алексєєв О. П., Гурко А.Г. Технічні засоби управління рухом автотранспортних засобів. *Проблеми пожежної безпеки*. Харків, 1998. – Юв. вип. Частина 2. С. 29-34.

96. 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>
97. 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.
98. Lobashov, O., Burko, D., Pasolenko, O., Galkin, A., & Schlosser, T. Assessment of possibility of «Park and ride» system in Kharkiv. *Transportation Research Procedia*. Ukraine. 2021. Vol.55.159-164.
99. 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.
100. Виговська І.А. Щодо умов руху транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування. *Вісник НТУ*. Київ, 2022. Вип. 3 (53) С. 68-74.
101. Гульчак О.Д., Нагребельна Л.П., Кострульова Т.Є., Корчевська А.А. Як зменшити затори на підходах до міст та у містах. *4th International Scientific and Practical Internet Conference*. April 3-4, Dnipro. 2025. С. 63-66
102. Muhamediyeva, D.K., Mirzarahmedova, A., Khasanov, U.U. Fuzzy model of transport demand. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 365 ISSN 25550403. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336505013> (SCOPUS).
103. Корчевська А.А., Виговська І.А., Смаглюк Р.В. Моделювання та аналіз транспортного потоку на регульованому перехресті в програмному середовищі PTV Vissim. *79-та наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ. 2023.
URL: https://drive.google.com/file/d/1oCZ0c6h_jAHE-xpYJQjC5b-yZ_B5TFp_/view

104. 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
URL: <https://doi.org/10.18280/mmep.080209> (SCOPUS).
105. Miller E.J. Transportation Modeling Urban Book Series. 2021. pp. 911-931 URL: https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_47 (SCOPUS).
106. van Nes, R., de Jong, G. Transport models. Advances in Transport Policy and Planning 2020. 6. pp. 101-128 URL: <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2020.08.001> (SCOPUS).
107. PTV Group: an official site. URL: <http://www.ptv.de> (дата звернення: 18.01.2022).
108. 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].
109. Абрамова Л.С., Чернобаєв М.С. Аналіз методів прогнозування інтенсивності транспортного потоку. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків, 2006. № 6. С.158-163.
110. Абрамова Л.С., Чернобаєв Н.С., Ширин В.В. Моделювання параметрів транспортних потоків. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2004. № 6(12). С. 213-215 [рос.мова].
111. Поліщук В.П., Корчевська А.А., Виговська І.А., Долінська Т.В., Оцінка впливу велоінфраструктури на рух на міській магістралі. *Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт*. с.185-190. ISBN: 978-966-632-318-0 (Online)
URL: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-318-0-2022-3>
112. 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). URL: <https://doi.org/10.3390/safety6030038> (SCOPUS).
113. Zhang Xingliang, Song Dandan, Liu Zhuo, Jing Yukun, Pu Jie, Yu Haitaoc. New Method for Calculating Traffic Delay Based on Modified BPR

Function Model Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 2023. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2678937> (SCOPUS)

114. 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.

URL: <https://ops.fhwa.dot.gov/freewaymgmt/publications/documents/freewaymanagementsopv.7.2.1.pdf>

115. Форнальчик Є. Ю., Гілевич В. В., Могила І.А. Моделювання транспортних потоків : навч. посіб. Львів, 2020. 216 с.

116. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К., Лановий О.Т., Линник І.Е., Поліщук В.П. Системологія на транспорті. Кн.1. Основи теорії систем і управління : Підручник. Київ. 2005. 452 с.

117. 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.

118. Лановий О.Т., Виговська І.А. Оцінка функціонування автомобільних міжнародних автомобільних транспортних коридорів України. *Вісник НТУ*. Київ. 2020. Вип. 1(46) С. 163-173.

119. Поліщук 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.

120. Середяк 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.

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

122. Потійчук О.Б., Піліпака Л.М. Транспортні розв'язки : навч. посіб. Рівне, 2020. 263 с. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/19648/1/tr_posib_2.pdf (дата звернення: 11.12.2021).

123. Поліщук 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.

124. 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.

125. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах. навч. посіб. для студ. напрямку «Транспортних технологій» ВНЗ. Київ, 2008. 400с.

126. Яцківський Л.Ю., Зеркалов Д.В. Загальний курс транспорту : навчальний посібник. Київ, 2007. 544 с.

127. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А. Покращення безпеки дорожнього руху за допомогою автоматизованого управління дорожнім рухом *Вісник Національного транспортного університету*. Серія «Технічні науки». Київ, 2021. Вип. (48) с 233-241.

URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/233-241.pdf>

128. 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.

129. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А., Кострульова Т.Є. Дотримання правил дорожнього руху в умовах воєнного стану. *The XXXII International Scientific and Practical Conference «Science, modern trends and society»*, August 14-16, 2023, Bilbao, Spain. 169 p.

URL: <https://eu-conf.com/ua/events/science-modern-trends-and-society/>

130. 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.
131. 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.
132. 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>
133. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А., Шпінь Д.М. Застосування засобів регулювання дорожнього руху у забезпеченні безпеки руху під час воєнного стану. *The XXXIII International Scientific and Practical Conference «World trends, realities and modern problems»*. August 21-23. 2023. Helsinki, Finland. 151 p
URL: <https://eu-conf.com/ua/events/world-trends-realities-and-modern-problems/>
134. 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*. Київ. 2023. С. 184.
135. 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*. с.185-190.
ISBN: 978-966-632-318-0 (Online)
URL: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-318-0-2022-3>
136. 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.

137. Дуднікова Н.М. Розкриття умов руху транспортного потоку на ділянках автомагістралей. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Харків, 2011. Том 2. С 56-64

URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2011_2%286%29_16.

138. Коваленко Л.А. Оцінка пропускну́ї 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].

139. 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.

140. Осетрін, М. М., Беспалов Д.О., Дорош М.І. Основні принципи створення транспортної моделі міста URL: <https://bespalov.me/> (дата звернення: 15.06.2022).

141. Сохацький А.В., Леснікова І.Ю., Трофімов О.В., Халіпова Н.В., Кузьменко А.І. Моделювання в транспортних технологіях. Частина I : монографія. 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>.

142. Беспалов Д. Методи моделювання транспортних потоків. URL: <https://bespalov.me/2012/07/16/metody-modelirovaniya-transportnyh-potokov/>

143. Kane L., Behrens R. Transport planning models – an historical and critical review. Urban Transport Research Group, University of Cape Town . URL:<http://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/7834/037.pdf?sequence1>

144. Абрамова Л.С. Теоретичні основи формування розподілених систем управління дорожнім рухом у містах.: дис. ... доктор тех. Наук. Харків, 2020. 418с.

145. Галушко В.О. Проблеми та перспективи розвитку дорожньої галузі. *Дорожня галузь України*. Київ, 2011. № 2. С. 12-15.
146. 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).
147. 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. URL: <https://doi.org/10.3141/1934-27> (SCOPUS)
148. 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 URL: <https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.05b.06> (SCOPUS).
149. Powell, J. D., & Logan, S. S. A mathematical model of traffic flow distribution. *Transportation Research Part B: Methodological*, 1985.19(5), 403-414.
150. 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>.
151. Корчевська А.А. Інформаційне забезпечення автоматизованих систем управління дорожнім рухом на автомобільних. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ. 2020. 536с. URL: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-76.pdf>
152. Daganzo, C. F. *Fundamentals of transportation and traffic operations*. N.Y. : ElsevierScienceInc., 1997.
153. 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.
154. 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. URL: <https://doi.org/10.7307/ptt.v29i2.2071> (SCOPUS).

155. Ackaah W., Huber G., Bogenberger K., Bertini R. Assessing the Harmonization Potential of Variable Speed Limit Systems. Transportation Research Record: 2016. pp. 129-138. URL: <https://doi.org/10.3141/2554-14> (SCOPUS).

156. 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. URL: <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000389> (SCOPUS).

157. 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.

158. 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 URL: <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.TEENG-7456> (SCOPUS).

159. 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. URL: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.02.044> (SCOPUS).

160. Гук В. І., Шкодовський Ю. М.. Транспортні потоки : теорія та їх застосування в урбаністиці: моногр. Харків. 2009. 232 с.

161. 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>.

162. Аліна Корчевська, Денис Шпінь, Людмила Нагребельна, Тетяна Кострулова. Доцільність створення електронного обліку дорожніх знаків. *Дороги і мости*. Київ, 2024 Випуск 29 с. 316-325 URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.316>

163. Нагребельна Людмила Павлівна, Корчевська Аліна Анатоліївна, Ірійчук Борис Володимирович, Щербатюк Анна Олександрівна. Масове

впровадження та перехід на електромобілі. *The 14th International scientific and practical conference Transformations of the individual and society: challenges of the future*. Tokyo, Japan. International Science Group. 2025. 275 p. P. 270-273

URL: <https://isg-konf.com/transformations-of-the-individual-and-society-challenges-of-the-future/>

164. Нагребельна Л.П., Кострульова Т.Є., Корчевська А.А., Шпінь Д.М. Покращення безпеки дорожнього руху за умови використання якісних матеріалів для дорожніх знаків та розмітки. *IV міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури»* 10, 11, 12 грудня 2024 р. Київ, Україна.

URL: <https://insat.org.ua/other/news/201224/>

165. Nahrebelna L.P., Kostruleva T.E, Korchevska A.A., Shpin D.M. Safe and inclusive transport. *V Міжнародна науково-практична конференція «Current trends in scientific research development»* 12-14.12.2024, Бостон, США

URL: <https://sci-conf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-current-trends-in-scientific-research-development-12-14-12-2024-boston-ssha-arhiv/>

166. Гульчак О.Д., Корчевська А.А., Шульга А. Сталий розвиток вантажного автомобільного транспорту в містах. *Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт*. с. 234-239 ISBN: 978-966-632-318-0 (Online)

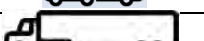
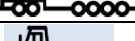
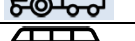
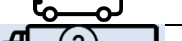
URL: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-318-0-2022-3>

167. Оксана Гульчак, Інна Виговська, Аліна Корчевська. Методика оперативного управління дорожнім рухом при виникненні критичних ситуацій за рахунок інформаційного забезпечення. *Multidisciplinary international scientific magazine "Věda a perspektivy" is registered in the Czech Republic*. 2025 №5 (48). С. 243 – 258. URL: [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2025-5\(48\)](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2025-5(48))

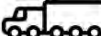
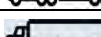
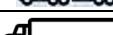
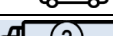
ДОДАТОК А.

Характеристики транспортного потоку

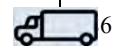
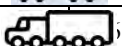
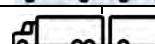
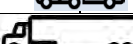
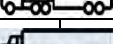
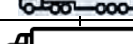
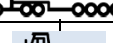
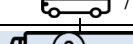
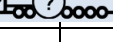
Таблиця А.1 – Середня інтенсивність руху за місяцями на автомобільній дорозі М-05 Київ – Одеса за 2021 рік.

Тип транспортного засобу	Середня інтенсивність руху за місяцями, авто/доба											
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
	16 925	17 291	20 996	24 740	26 973	26 900	30 918	29 450	22 661	27 115	23 765	22 064
	3 259	3 850	4 307	4 433	4 541	4 937	4 913	4 798	4 539	5 000	4 650	4 691
	79	103	126	155	1297	2769	1388	153	163	148	134	133
	60	93	131	163	167	243	203	163	141	91	121	85
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	33	33	46	58	54	53	61	59	56	71	63	55
	24	23	30	31	28	31	27	30	30	37	38	34
	17	18	23	23	35	42	30	24	21	24	24	21
	10	12	13	13	27	46	21	15	13	17	18	18
	20	25	35	36	49	120	86	37	33	39	36	33
	469	518	638	663	608	631	644	678	686	767	842	789
	1 620	1 907	2 179	2 200	2 037	2 140	2 128	2 260	2 185	2 395	2 517	2 384
	66	85	101	86	82	99	108	103	100	105	112	124
	117	130	139	125	125	124	138	126	128	157	171	192
	5	6	6	5	6	8	5	5	6	6	6	6
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	89	102	111	103	126	194	252	251	184	163	126	141
	1	1	1	1	1179	1746	688	4	13	1	2	1
	137	128	226	351	331	345	349	331	319	397	305	214

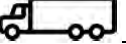
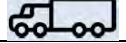
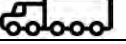
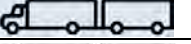
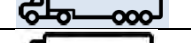
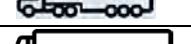
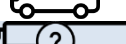
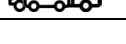
Таблиця А.2 – Середня інтенсивність за годинами доби на автомобільній дорозі М-05 Київ – Одеса за 2021 рік.

Тип транспортного засобу	Середня інтенсивність та склад транспортного потоку за проміжками часу , авто/год																							
	00.00 - 01.00	01.00 - 02.00	02.00 - 03.00	03.00 - 04.00	04.00 - 05.00	05.00 - 06.00	06.00 - 07.00	07.00 - 08.00	08.00 - 09.00	09.00 - 10.00	10.00 - 11.00	11.00 - 12.00	12.00 - 13.00	13.00 - 14.00	14.00 - 15.00	15.00 - 16.00	16.00 - 17.00	17.00 - 18.00	18.00 - 19.00	19.00 - 20.00	20.00 - 21.00	21.00 - 22.00	22.00 - 23.00	23.00 - 00.00
	245	172	138	139	209	414	1054	1380	1437	1368	1360	1376	1428	1480	1521	1570	1599	1596	1569	1460	1220	882	595	383
	64	50	42	45	63	116	216	265	262	262	269	262	258	263	283	287	282	274	260	222	196	151	106	80
	7	5	4	3	4	10	26	32	31	30	31	31	32	33	35	37	37	38	37	36	32	26	18	10
	4	4	3	2	2	5	7	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	5	5	4	4
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1
	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1
	1	1	1	1	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	3	2	2	1
	23	18	14	12	13	20	27	26	24	26	32	36	38	37	36	35	34	32	32	32	33	33	30	27
	90	75	62	55	61	80	73	63	60	79	94	102	104	105	106	106	110	105	104	108	116	123	113	105
	5	4	4	2	3	5	4	2	3	4	3	4	4	4	4	4	4	5	4	3	4	5	5	5
	6	5	4	4	4	5	4	4	4	5	5	6	5	6	6	6	7	6	6	6	8	9	8	7
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	4	2	2	3	10	6	7	9	7	5	6	3	5	4	5	4	7	7	11	11	8	7	7
	25	23	15	14	20	39	58	56	58	69	72	72	68	63	70	71	63	61	68	85	95	87	56	38
	3	3	3	3	5	8	11	14	15	15	16	16	16	16	17	18	19	18	18	15	13	10	7	5

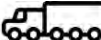
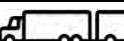
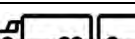
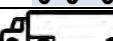
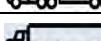
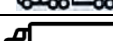
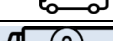
Таблиця А.3 – Середня швидкість руху за часом доби на автомобільній дорозі М-05 Київ – Одеса за 2021 рік.

Тип транспорт ного засобу	Середня швидкість руху за проміжок часу , км/год																							
	00.00 - 01.00	01.00 - 02.00	02.00 - 03.00	03.00 - 04.00	04.00 - 05.00	05.00 - 06.00	06.00 - 07.00	07.00 - 08.00	08.00 - 09.00	09.00 - 10.00	10.00 - 11.00	11.00 - 12.00	12.00 - 13.00	13.00 - 14.00	14.00 - 15.00	15.00 - 16.00	16.00 -17.00	17.00 - 18.00	18.00 - 19.00	19.00 - 20.00	20.00 - 21.00	21.00 - 22.00	22.00 -23.00	23.00 - 00.00
 5	95	94	94	94	95	95	96	98	98	97	97	96	96	97	96	96	95	94	95	95	95	94	95	95
 6	86	84	84	84	87	90	90	92	91	90	89	88	88	88	89	89	88	88	88	88	88	88	86	86
 7	92	89	87	86	89	95	99	101	102	99	97	98	98	99	99	99	100	100	100	99	99	97	96	94
 8	67	66	68	69	72	69	70	73	73	71	73	73	73	73	73	74	75	74	74	73	72	70	69	68
 9	86	86	74	61	73	84	80	90	90	57	82	76	65	81	76	83	76	91	87	80	78	78	78	80
 10	71	71	74	74	78	87	91	90	85	85	85	85	85	86	86	87	87	85	86	86	85	81	77	76
 11	72	72	72	72	71	73	71	72	72	70	70	71	71	72	73	74	73	73	72	71	73	72	72	72
 12	77	75	77	77	78	80	81	81	83	82	82	83	82	82	83	81	81	79	81	79	78	77	78	79
 13	75	73	72	70	77	80	80	79	78	80	79	80	79	79	79	78	78	78	77	77	75	75	75	76
 14	80	80	86	85	88	87	78	83	79	80	82	79	81	83	82	84	84	81	78	70	72	78	81	81
 15	76	76	76	76	76	76	77	77	77	78	78	78	78	78	78	78	78	77	77	76	76	76	76	76
 16	75	75	74	74	74	75	76	76	76	77	77	77	77	77	77	77	76	76	75	75	75	74	75	75
 17	73	73	73	73	71	72	73	73	75	72	72	73	74	73	73	73	72	72	73	73	74	72	71	72
 18	71	71	71	72	71	72	73	73	72	72	74	73	74	74	74	74	74	73	72	72	72	72	73	73
 19	68	68	65	71	69	66	74	75	76	74	73	73	75	75	75	77	73	77	71	74	72	72	71	74
 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
 21	87	87	84	83	83	86	89	87	86	84	88	87	88	90	91	90	87	88	86	84	84	83	85	87
 22	105	101	101	101	110	109	112	111	112	112	111	112	111	111	111	110	111	110	111	112	111	108	105	106
 23	5	4	4	5	9	9	7	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	4	4	4	5

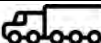
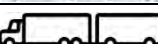
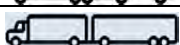
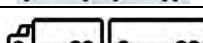
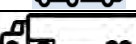
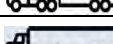
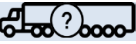
Таблиця А.4 – Середня інтенсивність руху за місяцями на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп за 2021 рік.

Тип транспортного засобу	Середня інтенсивність руху за місяцями, авто/доба											
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
	21 232	20 352	15 961	14 940	20 929	22 345	23 064	23 038	22 165	22 130	20 108	18 595
	5 245	4 877	2 755	2 037	2 649	3 376	3 617	3 503	3 743	3 666	3 495	3 466
	326	200	126	94	112	130	139	124	138	146	151	138
	163	66	22	18	24	29	43	34	36	42	39	39
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	183	72	20	20	28	27	28	28	31	29	29	27
	26	26	19	16	16	17	19	17	21	22	20	21
	45	13	5	4	5	4	6	5	7	5	6	5
	127	35	3	3	3	3	2	2	3	3	4	3
	155	23	16	11	14	18	20	20	24	24	22	22
	390	413	319	272	327	344	378	370	411	409	415	402
	1 873	2 117	1 656	1 349	1 467	1 560	1 701	1 621	1 809	1 815	1 840	1 791
	59	67	47	36	42	46	49	44	54	53	57	60
	26	22	14	16	16	20	15	20	21	21	21	20
	104	41	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	30	47	49	48	44	51
	19	6	5	4	17	34	32	17	2	3	1	1
	497	222	131	132	190	198	199	209	220	209	175	126

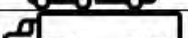
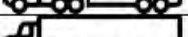
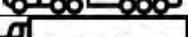
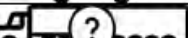
Таблиця А.5 – Середня інтенсивність за годинами доби на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп за 2021 рік.

Тип транспортного засобу	Середня інтенсивність та склад транспортного потоку за проміжками часу , авто/год																							
	00.00 - 01.00	01.00 - 02.00	02.00 - 03.00	03.00 - 04.00	04.00 - 05.00	05.00 - 06.00	06.00 - 07.00	07.00 - 08.00	08.00 - 09.00	09.00 - 10.00	10.00 - 11.00	11.00 - 12.00	12.00 - 13.00	13.00 - 14.00	14.00 - 15.00	15.00 - 16.00	16.00 - 17.00	17.00 - 18.00	18.00 - 19.00	19.00 - 20.00	20.00 - 21.00	21.00 - 22.00	22.00 - 23.00	23.00 - 00.00
	208	137	100	87	104	239	919	1248	1322	1226	1178	1179	1210	1244	1272	1315	1347	1378	129	1124	952	751	515	328
	68	57	52	54	64	113	186	182	191	192	205	200	202	206	204	205	207	194	186	157	145	117	99	81
	3	3	2	2	3	4	6	5	6	8	10	11	10	10	11	9	9	7	6	6	5	4	4	4
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4	3	3	2	2	1	1	1
	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	2	2	2	3	4	3	5	4	4	3	4	4	3	4	3	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	1	1	1
	14	12	10	9	10	14	16	7	8	13	17	20	20	20	19	19	19	15	16	18	19	18	17	16
	90	75	65	59	59	77	65	31	34	57	72	74	76	75	73	72	68	56	62	83	104	102	103	98
	3	2	2	2	3	4	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	3
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	2	2	5	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	3	2	2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	2	1	4	3	1	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	1	1	2
	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	2	1	1	1
	2	2	1	2	2	4	9	11	12	12	12	12	12	13	13	14	14	13	12	10	8	7	4	3

Таблиця А.6 – Середня швидкість руху за часом доби на автомобільній дорозі М-06 Київ – Чоп за 2021 рік.

Тип транспортного засобу	Середня швидкість руху за проміжків часу , км/год																							
	00.00 - 01.00	01.00 - 02.00	02.00 - 03.00	03.00 - 04.00	04.00 - 05.00	05.00 - 06.00	06.00 - 07.00	07.00 - 08.00	08.00 - 09.00	09.00 - 10.00	10.00 - 11.00	11.00 - 12.00	12.00 - 13.00	13.00 - 14.00	14.00 - 15.00	15.00 - 16.00	16.00 - 17.00	17.00 - 18.00	18.00 - 19.00	19.00 - 20.00	20.00 - 21.00	21.00 - 22.00	22.00 - 23.00	23.00 - 00.00
	97	96	94	93	92	93	90	92	90	90	89	89	89	88	87	87	85	85	85	87	88	90	93	96
	83	83	82	82	83	83	82	83	82	81	80	80	80	80	80	80	79	79	79	80	80	81	82	83
	76	75	75	74	74	76	79	79	77	75	74	73	74	74	73	73	73	73	73	74	76	74	75	77
	83	81	78	76	80	77	76	76	72	73	72	71	73	74	72	72	71	70	70	73	74	77	80	83
	91	115	74	66	74	94	0	121	0	69	65	0	71	0	71	72	66	85	59	68	0	75	77	70
	75	78	78	77	76	78	85	84	84	84	81	82	83	82	81	81	80	78	77	79	80	80	81	79
	72	74	73	71	73	72	71	72	67	68	66	68	67	66	68	68	66	68	65	68	69	71	72	71
	102	101	103	101	103	106	109	104	99	99	97	97	97	97	93	93	93	89	89	91	96	98	104	105
	79	79	78	76	79	80	77	77	72	75	73	72	72	72	74	72	73	68	71	71	69	72	73	77
	81	83	81	82	83	82	80	82	80	78	77	77	77	78	79	79	74	73	75	76	76	74	80	84
	78	78	78	78	78	77	77	76	74	74	74	74	74	74	74	74	73	72	72	73	74	75	76	78
	77	78	78	77	77	77	76	75	73	73	73	73	73	73	72	72	72	70	70	71	72	73	75	76
	77	77	76	74	74	74	74	75	73	72	72	72	72	72	72	72	70	70	70	70	73	74	76	77
	73	75	74	74	74	72	72	73	73	70	69	69	71	70	70	70	70	68	68	68	69	70	70	72
	72	77	74	73	70	73	73	71	69	70	66	68	69	69	71	66	69	63	64	69	69	69	71	71
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	112	114	111	108	109	111	113	118	116	112	115	113	112	113	111	115	113	108	108	110	111	107	109	109
	84	75	79	88	83	89	84	98	86	86	86	86	85	84	88	83	84	80	80	83	84	79	85	88
	86	86	84	83	84	83	82	85	82	81	81	80	81	81	79	79	76	76	76	77	79	79	84	86

Таблиця А.7 – Склад транспортного потоку на автомобільних дорогах М-05 Київ – Одеса та М-06 Київ – Чоп за 2021 рік.

Графічне зображення	Тип
	Легковий автомобіль, мінівен
	Легковий автомобіль, мінівен з причепом
	Двовісний вантажний автомобіль
	Тривісний вантажний автомобіль
	Чотиривісний вантажний автомобіль
	Вантажний автомобіль, що має 5 або більше осей
	Автопоїзд із чотирма осями (двовісний вантажний автомобіль із двовісним причепом)
	Автопоїзд із п'ятьма осями (тривісний вантажний автомобіль із двовісним причепом)
	Автопоїзд із п'ятьма осями (двовісний вантажний автомобіль із тривісним причепом)
	Автопоїзд із шістьма осями (тривісний вантажний автомобіль із тривісним причепом)
	Автопоїзд із трьома осями (двовісний тягач із одновісним напівпричепом)
	Автопоїзд із чотирма осями (двовісний тягач із двовісним напівпричепом)
	Автопоїзд із п'ятьма осями (двовісний тягач із тривісним напівпричепом)
	Автопоїзд із п'ятьма осями (тривісний тягач із двовісним напівпричепом)
	Автопоїзд із шістьма осями (тривісний вантажний автомобіль із тривісним напівпричепом)
	Автопоїзд, що має більш ніж шість осей
	Сільськогосподарська техніка
	Автобус
	Некласифікований транспортний засіб

Облік руху виконувався для отримання об'єктивних даних про інтенсивність руху та склад транспортних потоків, які проходять автомобільними дорогами М-05 Київ – Одеса та М-06 Київ – Чоп.

ДОДАТОК Б

Довідки про впровадження результатів роботи



025015

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

29.04.2025 № 949/02 на № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи Корчевської Аліни Анатоліївни було впроваджено у навчальний процес при викладанні дисциплін «Управління дорожнім рухом» для студентів за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)» спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» освітньо-професійної програми «Розумний транспорт та логістика для міст», «Дорожні умови та безпека руху (Спецкурс)» для студентів 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
 та міжнародних зв'язків
 канд. тех. наук, професор


Віталій ХАРУТА

 В.о. декана факультету транспортних та
 інформаційних технологій НТУ
 доктор фіз.-мат. наук, професор

Віктор ДАНЧУК

ДОВІДКА

Результати досліджень, які відображені у дисертаційній роботі здобувача кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету Корчевської Аліни Анатоліївни, були використані під час виконання науково-дослідної роботи за темою: «Виконати аналіз та переглянути ДСТУ 4100:2014 «Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування» (Договір від 26.09.2019 № БДР-175/09-19).

За результатами цієї наукової роботи було розроблено і впроваджено ДСТУ 4100:2014 «Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування» для удосконалення нормативної дорожнього господарства щодо безпеки дорожнього руху.

Начальник центру безпеки руху
ДП «НІРІ»

Людмила НАГРЕБЕЛЬНА

*Людмила Нагребельної Л., доктора філософії,
начальника Центру безпеки руху ДП «НІРІ»,
засвідчую.*

Начальник відділу кадрів Катерина Родченко



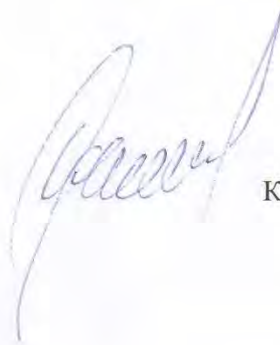
ДОВІДКА

Результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету Корчевської Аліни Анатоліївни отримали практичне застосування в Службі відновлення та розвитку інфраструктури Київської області під час розроблення тимчасових схем організування дорожнього руху (далі – ОДР), якими користувалися під час виконання дорожніх робіт на автомобільних дорогах загального користування державного значення у Київській області.

Під час розроблення схем ОДР було ураховано інтенсивність руху, склад транспортного потоку та швидкість руху транспорту.

Використання таких схем ОДР на автомобільних дорогах дозволяє завчасно попереджати водіїв про непередбачувану ситуацію до якої можна віднести ДТП, ремонтні роботи тощо, та допомагає розподілити транспортні потоки таким чином щоб не утворився затор. А це у свої чергу впливає на мінімізацію часу, який потрібен для проїзду відповідних ділянок автомобільних доріг.

Начальник відділу
ремонту та експлуатаційного
утримання автомобільних доріг,
штучних споруд та безпеки
автомобільних доріг
Служби відновлення та розвитку
інфраструктури у Київській області



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

№ 03/04/01

«04» березня 2025 року

ДОВІДКА

Наукові розробки та практичні рекомендації дисертаційних досліджень Корчевської Аліни Анатоліївни отримали практичне застосування в ТОВ «Гранбуд Лідер». У процесі розроблення схем організування дорожнього руху було використано метод Корчевської А.А. щодо встановлення дорожніх знаків змінної інформації. Зазначену схему ОДР було застосовано під час проведення ремонтних робіт на автомобільних дорогах загального користування державного значення у Кіровоградській області.

Директор,
канд. техн. наук, доцент




Віталій СТБОЖКА



ДОДАТОК В

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

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. Hulchak O, Vyhovska I, Nahrebelna L, Korchevska A. Ensuring Consistent Traffic Management Through Information Support on Road Approach Sections to Major Cities. *European Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2025. Vol. 5.

URL: <https://doi.org/10.31435/ejits.5.2025.3340>

2. Оксана Гульчак, Інна Виговська, Аліна Корчевська. Методика оперативного управління дорожнім рухом при виникненні критичних ситуацій за рахунок інформаційного забезпечення. Multidisciplinary international scientific magazine «Věda a perspektivy» is registered in the Czech Republic. 2025. №5 (48). С. 243 – 258.

URL: [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2025-5\(48\)](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2025-5(48))

3. Куницька О.М., Корчевська А.А. Конфлікти, що виникають у дорожньому русі, дорожньо-транспортні ситуації та дорожньо-транспортні пригоди. *World Science*. 2016. Vol.1. № 10 (14), С. 38-40.

URL: <https://rsglobal.pl/index.php/ws/issue/view/51/51>

Статті у фахових виданнях України:

4. Hulchak O, Popov S, Nahrebelna L, Korchevska A Distribution of Traffic Speeds on the Approaches to Major and Most Significant Cities. *Transport Technologies*. 2025. Vol.6(1), 48–60.

URL: <https://doi.org/10.23939/tt2025.01.048>

5. Поліщук В.П., Виговська І.А., Нагребельна Л.П. Корчевська А.А. Моделювання розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг. *Дороги і мости*. 2023 – Вип. 27 (2023). С. 253–266.

URL: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.253>

6. Янішевський С.В., Білоног О.Є., Корчевська А.А. Обмеження швидкості транспортних засобів в містах для підвищення безпеки вразливих учасників дорожнього руху. *Вісник НТУ*. 2023 Вип. 1 (55). С. 316-325.

URL: <http://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-335-347>

7. Корчевська А.А. До питання про вплив змін транспортної інфраструктури на характеристики транспортного потоку. *Вісник НТУ*. 2022. Вип. 3 (53) С.172-177.

URL: <http://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-3-53-172-177>

8. Дзюба О.П., Корчевська А.А., Шевченко А.Т. Аналіз впровадження інтелектуальних транспортних систем в європейських містах. *Вісник НТУ*. 2022. Вип. 1 (48). С. 193-200.

URL: <http://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-1-51-193-200>

9. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А. Покращення безпеки дорожнього руху за допомогою автоматизованого управління дорожнім рухом. *Вісник НТУ*. 2021. Вип. 1 (48). С. 233-241.

URL: <http://doi.org/10.33744/2308-6645-2021-1-48-233-241>

10. Поліщук В.П., Лановий О.Т., Єресов В.І., Куницька О.М., Корчевська А.А., Корчевський А.О. Удосконалення методів забезпечення безпеки учасників дорожнього руху. *Управління проєктами, системний аналіз і логістика*. 2015. Вип. 15. С. 129-132.

11. Поліщук В.П., Корчевська А.А. До питання про функціонування системи « перехрестя + зупиночний пункт – транспортний потік ». *Вісник НТУ*. 2012. Вип. 26 С. 259-262.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/26_2_2013/259-262.pdf

Опубліковані праці апробаційного характеру:

12. Nahrebelna, L., Kostrulyova, T., Korchevska, A., Shpin, D. Improving Traffic Safety with Using a Promising Extrapolation Method. *Proceedings of the 2nd International Conference «Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort»*. Kyiv, Ukraine. 2025. P. 183-193.

URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-87379-9> (Scopus)

13. Гульчак О.Д., Нагребельна Л.П., Кострульова Т.Є., Корчевська А.А. Як зменшити затори на підходах до міст та у містах. *Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Internet Conference*, April 3-4, 2025. FOP Marenichenko V.V., Dnipro, Ukraine. P. 63-66.

14. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А. Дорожній рух як об'єкт управління системою «Дорожні умови – транспортні потоки». *Тези Міжнародна науково науково-практична конференція «Інноваційні підходи у відновленні транспортної інфраструктури в особливих умовах воєнного стану: виклики та перспективи» (23-24 жовтня 2024 р.)* 2024. С. 529-532.
URL:

<https://drive.google.com/file/d/119CSuU4Cu0QEYWXSzdlkIaOXf4FnYlyU/view>

15. Корчевська А.А., Виговська І.А., Смаглюк Р.В. Моделювання та аналіз транспортного потоку на регульованому перехресті в програмному середовищі PTV Vissim. *79-та наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К., НТУ, 2023. С. 59.

URL: https://drive.google.com/file/d/1oCZ0c6h_jAHE-xpYJQjC5b-yZ_B5TFp_/view

16. 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, 2023. С. 185-190. ISBN: 978-966-632-318-0 (Online)

URL: <http://doi.org/10.33744/978-966-632-318-0-2022-3>

17. Корчевська А.А. Управління дорожнім рухом в містах на основі моніторингу за ділянками підходу автомобільних доріг до них. *LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К., НТУ, 2021. С. 472.

URL: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-77.pdf>

18. Корчевська А.А. Інформаційне забезпечення автоматизованих систем управління дорожнім рухом на автомобільних. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К., НТУ, 2020. 536 с.

URL: <http://vstup.ntu.edu.ua/konf-76.pdf>

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

19. Поліщук В.П., Виговська І.А., Корчевська 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>

20. Поліщук В.П., Корчевська А.А., Нагребельна Л.П. Визначення середніх і рекомендованих швидкостей руху на підходах до значних та найзначніших міст в залежності від умов при управлінні рухом. *Актуальні напрями розвитку технічного та виробничого потенціалу національної економіки: монографія*. Дніпро: Пороги, 2021. 536 с. ISBN 978-617-518-399-1 (183-209 с.)

21. Polishchuk V., Yanishevskyi S., Bilonoh O., Nahrebelna L., Trushevsky V., Korchevska A., Semenchenko O., Vyhovska I. Expert assessment of engineering and planning solutions to improve the safety of vulnerable road users in Ukraine. *Expert assessments in decision making: risks and safety: collective monograph..* Tallinn: Scientific Route OÜ, 2023. P. 154-206.

URL: <https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-2-1.ch6> (Scopus)

Свідоцтва та патенти:

22. Літературний письмовий твір наукового характеру «Визначення середніх і рекомендованих швидкостей руху на підходах до значних та найзначніших міст в залежності від умов при управлінні рухом». Автори: Поліщук В.П., Корчевська А.А., Нагребельна Л.П. Свідоцтво про реєстрацію авторського права №111955. Дата реєстрації 21 лютого 2022 р.