

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

НАГРЕБЕЛЬНА ЛЮДМИЛА ПАВЛІВНА

УДК 672.15

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ НА
МАГІСТРАЛЬНІЙ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТ**

Спеціальність: 275 «Транспортні технології (за видами)»

Галузь знань: «Транспорт»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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



Л.П. Нагребельна

Науковий керівник: Поліщук Володимир Петрович, д.т.н., професор

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Нагребельна Л.П. Удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 транспортні технології (за видами) Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована мета та завдання дослідження, викладена наукова новизна та практична цінність отриманих результатів. У вступі також розкривається особистий внесок автора, питання апробації результатів, публікації за темою дисертаційної роботи, загальний обсяг та структура роботи.

У **першому розділі** проаналізовано стан проблеми безпеки дорожнього руху в Україні та проведено аналіз попередніх праць, що присвячені вивченню питання щодо забезпечення безпеки дорожнього руху, управління дорожнім рухом та попередження виникнення заторів.

Формуванню передумов для здійснення даного дослідження сприяли наукові праці Сильянова В.В., Ланового О.Т., Осташевського С.А., Хабутдінова Р.А., Гукова М.І., Осипова В.О., Могили І.А., Формальчика Є.Ю., Прокудіна Г.С., Лобанова Е.М., Дрю Д., Хейта Ф., Раппопорта Х., Шнабеля В., Лозе Д., Соренсена М., Руне Е., Красніковим А.Н., Доганзо К., Бабкова В.Ф., Бусела О.В., Васильєва О.П., Капського Д.В., Клинковштейна Г.І., Кременець Ю.О., Позднякова М.М., Поліщука В.П., Прусенка Є.Д., Пугачева І.М., Сильянова В.В., Столярова В.В., Ушакова В.В., Хом'як Я.В., Цупікова С.Г., Красильнікова О.В., Пальчика А.М., Єрєсова В.І., Дзюби О.П., Ланового О.Т., Куницької О.М., Гульчак О.Д., Кернера Б., Гащенко П.М. та багатьох інших.

У **другому розділі** проаналізовано моделі транспортного потоку, доведено, що найважливішими умовами ефективного використання моделі є перевірка її на адекватність та достовірність вихідних даних.

Розглядалися три методи моделювання. Перший метод розглядався як «ударна хвиля», у випадках коли транспортні засоби в потоці вимушені неодноразово рушати з місця і зупинятися. Ударні хвилі поширюються проти руху і утворюються на ділянках зі зниженою пропускною спроможністю – у «вузьких» місцях. Метод «ударної хвилі» подібний до місць із світлофорним регулюванням, тому в роботі цей метод не розглядається як і світлофорне регулювання.

Другий метод на основі теорії масового обслуговування, де рух автомобільного транспорту являє собою випадковий процес, якому притаманні різні імовірнісні характеристики. Потік автомобільного транспорту є потоком вимог, а поперечний переріз автомобільної дороги є апаратом обслуговування. При цьому всю автомобільну дорогу чи окрему ділянку можна показати у вигляді набору нескінченно малих відрізків або поперечних перерізів дороги. У результаті такого припущення випливає, що вся дорога є апаратом обслуговування для транспортного потоку який рухається нею.

Третій метод на основі основної діаграми транспортного потоку та основних залежностей транспортного потоку. За допомогою цих залежностей можна показати фізичний процес утворення затору та його стан при зміні однієї із величин, що входять у ці залежності.

У **третьому розділі** автомобільна дорога розглядається як апарат обслуговування за допомогою моделі масового обслуговування. Визначено основні показники системи масового обслуговування для пропуску транспортного потоку по одній смузі руху. Виявлено їхній вплив на утворення заторів. Доведено, що для удосконалення магістральної вулично-дорожньої мережі міст, за допомогою системи масового обслуговування, слід визначити всі ділянки доріг з великою інтенсивністю та розробити алгоритм входу на магістраль та виходу з магістралі.

У **четвертому розділі** у рамках вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач, було сформульовано принципи організації дорожнього руху в

системі «ПЕРЕГІН», що полягають у виділенні і самостійному дослідженні окремих елементів системи: «вхід потоку на перегін», «рух потоку по перегону» і «вихід потоку з перегону». Розглянуті можливі схеми взаємодії транспортних потоків змішаного складу на всіх елементах системи з урахуванням зменшення смуг руху до однієї.

Зроблено висновок, що забезпечуватися безпека дорожнього руху може методами організації дорожнього руху та методами управління дорожнього руху. Для цього використовуємо науково обґрунтовані методи організації дорожнього руху на вході транспортних потоків на магістральні вулиці.

За допомогою технічних засобів організації дорожнього руху, у даному випадку, за допомогою дорожньої розмітки розділити та врегулювати транспортні потоки так, щоб не утворився затор.

Розроблено метод забезпечення управління транспортними потоками в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі, що відрізняється від існуючих використанням технічних засобів організації дорожнього руху, що дає можливість підвищити пропускну здатність даних елементів.

Розроблено методику «Удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі з використанням методів теорії масового обслуговування».

Ключові слова: вулично-дорожня мережа, дорожній рух, затор, магістраль, метод масового обслуговування, місто, моделювання, перегін, транспорт, транспортний потік.

Список публікацій здобувача.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії

1. 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 / за ред. В.О. Пінчук, Г.С. Прокудін. Дніпро: Пороги, 2021. 536 с. С. 183-209. ISBN 978-617-518-399-1

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав.

2. Nahrebelna L., Polishchuk V. Formation of road traffic management principles in the system «Perehin». *World Science*. 2021. Iss. 8(69). P. 4–11.

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30082021/7652

3. Nahrebelna L., Polishchuk V. Use of queuing theory for improvement of traffic management on the main street and road network of cities. *International Academy Journal «Web of Scholar»*. 2020. Iss. 4(46). P. 8–12.

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30042020/7039

Публікації в наукових фахових виданнях України.

4. Нагребельна Л.П., Кононенко А.О. Створення єдиної системи маршрутного орієнтування в Україні з урахуванням найкращого світового досвіду для підвищення безпеки дорожнього руху. *Автошляховик України*. 2021. № 2. С. 36–45.

DOI: 10.33868/0365-8392-2021-2-266-36-45

5. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А. Покращення безпеки дорожнього руху за допомогою автоматизованого управління дорожнім рухом. *Вісник НТУ*. 2021. Випуск 1 (49). DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-233-241.

6. Беленчук О.В., Попович Н.І., Нагребельна Л.П. Основні чинники ризику дорожньо-транспортного травматизму серед пішоходів. *Автошляховик України*. 2020. № 3. С. 43-47. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-263-43-47

7. Каськів В.І., Вознюк А.Б., Нагребельна Л.П. До питання аудиту безпеки автомобільних доріг України. *Автошляховик України*. 2020. № 1 (261). С. 32-39.

DOI: 10.33868/0365-8392-2020-1-261-32-39

8. Нагребельна Л.П. Визначення місць утворення заторів за допомогою гідродинамічної моделі та залежностей транспортного потоку. *Дороги і мости*. С. 214–224. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.214>

9. Нагребельна Л.П., Беленчук О.В., Петрашенко О.П. Ефективний підхід виявлення ділянок автомобільних доріг для першочергового планування заходів з безпеки дорожнього руху. *Автошляховик України*. 2019. № 4 (260). С. 52–57.

10. Нагребельна Л.П. Вибір моделі для дослідження транспортного потоку на вулично-дорожній мережі міст України. *Автошляховик України*. 2019. № 3 (259), С. 30 - 33.

11. Нагребельна Л.П. Лінійний аналіз – найкращий метод виявлення небезпечних ділянок доріг. *Автошляховик України*. 2019. № 2 (258). С. 50–56.

12. Вознюк А.Б., Нагребельна Л.П., Міненко Є.В. Недоліки в дорожніх умовах та їх вплив на виникнення ДТП. *Дороги і мости*. 2019. Випуск 19-20. С. 163–172.

13. Нагребельна Л.П., Поліщук В.П. Проблеми сучасного міста. *Вісник НТУ*. 2019. № (1) 43. С. 136-142.

14. Нагребельна Л.П., Беленчук О.В., Кононенко А.О. Підняті пішохідні переходи, як засіб забезпечення безпеки пішоходів. *Автошляховик України*. 2018. №2. С. 47 – 50.

15. Вирожемський В.К., Нагребельна Л.П. Визначення оптимального варіанту ширини смуги руху на автомобільних дорогах. *Автошляховик України*. 2018. №2, С. 43 – 46.

16. Бондар Т.В., Нагребельна Л.П., Кононенко А.О., Беленчук О.В., Ольхова М.Ю., Петрашенко О.П. Рейтинг мережі доріг державного значення за даними аварійності 2017 року *Дороги і мости*. 2017. Випуск 17. С. 89 – 96.

17. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П. Аналіз факторів, що спричиняють ДТП на автомобільних дорогах загального користування та пропозиції по їх ліквідації. *Дороги і мости*. 2016. Випуск 16. С. 8 – 85.

Публікації апробаційного характеру.

18. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П. До питання про затори на вулично-дорожній мережі міст. *Наукова конференція (Збірник НТУ) Науково-технічний збірник “Вісник Національного транспортного університету”*. С. 291 – 292.

19. Негребельна Л.П., Роль дорожніх умов у виникненні ДТП. *16-й Міжнародний форум з будівництва, експлуатації та проектування автомобільних доріг. «Автодорекспо».*

20. Нагребельна Л.П., Роль дорожніх умов у виникненні ДТП. *Укравтодор. Науково-практичний семінар «Напрямки підвищення безпеки руху на автомобільних дорогах. Особливості зимового утримання автомобільних доріг».*

21. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П., Возникновения и последствия пробок на дорогах» *Міжнародна ювілейна науково-технічна конференція «Автомобільні дороги: безпека та надійність». Збірник доповідей, частина 1, 2018. С. 142-149.*

22. Вирожемський В.К., Нагребельна Л.П., Влияние ширины полосы движения на безопасность транспортного потока. *Міжнародна ювілейна науково-технічна конференція «Автомобільні дороги: безпека та надійність». Збірник доповідей, частина 1, 2018. С. 42 – 47.*

23. Нагребельна Л.П., Кононенко А.О. Анализ ДТП в Украине и основные причины их возникновения» *Міжнародна ювілейна науково-технічна конференція «Автомобільні дороги: безпека та надійність. Збірник доповідей, частина 1, 2018. С. 106-115.*

24. Кононенко А.О., Нагребельна Л.П. Місця концентрації ДТП на дорогах України. *Міжнародна науково-технічна конференція «Гідротехнічне і транспортне будівництво». 2019.*

25. Нагребельна Л.П. Умови для ефективного функціонування вулично-дорожньої мережі міст. *Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво». Одеса. 2019. С. 70-72.*

26. Нагребельна Л.П. Фактори, що впливають на безпеку дорожнього руху. *Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво». Одеса. 2019. С. 73-76.*

27. Вирожемський В.К., Нагребельна Л.П., Міненко Є.В., Бідненко Н.А. Новий метод прогнозування виникнення дорожньо-транспортних пригод в Україні. *CETRA*

2020 *International Conference on Road and Rail Infrastructure*.
<https://master.grad.hr/cetra/ocs/index.php/cetra6/cetra2020/paper/view/1067>.

28. Нагребельна Л.П. Особливості імітаційного моделювання вулично-дорожньої мережі міст» *Всеукраїнська науково-практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» присвячена 120-річниці Національного університету «Запорізька політехніка»* м. Запоріжжя, 14-15 квітня.

29. Нагребельна Л.П., Поліщук В.П. До питання складових транспортного потоку на магістральній вулично-дорожній мережі міст. *II Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція у співпраці з фондом INTERMMARIUM «Іноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем»*, м. Рівне, 15 квітня.

30. Нагребельна Людмила Павлівна Закономірності утворення заторів. *IX Международная научно-практическая конференция. «TOPICAL ISSUES OF THE DEVELOPMENT OF MODERN SCIENCE»*. 6–8 мая 2020 года Софія, Болгарія.

31. Нагребельна Людмила Павлівна Как решить проблему с возникновением заторов на улично-дорожной сети городов Украины. *IX Международная научно-практическая конференция «DYNAMICS OF THE DEVELOPMENT OF WORLD SCIENCE»* 13–15 мая 2020 года. Ванкувер, Канада.

32. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П. Особливості імітаційного моделювання транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міст. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2020. С. 272.

ABSTRACT

Nahrebelna L.P. Improvement of traffic management on the main street and road network of cities - Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 275 transport technologies (by types) National Transport University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

In the **introduction** the relevance of the thesis topic is substantiated, the purpose and tasks of the research are formulated, the scientific novelty and practical value of the obtained results are stated. The introduction also reveals the personal contribution of the author, the issue of probating the results, publications on the topic of the thesis, the total scope and structure of the work.

In the **first section** the state of the road safety issue in Ukraine and previous works devoted to the study of ensuring the road safety, traffic management and prevention of congestion were analyzed.

The scientific works of Sylianov V.V., Lanovyi O.T., Ostashevskiy S.A., Khabutdinov R.A., Gukov M.I., Osipov V.O., Mohyla I.A., Fornalchyk Ye.Yu., Prokudin G.S., Lobanov Ye.M., Drew D., Heit F., Rappoport Kh., Shnabel V., Loze D., Sorensen M., Rune E., Krasnikov A. N., Doganzo K., Babkov V.F., Busel O.V., Vasyliiev O.P., Kapaskiy D.V., Klynkovshtein G.I., Kremenets Yu.O., Pozdniakov M.M., Polishchuk V.P., Prusenko Ye.D., Puhachev I.M., Silianov V.V., Stoliarov V.V., Ushakov V.V., Khomiak Ya.V., Tsupikov S.G., Krasyl'nikov O.V., Palchik A.M., Yeresov V.I., Dziuba O.P., Lanovyi O.T., Kuniyska O.M., Hulchak O.D., Kerner B., Hashchenko P.M. and many others contributed to the formation of the background for the implementation of this study.

In the **second section** the models of traffic flow was analyzed and it was proved that the most important conditions for the effective use of the model is to check its adequacy and reliability of the original data.

Three modeling methods were considered. The first method was considered as a "shock wave", in cases where vehicles in the flow are forced to repeatedly move and stop. Shock waves are distributed against the movement and are formed in areas with reduced traffic capacity – in "narrow" places. The method of "shock wave" is similar to places with traffic light regulation, therefore in work this method and traffic light regulation are not considered.

The second method is based on the queuing theory, where the movement of road transport is a random process, which has different probabilistic characteristics. The

flow of road transport is the flow of requirements, and the cross section of the road is the service apparatus. In this case, the entire road or a separate section can be shown as a set of infinitesimal segments or cross sections of the road. As a result of this assumption, it follows that the entire road is a service apparatus for the traffic flow moving through it.

The third method is based on the main diagram of the traffic flow and the main dependencies of the traffic flow. By these dependences, it can be shown the physical process of congestion formation and its state when changing one of the values included in these dependencies.

In the **third section**, the highway is considered as a service apparatus using a queuing model. The main indicators of the queuing system for passing the traffic flow in one lane are determined. Their impact on the formation of congestion was determined. It is proved that in order to improve the main street and road network of cities by the queuing system, it is necessary to determine all road sections with high traffic volume and develop an algorithm for both entering and leaving the highway.

In the **fourth section**, as part of solving the tasks of the thesis, the principles of traffic organization in the system "PEREGIN" were formulated, which consist in the selection and independent study of individual elements of the system: "flow input to the run", "flow movement on the run" and "flow output from the run". Possible schemes of interaction of transport flows of the mixed structure on all elements of system taking into account reduction of lanes to one are considered.

It is concluded that traffic safety can be ensured by traffic organization methods and traffic management methods. To do this, it is used scientifically sound methods of traffic organization at the entrance of traffic flows on the main streets.

By technical means of traffic organization, in this case, by road markings to divide and regulate traffic flows so that no congestion is formed.

A method for ensuring the traffic flow management at the entrances to and exits of the main highway, which differs from the existing ones by using technical means of traffic organization, which allows increasing the traffic capacity of these elements was

developed.

The method "Improvement of traffic management on the main street and road network of cities in the areas of entrance to and exit of the main highway using the methods of the queuing theory" is developed.

Keywords: street and road network, traffic, congestion, main highway, queuing method, city, modeling, run, vehicles, traffic flow.

List of applicant's publications.

Articles in foreign publications or in Ukrainian publications that are included in international scientometric databases:

Monographs.

1. Polishchuk V.P., Korchevska A.A., Nahrebelna L.P. Determination of average and recommended speeds of movement on approaches to significant and most significant cities depending on conditions in traffic management / Actual directions of development of technical and production potential of the national economy: monograph / edition by V.O. Pinchuk, H.S. Prokudin. Dnipro: Porohy, 2021. 536 p. Pp. 183-209. ISBN 978-617-518-399-1.

Publications in scientific periodicals of foreign countries.

2. Nahrebelna L., Polishchuk V. Formation of road traffic management principles in the system «Perehin». *World Science*. 2021. Iss. 8(69). P. 4–11.
DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30082021/7652.

3. Nahrebelna L., Polishchuk V. Use of queuing theory for improvement of traffic management on the main street and road network of cities. *International Academy Journal «Web of Scholar»*. 2020. Iss. 4(46). P. 8–12.
DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30042020/7039.

Publications in scientific professional publications of Ukraine.

4. Nahrebelna L.P., Kononenko A.O. Creation of a unified route guidance system in Ukraine taking into account the best world experience to improve road safety. *Avtoshliakhovyk of Ukraine*. 2021. № 2. pp. 36–45.
DOI: 10.33868 / 0365-8392-2021-2-266-36-45

5. Nahrebelna L.P., Korchevska A.A. Improve road safety with automated traffic control. *Bulletin of NTU*. 2021. Issue 1 (49).

DOI: 10.33744 / 2308-6645-2021-1-48-233-241.

6. Belenchuk O.V., Popovych N.I., Nahrebelna L.P. The main risk factors for road transport injuries among pedestrians. *Avtoshliakhovyk of Ukraine*. 2020. № 3. Pp. 43-47. DOI: 10.33868 / 0365-8392-2020-3-263-43-47.

7. Kaskiv V.I., Vozniuk A.B., Nahrebelna L.P. On the issue of road safety audit of Ukraine. *Avtoshliakhovyk of Ukraine*. 2020. № 1 (261). Pp. 32-39. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-1-261-32-39.

8. Nahrebelna L.P. Determination of places of congestion formation by hydrodynamic model and dependences of traffic flow. *Dorogi i Mosti (Roads and bridges)*. Issue 22 (2020). Pp. 214-224.

DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.214>.

9. Nahrebelna L.P., Belenchuk O.V., Petrashenko O.P. An effective approach to identifying road sections for priority planning of road safety measures. *Avtoshliakhovyk of Ukraine*. 2019. № 4 (260). Pp. 52-57.

10. Nahrebelna L.P. Selection of a model for the study of traffic flow on the street and road network of Ukrainian cities. *Avtoshliakhovyk of Ukraine*. 2019. № 3 (259), pp. 30-33.

11. Nahrebelna L.P. Linear analysis is the best method for detecting the dangerous road sections. *Avtoshliakhovyk of Ukraine*. 2019. № 2 (258). Pp. 50-56.

12. Vozniuk A.B., Nahrebelna L.P., Minenko Ye.V. Disadvantages in road conditions and their impact on road accidents. *Dorogi i Mosti (Roads and Bridges)*. 2019. Issue 19-20. Pp. 163-172.

13. Nahrebelna L.P., Polishchuk V.P. Problems of the modern city. *Bulletin of NTU*. 2019. № (1) 43. S. 136-142.

14. Nahrebelna L.P., Belenchuk O.V., Kononenko A.O. Raised pedestrian crossings as a means of ensuring pedestrian safety. *Avtoshliakhovyk of Ukraine*. 2018. №2. Pp. 47-50.

15. Vyrozhemskyi V.K., Nahrebelna L.P. Determining the optimal lane width on highways. *Avtoshliakhovyk of Ukraine*. 2018. №2, pp. 43– 46.

16. Bondar T.V., Nahrebelna L.P., Kononenko A.O., Belenchuk O.V., Olkhova M.Yu., Petrashenko O.P. Rating of the network of roads of state importance according to the accident level of 2017. *Dorogi i Mosti (Roads and Bridges)*. 2017. Issue 17. Pp. 89-96.

17. Polishchuk V.P., Nahrebelna L.P. Analysis of the factors that cause road accidents on public roads and proposals for their elimination. *Dorogi i Mosti (Roads and Bridges)*. 2016. Issue 16. pp. 82– 85.

Probationary publications.

18. Polishchuk V.P., Nahrebelna L.P. On the issue of congestion on the street and road network of cities. *Scientific conference (Collection of NTU) Scientific and technical collection "Bulletin of the National Transport University"*. Pp. 291-292.

19. Nahrebelna L.P., The role of road conditions in the road accident. *16th International Forum on Road Construction, Operation and Design. Avtodorexpo*.

20. Nahrebelna L.P., The role of road conditions in the road accident. *Ukravtodor. Scientific and practical seminar "Directions for improving road safety. Features of winter maintenance of highways "*.

21. Polishchuk VP, Nahrebelna LP, Occurrence and consequences of traffic jams «*International Jubilee Scientific and Technical Conference*» *Roads: Safety and Reliability* Collection of reports, part 1, 2018. Pp. 142-149.

22. Virozhemsky VK, Nahrebelna LP, Influence of lane width on traffic safety. *International Jubilee Scientific and Technical Conference «Roads: Safety and Reliability»* Collection of reports, part 1, 2018. Pp. 42 – 47.

23. Nahrebelna LP, Kononenko AO Accident analysis in Ukraine and the main reasons for their occurrence «*International Jubilee Scientific and Technical Conference*» *Roads: Safety and Reliability*. Collection of reports, part 1, 2018 P. 106-115.

24. Kononenko A.O., Nahrebelna L.P. Black spots on the roads of Ukraine. *International scientific and technical conference "Hydraulic and transport construction"*. 2019.

25. Nahrebelna L.P. Conditions for the effective functioning of the street and road network of cities. *Collection of abstracts of the international scientific and technical conference "Hydraulic and transport construction"*. Odesa. 2019. p. 70-72.

26. Nahrebelna L.P. Factors impacted on road safety. *Collection of abstracts of the international scientific and technical conference "Hydraulic and transport construction"*. Odesa. 2019. p. 73-76.

27. Vyrozhemskyi V.K., Nahrebelna L.P., Minenko Ye.V., Bidnenko N.A. New method of predicting the occurrence of road accidents in Ukraine. *CETRA 2020 International Conference in Road and Rail Infrastructure*. <https://master.grad.hr/cetra/ocs/index.php/cetra6/cetra2020/paper/view/1067>.

28. Nahrebelna L.P. Features of simulation modeling of street and road network of cities. *All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Transport Technologies and Road Safety" dedicated to the 120th Anniversary of the National University "Zaporizhzhia Polytechnic"*, Zaporizhzhia, April 14-15.

29. Nahrebelna L.P., Polishchuk V.P. On the issue of components of traffic flow on the main street and road network of cities. *II International Scientific and Technical Internet Conference in cooperation with the INTERMMARIUM Foundation "Innovative technologies for the development of mechanical engineering and efficient operation of transport systems"*, Rivne, April 15.

30. Nahrebelna Liudmyla Pavlivna. Regularities of congestion formation. *IX International Scientific and Practical Conference. "TOPICAL ISSUES OF THE DEVELOPMENT OF MODERN SCIENCE"*. May 6-8, 2020, Sofia, Bulgaria.

31. Nahrebelna Liudmyla Pavlivna. How to solve the problem of congestion on the street and road network of cities of Ukraine. *IX International Scientific and Practical Conference "DYNAMICS OF THE DEVELOPMENT OF WORLD SCIENCE"* May 13-15, 2020. Vancouver, Canada.

32. Polishchuk V.P., Nahrebelna L.P. Features of simulation modeling of traffic flows on the street and road network of cities. *LXXVI scientific conference of faculty, graduate students, students and staff of separate departments of the university*. K.: NTU, 2020. p. 272.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	18
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТ.....	25
1.1 Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду управління рухом.....	25
1.2 Аналіз існуючих методів оцінки умов руху.....	34
1.3 Вплив складу транспортного потоку на його основні характеристики.....	39
1.4 Розподіл транспортного потоку відповідно до ширини проїзної частини.....	49
1.5 Висновки до розділу	56
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У СИСТЕМІ «ПЕРЕГІН».....	58
2.1 Моделі транспортного потоку.....	58
2.2 Формування умов руху транспортних потоків.....	70
2.3 Моделювання руху транспортних потоків.....	78
2.4 Закономірності утворення заторів.....	85
2.5 Висновки до розділу	88
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В МІСЦЯХ ВХОДУ НА МАГІСТРАЛЬ ТА ВИХОДУ З МАГІСТРАЛІ.....	90
3.1 Визначення основних залежностей транспортного потоку при різній кількості смуг руху.....	90
3.2 Використання теорії масового обслуговування для управління транспортними потоками.....	97
3.3 Формування принципів руху транспортними потоками в системі «Перегін».....	101
3.4 Дослідження руху транспортних потоків на елементі «вхід потоку на перегін».....	106
3.5 Дослідження руху транспортних потоків на елементі «вихід потоку з перегону».....	119
3.6 Висновки до розділу	126

РОЗДІЛ 4	РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ В МІСЦЯХ ВХОДУ НА МАГІСТРАЛЬ ТА ВИХОДУ З МАГІСТРАЛІ.....	128
4.1	Часові інтервали – основна характеристика умов руху.....	128
4.2	Визначення часових інтервалів при різному складі транспортного потоку.....	137
4.3	Статистичне дослідження залежності характеристик розподілу часових інтервалів від складу транспортного потоку.....	142
4.4	Використання характеристик розподілу часових інтервалів між автомобілями у транспортному потоці	146
4.5	Методика управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі з використанням теорії масового обслуговування.....	154
4.6	Висновки до розділу.....	164
	ВИСНОВКИ.....	165
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	167
	ДОДАТОК А.....	181

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГБН	Галузеві будівельні норми
ДБН	Державні будівельні норми
ДСТУ	Державний стандарт України
ДТП	Дорожньо-транспортна пригода
ІТС	(англ. <i>Intelligent transportation system</i>) Інтелектуальна транспортна система
АСУ	Автоматична система управління
ОДР	Організація дорожнього руху
СОУ	Стандарт організації України
ВДМ	Вулично-дорожня мережа
ДУ	Дорожні умови
ТП	Транспортні потоки
ПШС	Перехідно-швидкісна смуга

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність цього питання полягає у забезпеченні безпеки дорожнього руху на магістральній вулично-дорожній мережі міста.

Безпека дорожнього руху-це серйозна комплексна проблема в Україні.

Безпека дорожнього руху залежить від дорожніх умов, погодних умов і транспортного потоку. Адже щорічне збільшення автотранспортних засобів призводить до виникнення затримок руху.

Безумовно, вирішення цих проблем потребує будівництва автомобільних магістралей, розширення існуючої мережі магістральних вулиць, відокремлення транспортних потоків від пішохідних, будівництво велодоріжок. Але вирішення транспортної проблеми шляхом вище перерахованих заходів потребує великих матеріальних та фінансових затрат.

Більш економічним у цьому плані буде удосконалення системи організації та управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міста.

Під організацією дорожнього руху розуміють комплекс інженерно-технічних і організаційних заходів, спрямоване на максимальне використання транспортним потоком можливостей, які характеризуються геометричними параметрами дороги та її станом. Існують різні методи для вирішення проблеми організації дорожнього руху. Основними з них є: покращення орієнтування водіїв під час руху; обмеження руху; регулювання рухом; управління рухом.

Реалізація методів організації дорожнього руху здійснюється за допомогою технічних засобів організації руху. До основних із них відносяться: розмітка, направляючі пристрої, дорожні знаки і покажчики, елементи інженерного обладнання доріг, світлофори та інше.

Дорожній рух має багато параметрів і багато факторів що впливають на нього. До параметрів відносяться: інтенсивність, щільність, швидкість, часовий інтервал, ширина смуги проїзної частини. До факторів відносяться: погодні умови, а саме: дощ, вітер, температура, вологість повітря, туман, ожеледиця,

сніг. Всі ці параметри і фактори ускладнюють процес управління дорожнім рухом.

Дорожньо-транспортні умови на основі комплексного підходу залежно від стану автомобільної дороги або її окремих елементів.

Трапляються нерівності покриття, що утворилися під час влаштування дорожнього одягу, які в процесі експлуатації збільшуються як під впливом поштовхів коліс автомобілів, так і внаслідок нерівномірного зволоження земляного полотна й основи. Фактичний стан покриття з погляду забезпечення їх рівності у багатьох випадках є незадовільним, оскільки нерівності перевищують допустимі норми.

Транспортно-експлуатаційний стан дороги є основним чинником ефективної роботи як автомобільної дороги, так і транспортних засобів.

Крім дорожніх умов на продуктивність роботи автомобільного транспорту впливають і організаційні заходи щодо поліпшення дорожнього руху.

Аналізуючи можливі методи організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міст, значну увагу треба приділити вибору ефективного метода управління транспортними потоками.

Даним питанням займалося багато науковців та приділялося багато часу для удосконалення умов руху як в Україні так і за її межами. До цих науковців належать: Поліщук В.П., Єресов В.І., Лановий О.Т., Куницька О.М., Дзюба О.П., Капський Д.В., Кернер Б., Доганзо К., Дрю Д., Хейт Ф., Гащенко П.М.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно з планами науково-дослідних робіт НТУ в рамках наукової теми кафедри «Підвищення ефективності роботи підприємств автомобільного транспорту шляхом удосконалення виробничих процесів, систем технічного обслуговування та покращення експлуатаційних характеристик дорожніх транспортних засобів» (№ держ. реєстрації 0114U000120).

Мета та завдання досліджень. Мета роботи – удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст в місцях входу

на магістраль і виходу з магістралі з використанням теорії масового обслуговування.

Для виконання мети дисертаційної роботи необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих методів оцінки умов руху на вході на магістраль та виході з магістралі.
2. Розробити математичні моделі руху транспортних потоків на елементах системи «Перегін» для забезпечення безпеки дорожнього руху і мінімізації витрат часу для виконання маневрів.
3. Розробити метод управління транспортними потоками в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі з використанням теорії масового обслуговування та технічних засобів організації дорожнього руху.
4. Розробити методику управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі з використанням теорії масового обслуговування.

Об’єкт досліджень – процес взаємодії транспортних потоків на вході на магістраль та виході з магістралі.

Предмет досліджень – закономірності руху транспортного потоку на магістральній вулично-дорожній мережі міст при вході на магістраль та виході з магістралі.

Методи дослідження. Для вивчення джерелознавчої бази та розробки теоретичних основ дослідження використовувались аналіз, синтез, порівняння, класифікація та методи математики, статистики, системного аналізу, теорії імовірностей, теорії масового обслуговування та дослідження операцій.

Наукова новизна одержаних результатів.

Розроблено математичні моделі руху транспортних потоків на елементах системи «Перегін» для забезпечення безпеки дорожнього руху і мінімізації витрат часу для виконання маневрів. Одержано закономірності руху транспортного потоку на перегоні магістралі на основі розробки алгоритмів його

гомогенізації за складом.

Розроблено метод управління транспортними потоками в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі, що відрізняється від існуючих використанням технічних засобів організації дорожнього руху, а саме дорожньої розмітки, та теорії масового обслуговування. Це дає можливість підвищити пропускну здатність на магістральній вулично-дорожній мережі міст в цих місцях; зменшити кількість конфліктних точок і ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Набув подальшого розвитку метод визначення пропускну здатності смуги руху магістральної вулиці з використанням часових інтервалів в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблено методику управління рухом на вході на магістраль та на виході з магістралі в умовах впливу на характеристики транспортного потоку різних транспортних засобів (вантажних, великогабаритних та великовантажних), яка дозволила зменшити утворення конфліктних точок, як наслідок, зменшити ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод.

Результати дисертаційного дослідження знайшли своє відображення при розробленні Зміни 1 до ГБН В.2.3-37641918-555:2016 «Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування»; ДСТУ 8752:2017 «Безпека дорожнього руху. Проект організації дорожнього руху. Правила розроблення, побудови, оформлення, вимоги до змісту»; ДСТУ 8751:2017 «Безпека дорожнього руху. Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила використання. Загальні технічні вимоги»; ДСТУ 8894:2019 «Безпека дорожнього руху. Лінійний аналіз аварійності та оцінювання умов безпеки руху на автомобільних дорогах»; ДСТУ 2567:2021 «Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови».

Також результати дослідження впроваджені під час розроблення тимчасових схем організації дорожнього руху на вулицях міста Києва

Комунальною корпорацією «Київавтодор» та на дорогах загального користування в Київській і Вінницькій областях.

Матеріали досліджень були впроваджені у навчальний процес в Національному транспортному університеті, а саме при викладанні дисципліни «Технічні засоби управління дорожнім рухом» для студентів спеціальності 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті).

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно. У спільних публікація здобувачем: [1] проведено аналіз ділянок підходу до значних і найзначніших міст та аналіз складу транспортного потоку, визначено фактори які впливають на режим руху транспортного потоку; [2] розроблено метод управління транспортними потоками в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі системи «Перегін», з використанням технічних засобів організації дорожнього руху, а саме дорожньої розмітки, та теорії масового обслуговування, Одержано закономірності руху транспортного потоку на перегоні магістралі на основі розробки алгоритмів його гомогенізації за складом.; [3] розглянуто магістральну вулицю як апарат обслуговування, визначено частку автомобілів які пройдуть поперечний переріз (апарат обслуговування), та частку автомобілів, які отримають відмову; [4] проведено аналіз впливу технічних засобів організації дорожнього руху, а саме дорожніх знаків на покращення безпеки дорожнього руху, визначено місця встановлення дорожніх знаків, які впливатимуть на покращення орієнтації водіїв; [5] проведено аналіз впливу автоматизованого управління дорожнім рухом на безпеку дорожнього руху; » [7, 9, 12, 16,18] розроблено підходи до визначення конфліктних точок та розроблено першочергові заходи щодо їх ліквідації; [18] розроблено математичні моделі руху транспортних потоків для забезпечення безпеки дорожнього руху і мінімізації витрат часу для виконання маневрів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на Наукових конференціях

професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (Національний транспортний університет. Київ 2019, 2020 рр.);

Міжнародній ювілейній науково-технічній конференції «Автомобільні дороги: безпека та надійність» Республіка Білорусь;

16-му Міжнародному форумі з будівництва, експлуатації та проектування автомобільних доріг. «Автодорекспо»;

Міжнародній науково-технічній конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (м. Одеса);

II Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції у співпраці з фондом INTERMMARIUM «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем», (м. Рівне);

IX Международной научно-практической конференция. «TOPICAL ISSUES OF THE DEVELOPMENT OF MODERN SCIENCE». (Софія, Болгарія);

IX Международной научно-практической конференция «DYNAMICS OF THE DEVELOPMENT OF WORLD SCIENCE» (Ванкувер, Канада);

Всеукраїнській науково-практичній конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» присвячена 120-річниці Національного університету «Запорізька політехніка» (м. Запоріжжя).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 32 наукових працях, з яких 14 опубліковано у фахових виданнях України, 2 статті в наукових періодичних виданнях іноземних держав, а також 15 тез у матеріалах конференцій, 1 монографія.

Структура й обсяг роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 150 найменувань і додатку. Обсяг основного тексту дисертації становить 145 сторінок. Текст дисертації містить 11 таблиць і 48 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ НА МАГІСТРАЛЬНІЙ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

1.1 Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду управління рухом

Швидке зростання автомобільного парку привело до значного збільшення інтенсивності дорожнього руху і як наслідок, навантаження на вулично-дорожню мережу міст. Вже сьогодні вулично-дорожня мережа не відповідає вимогам щодо організації і безпеки дорожнього руху. Обстеження дорожньо-транспортних потоків показує, що вулично-дорожня мережа функціонує на межі пропускної здатності, а в деяких місцях перевищує цю межу. Основною причиною такої транспортної ситуації в містах є невідповідність рівня автомобілізації зі щільністю вулично-дорожньої мережі [1].

В концепції державної програми підвищення безпеки дорожнього руху зазначається, що стан безпеки дорожнього руху в Україні і наслідки дорожньо-транспортних пригод є одним із найгірших у Європі. Основний вплив на безпеку руху мають дорожні умови, інтенсивність і склад потоку.

Важливими причинами надзвичайно великої кількості ДТП є зростання автомобільного парку [2, 3], який з кожним роком збільшується у порівнянні з кількістю населення (таблиця 1.1) [3 – 6]. Із збільшенням кількості автомобілів збільшується виникнення затримок руху.

За даними Міністерства Інфраструктури України на 2018 рік автомобільна транспортна система України налічувала більше 9,2 млн. транспортних засобів, у тому числі:

- 6,9 млн. легкових автомобілів;
- приблизно 250 тис. автобусів;
- приблизно 1,3 млн. вантажних автомобілів;
- понад 840 тис. одиниць мототранспорту.

Таблиця 1.1 – Статистичні дані населення та рівня автомобілізації населення

Рік	Україна (авто./1000 жителів)	Населення, тис.
2003	107	48003,5
2004	105	47622,5
2005	109	47280,8
2006	113	4692,50
2007	115	4664,60
2008	122	46372,7
2009	133	46143,7
2010	136	45962,9
2011	142	45778,5
2012	143	45633,6
2013	148	45556,2
2014	187	45426,2
2015	191	42928,9
2016	202	42760,5
2017	213	42584,5
2018	201	42386,4

Існуюча інфраструктура міста не відповідає загальноєвропейським принципам і була побудована для значно меншого рівня автомобілізації. Наслідками цього є мала питома щільність магістральних вулиць та нерозвинена мережа місцевих вулиць; низька пропускна здатність вулиць, сполучений рух масового пасажирського транспорту, легкового і вантажного руху; застосування для регулювання руху застарілих методів та технічних засобів; відсутність системи інформаційного забезпечення міського руху; відсутність спеціалізованих доріг для руху вантажних автомобілів. Все це призводить до утворення заторів.

На сьогоднішній день вулично-дорожня мережа міст України є невід’ємним елементом транспортної системи держави. Робота будь-якого виду міського транспорту неможлива без його взаємодії з автомобільним транспортом, бо саме вулично-дорожня мережа і забезпечує цю роботу. Проблеми, пов’язані з погіршенням функціонування ВДМ, які в основному вже

стали закономірними у великих містах України, суттєво впливають на роботу всього транспортного комплексу міста. Затримки транспорту в процесі руху, виникнення заторів, які характеризуються збільшенням часу на переміщення, погіршення транспортного обслуговування, підвищення рівня забруднення міського середовища внаслідок збільшення шкідливих викидів і підвищення рівня шуму, збільшення дорожньо-транспортних пригод говорять про невідповідність ВДМ міст сучасному стану автомобілізації країни.

Дана проблема супроводжується значним відставанням у забезпеченні і створенні необхідних транспортно-експлуатаційних показників стану ВДМ міст від інтенсивних темпів автомобілізації країни. Вирішення цієї проблеми потребує суттєвого впровадження ефективних містобудівних, технічних, адміністративних заходів із управління та організації дорожнім рухом та злагодженої роботи всієї транспортної системи міста.

Одним із факторів покращення транспортно-експлуатаційних показників ВДМ міст є забезпечення умов її стабільної роботи. Саме тому постає питання про удосконалення регулювання дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міста.

Для усунення заторів на підходах до великих міст Франції [7] передбачалося створити до 1980 року систему автоматичного управління рухом транспортних засобів. Інформація, що надходить на ЕОМ від детекторів, обробляється і виводиться на світлове табло.

У Великобританії [8] на автомагістралі М-4 створена система сигналізації і управління за допомогою ЕОМ. 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. 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.

Автоматизована система управління рухом на автомагістралях південного напрямку Парижа [9] передає вказівки й інформацію водіям за допомогою матричних показників розміром 3x1,5 м. На них подається коротка інформація про небезпечні ситуації на ділянках дороги, що розташовані попереду, й відстань до небезпечної ділянки -500, 1 тис. або 2 тис. м. 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.

Регулювання [10, 11] швидкостей руху є одним з ефективних методів підвищення безпеки. 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.

Запатентована [12] система регулювання руху потоку автомобілів по смугах на багатосмугових дорогах. У системі смуги руху виділяються за допомогою трубчастих світильників, що зашпаровуються в покриття. При цьому за допомогою цих світильників можна вводити заборону або дозвіл зміни смуг руху. Для цього запалюються або суцільні, або переривчасті вогні.

В Росії інститут ДіпродорНДІ розробляв систему АРДАМ. Система складається з первинних датчиків і приладів для збору інформації, пунктів первісної обробки і передачі інформації, обчислювального центра, що збирає і переробляє інформацію, керованих знаків, що одержують командні сигнали з обчислювального центра [13-16].

У США на автомагістралі Лос-Анджелеса (довжиною 67 км, 8 -10 смуг руху, швидкість не нижче 64 км/г) створена АСУ (система контролю за рухом).

Ця система дозволяє безупинно одержувати дані про швидкості руху й інтенсивності на будь-якій ділянці магістралі. Сигнали від датчиків, встановлених у покритті на відстані 800 м друг від друга, надходять в ЕОМ на диспетчерському пункті. Результати розрахунків дають картину завантаження автомагістралі: зниження швидкості до 32 – 48 км/г 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 [17, 18].

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 ЕОМ 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. 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 [19, 20].

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) [14, 21, 22]. Організація дорожнього руху передбачає вивчення цієї системи і удосконалення її окремих елементів з метою підвищення їх ефективної взаємодії. Таким чином, виникає задача про управління дорожнім рухом, тобто про управління системою ДУ-ТП.

Проблема управління взагалі досить складна. Основою оптимального (або 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.

Процес управління складається з таких елементів:

- збір та обробка інформації;
- оцінка стану системи;
- прогноз стану системи через удосконалення її окремих елементів;
- визначення оптимального стану системи.

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

Говорячи про причини погіршення руху на ВДМ міста, слід відмітити щорічний приріст кількості транспортних засобів і майже незмінний показник стану проїзної частини.

Зараз на багатьох ділянках вулично-дорожньої мережі міст інтенсивність руху транспортних засобів перевищує її пропускну здатність

Виникнення транспортних заторів на магістральній вулично-дорожній мережі міста стало вже нормою, тому слід прикласти максимум зусиль для вирішення цієї проблеми.

Під заторами транспортних потоків мається на увазі рух автомобілів з дуже низькими швидкостями – від 0 до 10 км/год. (15 км/год) [23] в результаті роботи вулиці або дороги на високому рівні завантаженні при щільних транспортних потоках.

Існує важлива група задач щодо алгоритмів управління дорожнім рухом, які базуються на використанні залежностей між основними характеристиками транспортного потоку, одержаних за допомогою фізичних аналогій, і дають можливість описати увесь процес руху, починаючи з одиничних автомобілів і закінчуючи заторами, визначаючи характеристики пропускну здатності дороги. Ці залежності відомі під назвою основних діаграм транспортного потоку: «інтенсивність – щільність», «інтенсивність – швидкість» і «швидкість – щільність». Основний взаємозв'язок характеристик руху транспортного потоку: інтенсивність руху (N) дорівнює добутку швидкості руху (V) і щільності (q) транспортного потоку:

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

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

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. В основній діаграмі транспортного потоку відображено багато головних властивостей, зокрема просторово-часові відношення і виникнення можливих перешкод руху. В основній діаграмі транспортного потоку 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;

q_{opt} – оптимальна щільність потоку;

V_{opt} – оптимальна швидкість потоку.

Величину пропускної здатності дороги важко визначити однозначно [24], 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 (в залежності від вибраної аналогії). Але поряд з тим, виконання вимог основної діаграми є критерієм правильності будь-якої теорії транспортного потоку [25].

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 комфортності руху по дорозі, зменшенню втрат часу і зменшенню ДТП.

Поняття про стан затору в загальних рисах продемонстровано основною діаграмою транспортного потоку (рис. 1.1)

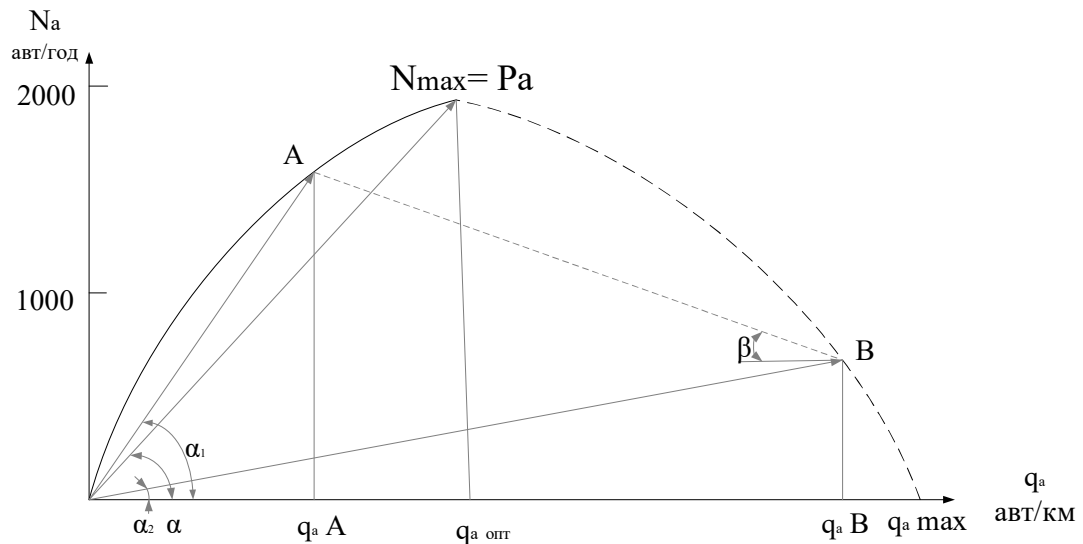


Рисунок 1.1 – Основна діаграма транспортного потоку

Основна діаграма відображає зміну однорідного транспортного потоку переважно легкових автомобілів в залежності від збільшення його інтенсивності та щільності. Ліва частина кривої (рис. 1.1) зображена суцільною лінією, відображає стійкий стан транспортного потоку, при якому по мірі зростання щільності транспортний потік проходить фази вільного, потім частково зв'язаного руху, досягаючи точки максимально можливої інтенсивності, тобто пропускної здатності. В процесі цих замірів швидкість потоку знижується - вона характеризується тангенсом кута нахилу α радіуса-вектора, проведеного від точки 0 до будь-якої точки кривої, що характеризує зміну інтенсивності. У точках 0 і $q_a \max$ інтенсивність руху $N_a = 0$, тобто на автомобільній дорозі відсутні транспортні засоби або потік знаходиться у стані затору (нерухомості).

Відповідно точки $N_a \max = P_a$ значення щільності та швидкості потоку вважаються оптимальними по пропускній здатності. При подальшому зростанні щільності потік стає нестійким (на рис. 1,1 зображено пунктирною кривою).

Однак, основна діаграма не може відобразити всю складність процесів, що відбуваються в транспортному потоці та характеризує його лише при однорідному складі та відповідному умовам руху стані ділянок вулично-дорожньої мережі міста та зовнішнього середовища. При зміні стану покриття,

умов видимості для водіїв, складу потоку, вертикального і горизонтального профілів дороги змінюється характер діаграми.

Аналізуючи ці явища, насамперед потрібно конкретизувати саме поняття затору, його природу, класифікацію, причини виникнення і шляхи запобігання або ліквідації.

Визначення яке витікає з основної діаграми транспортного потоку [26]: дорожній затор – стан дорожньої мережі, що характеризується істотним зменшенням фактичної пропускної здатності, збільшенням часу на проїзд та подовженням черг. По відношенню до автомобільного транспорту, дорожній затор позначає стан на дорозі, коли пропускна здатність автомобільних шляхів або їх перетинів менша за необхідну.

Найбільш прийнятим є визначення яке наведено в [23]. Під затором мається на увазі, нерухомий стан транспортного потоку внаслідок його граничного ущільнення через те, що інтенсивність прибуття транспортного потоку значно перевищує фактичну пропускну здатність даної ділянки вулично-дорожньої мережі. При цьому коефіцієнт завантаження Z даного елемента ВДМ перевищує одиницю.

Незважаючи на досить широке розповсюдження заторів на вулично-дорожній мережі міст, питання що стосуються прогнозування, виникнення, існування та ліквідації заторових явищ досі недостатньо вивчені.

Для вирішення проблем організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі міста необхідно передбачити поведінку транспортного потоку на вулично-дорожній мережі та використати моделювання зміни параметрів транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста.

1.2 Аналіз існуючих методів оцінки умов руху

Відповідно до теорії транспортних потоків [26 – 28], заторові явища можуть виникати при русі досить щільних транспортних потоків, коли фактична

інтенсивність руху на ділянці дорівнює практичній пропускній здатності цієї ділянки.

Зважаючи на те, що вулиці і дороги поділяються на дві характерні ділянки -перегін і перехрестя, виділяють, відповідно, два типи заторів:

- Ті, що виникають на перегоні в результаті перевищення інтенсивності руху на перегоні над його пропускною здатністю;
- Ті, що перед перехрестям в результаті перевищення кількості прибуваючих автомобілів над пропускною здатністю стоп-лінії пересічення (кількості автомобілів, яка може пройти за цикл при світлофорному регулюванні).

В першому випадку затори виникають в так званих «вузьких місцях» проїзної частини, де відбувається різке зменшення пропускної здатності дороги (вулиці). Таке може статися через зменшення смуг руху, через зупинку або стоянку транспортних засобів на краю проїзної частини, ремонтні роботи, дорожньо-транспортні пригоди та інше.

В такому випадку водії ТЗ, намагаючись об'їхати перешкоду, починають змінювати смугу руху, що призводить до зниження швидкості та виникнення затору.

Існують місця виникнення затримок руху транспорту на міських вулицях, де погіршуються умови руху. При цьому заторові стани відрізняються як за своїми причинами і супутніми факторами, так і за масштабами і тривалістю.

В роботі [26] наводиться класифікація заторів:

- постійні;
- випадкові;
- непередбачувані.

Постійні (регулярні)затори виникають не випадково, головним джерелом їх є перехрестя із світлофорним регулюванням, які не здатні пропустити необхідну кількість автомобілів, або «вузькі» місця на проїзній частині (наприклад, через тривалі планові ремонтно-відновлювальні роботи із закриттям

частини дороги). Часто вони являють собою не повний затор (нерухоме скупчення автомобілів), а «пульсуючий потік», що просувається при зелених сигналах світлофора. Регулярні затори можна передбачати і розробити для їх ослаблення і ліквідації відповідні заходи, проте рамки можливих заходів обмежені ступенем розвитку ВДМ і в багатьох випадках не можуть дати відчутного результату без кардинальних заходів щодо розвитку пропускну здатності тієї чи іншої магістралі (ділянки) за рахунок будівництва (розширення) дороги.

Випадкові затори можуть виникати в будь-яких несподіваних місцях ВДМ і можуть бути викликані великим ДТП. Наслідком ДТП і буде великий затор, для його ліквідації потрібно до 3-4 годин, а в деяких випадках і більше. У цей час пропускну здатність проїзної частини може впасти на 50-100%.

Така ж ситуація виникає в результаті аварій комунікацій, розташованих під проїзною частиною (водо— і газопроводу, електропостачання), і вимагає негайних дій відповідних аварійних служб із закриттям (повним або частковим) проїздом частини дороги.

Карлос Доганзо у роботі [29 – 30] висуває гіпотезу про те, що причиною заторів є «вузькі місця» – звужені чи розширені дороги. Вони являються причиною створення, зростання та розповсюдження черг на дорогах. Доганзо виділяє декілька типів «вузькі місця»: активні вузькі місця, злиття, розширення.

Активні вузькі місця. Між двома ділянками має місце активне «вузьке місце», якщо вхідний потік перевантажений, а вихідний залишається вільним. Виявлення активних «вузьких місць» на ділянках дороги ефективно для попередження транспортних подій.

- **Злиття.** Теорія для «вузьких місць, що зливаються», стверджує, що максимально стійкий потік, що виходить із злиття, існує лише тоді, коли умови вихідного потоку являються не завантаженими. Ця характеристика називається ємністю. Якщо сума вихідних потоків перевищує місткість злиття, вихідний потік заповнює ємність злиття повністю, а решта потоку формує чергу.

- **Розширення.** Різновид декількох «активних вузьких місць» на дорозі. Якщо потік перетинає одну із гілок розширення, перевищує його пропускну здатність протягом деякого часу, то в загальному під'їзді до розширення може вирости черга [30].

В [30 – 36] висвітлюється питання транспортних потоків і вулично-дорожньої мережі, але досить мало говориться про заторові явища, що постають на сьогоднішній день величезною проблемою. Боротьбу з насиченим транспортним потоком пропонується вести за допомогою удосконалення управління дорожнім рухом на ВДМ.

Головним показником для оцінки умов руху є щільність, що визначає ступінь можливості маневрування у транспортному потоці. Граничним значенням рівнів свободи руху відповідають відстані між автомобілями, які рухаються у потоці.

Одним із важливих показників, використовуваних для оцінки умов руху, є коефіцієнт завантаження дороги рухом Z , який представляє собою відношення фактичної інтенсивності руху N до величини практичної пропускну здатності P розглянутої ділянки дороги.

Класифікацію заторів часто пов'язують із станом транспортного потоку [23]. Міністерство транспорту США використовує класифікацію за ступенем заповнення смуги руху транспортними засобами відносно сумарної площі смуги, яку займають автомобілі, до її загальної площі на довільній ділянці дороги:

- 35% і більше - так званий *старт-стоп рух (stop-and-go)*;
- 22% – 35% *утруднений рух*;
- 15 -20% – *помірний рух*;
- 0 -15% – *вільний рух*.

Спроби вирішення проблеми генерували нові підходи, представлені течіями, що належать до німецьких та американських наукових шкіл. Представниками яких є Б. Кернер та К. Доганзо.

К. Доганзо вважає, що на вільній дорозі транспортний потік не створює черг, якщо мале збурення швидкостей, яке виникло в деякій точці дороги. Не розповсюджується вгору за потоком. І навпаки, якщо збурення швидкостей, яке виникло на деякій ділянці, розповсюджується за його межами, то в транспортному потоці створюються скупчення, і виникають затори. Доганзо робить висновок, що основним об'єктом вивчення повинні виступати черги (їх властивості, структура, поведінка та інше).

Б. Кернер, базуючись на емпіричному аналізі поведінки транспортних потоків, у 1996-2000рр. висунув концепцію синхронізованого потоку і пов'язану з нею теорію фазових станів транспортного потоку, що використовує аналогію з рухом замерзаючої рідини.

Вільний потік. Поки дорога не завантажена водії дотримуються бажаної швидкості, вільно переходячи на сусідні смуги. На цій стадії автомобілі порівнюються з потоком вільних часток (молекул у газовій фазі).

Синхронізований потік. Коли дорога стає перевантаженою, водії втрачають можливість вільно маневрувати і вимушені зменшувати свою швидкість до швидкості всього потоку. Ця стадія подібна до звичайного потоку води.

Широкі затори, що переміщуються. Автомобілі (групи автомобілів) подібні до шматочків криги, що рухаються в потоці рідини.

Старт-стоп рух. При великому скупченні автомобілів руху потоку набуває переривчастого характеру. На цій стадії транспортний потік можна порівняти до потоку води що замерзає, автомобілі зупиняються на певний проміжок часу ніби «примерзають» до даної точки дороги.

В результаті дослідження були сформовані наступні сценарії виникнення заторів в потоці:

- рухомі затори не виникають у вільному потоці при поступовому зростанні величини потоку. Швидше, затори виникають при фазовому переході від вільного потоку до синхронізованого;

- чим нижча швидкість руху в синхронізованому потоці, тим частіше виникають затори. Це означає, що частота появи рухомих заторів зростає разом із ростом максимально можливих значень інтенсивності вихідного потоку. Стани потоку з великою щільністю і низькою швидкістю руху, в яких рухомі затори не виникають, в синхронізованому потоці не спостерігаються.

Як витікає з наведеного, прогнозування, виникнення, розповсюдження заторів так чи інакше зв'язано з динамічними властивостями транспортного потоку – величиною збурення, його швидкістю та напрямом, щільністю, дорожніми умовами. Це дозволяє сформулювати питання про актуальність оперативної оцінки стійкості транспортного потоку як динамічного об'єкту в умовах що накладаються зовнішніми та внутрішніми факторами.

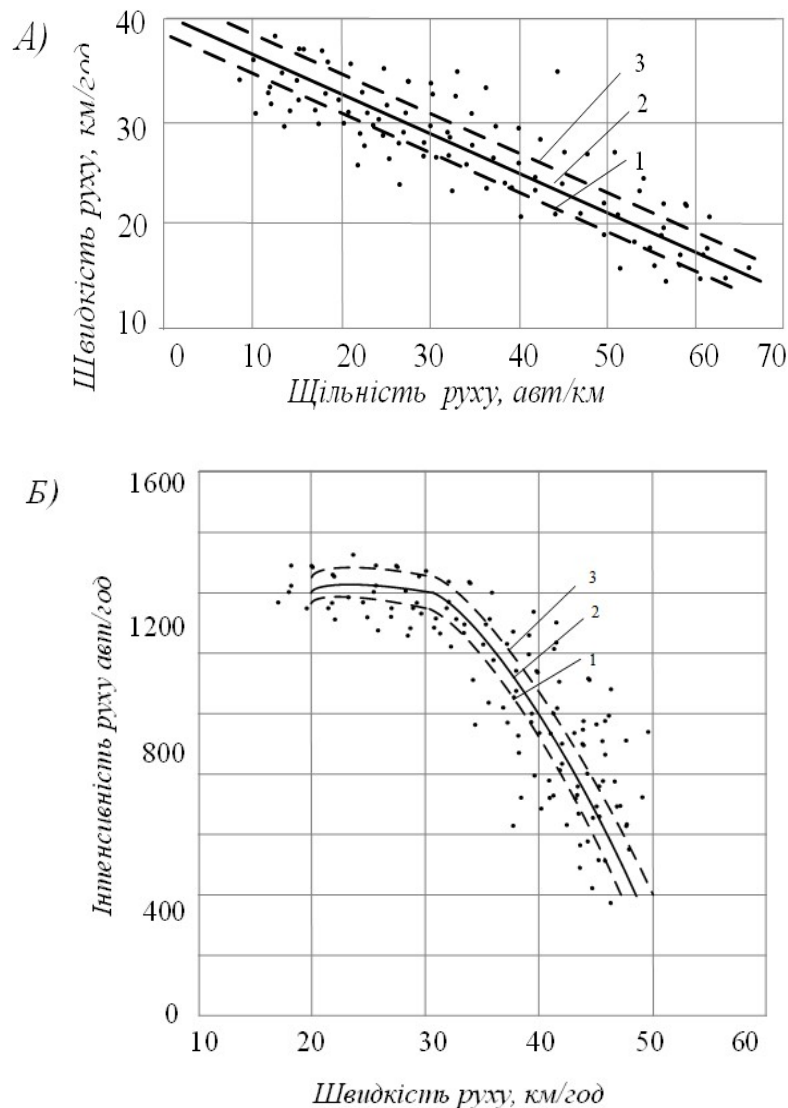
Задача ліквідації затору набагато складніша ніж задача його попередження, оскільки може бути вирішена на вищому рівні управління, здатному реалізувати перерозподіл потоків в транспортній мережі завдяки системі управління, що повинна містити низку перехресть.

1.3 Вплив складу транспортного потоку на його основні характеристики

Наявність у складі транспортного потоку різних типів автомобілів та їхніх процентних співвідношень впливає на його середню швидкість руху і пропускну здатність різних ділянок дороги. При постійній інтенсивності руху, але при співвідношеннях типів автомобілів, що змінюються, основні характеристики транспортного потоку міняються. Особливо помітний вплив складу транспортного потоку виявляється на ділянках, де за тих або інших причин утруднений або заборонений обгін. У цьому випадку навіть один автомобіль, що повільно рухається, може значно знизити транспортні показники дороги або навіть створити затор.

Тому для правильного проектування автомобільних доріг і організації руху необхідно вивчити закономірності взаємодії різних типів автомобілів.

Побудувавши графік знайдених характеристик руху для послідовних моментів часу, можна установити наявність зв'язку між розглянутими величинами. Найбільш тісний зв'язок спостерігається між інтенсивністю та щільністю. Добре простежуються зв'язки між швидкістю і щільністю, а також швидкістю та інтенсивністю. Помітний зв'язок між відсотком легкових автомобілів, щільністю та інтенсивністю (рис. 1.2).



Експериментальні дані: • - менше 50% легкових автомобілів; х - 50 і більше відсотків легкових автомобілів. Цифри на кривих - кількість, легкових автомобілів у складі потоку, %: 1-30; 2-50; 3-70.

Рисунок 1.2 – Залежності «швидкість – щільність» (А) та «інтенсивність – швидкість» (Б)

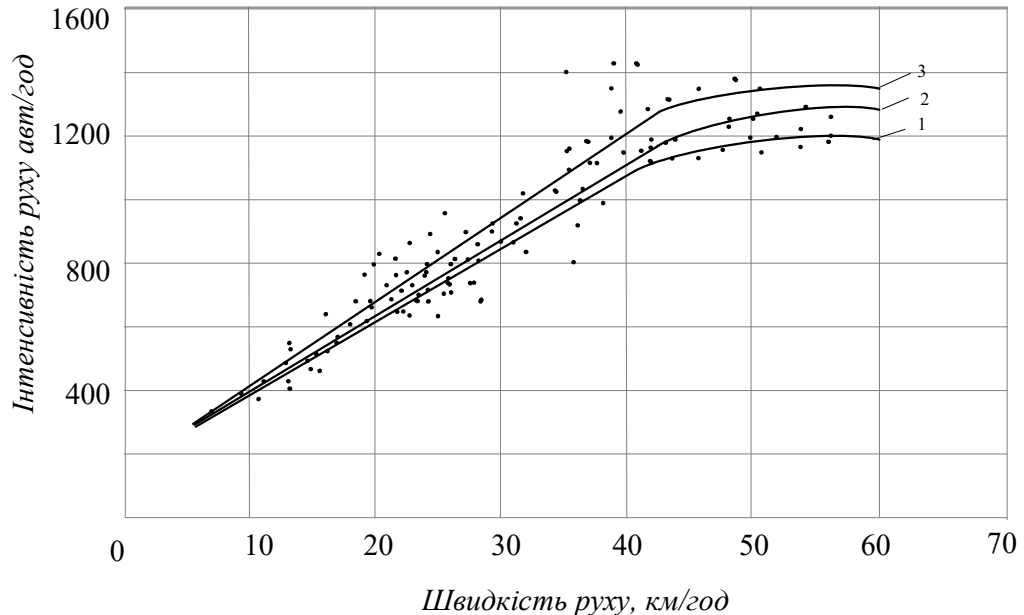
Якщо врахувати в залежності «швидкість - щільність» процентний склад легкових автомобілів, рівняння приймає вид [20]:

$$V = 48,5 - 0,521 K + 0,06 P, \quad (1.2)$$

де P -відсоток легкових автомобілів;

K -щільність потоку.

На рисунку 1.3 показана залежність «інтенсивність -швидкість». Спостерігається значний розкид точок, що досягає найбільшої величини в зоні швидкості 36 – 40 км/г. З графіка видно, що зі збільшенням частки легкових автомобілів швидкість потоку збільшується, а також зростає швидкість, за якої спостерігається максимальна інтенсивність. Найзначніший вплив склад потоку робить на пропускну здатність за високих швидкостей руху.



Експериментальні дані * – менш 50% легкових автомобілів; х – 50 і більш відсотків легкових автомобілів. Цифри на кривих -кількість легкових автомобілів у складі потоку, %: 1-30; 2-50; 3-70.

Рисунок 1.3 – Залежність «інтенсивність – щільність»

Криві на графіку побудовані відповідно для 30, 50 і 80 відсотків легкових автомобілів. З рисунку 1.3 походить, що зі збільшенням відсотка легкових автомобілів пропускна здатність даної ділянки дороги підвищується і зростає щільність транспортного потоку, при якій спостерігається максимум пропускної здатності. Найбільш значний вплив складу на пропускну здатність виявляється при високих щільностях транспортного потоку.

Спільний розгляд рисунків 1 та 2 показує, що вплив складу потоку на режим його руху виявляється подвійно. При зростанні швидкості позначається розходження динамічних характеристик вантажних і легкових автомобілів, а при збільшенні щільності виявляється різниця габаритів легкових і вантажних автомобілів. З цього випливає, що можуть існувати інтервали швидкостей і щільності, в яких вплив складу мінімальний.

За результатами статистичної обробки даних натурних спостережень встановлено, що між середньою швидкістю та інтенсивністю руху існує близька до лінійної залежності, що має вигляд [36]:

для всього потоку

$$V_{сер} = 67,23 - 0,164N; \quad (1.3)$$

для зовнішніх смуг руху

$$V_{сер} = 61,89 - 0,1218N; \quad (1.4)$$

для центральної смуги руху

$$V_{сер} = 76,93 - 0,0043N. \quad (1.5)$$

Коефіцієнт кореляції, який є показником зв'язку між випадковими величинами (швидкістю та інтенсивністю руху), близький до лінійної

залежності. Він дорівнює: для всього потоку $-r = 0,69$; для зовнішніх смуг руху $-r = 0,79$; для центральної смуги руху $-r = 0,81$.

У [37] поряд з вивченням розподілу автомобілів по ширині проїзної частини виконувались заміри миттєвих швидкостей на кожній смузі при трирядному русі. У попередніх дослідженнях розглядався розподіл швидкостей руху для всього потоку.

Криві розподілу швидкостей руху на зовнішніх смугах так само, як і для всього потоку, добре описуються функцією змішаного розподілу:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{P_1}{\sigma_1} e^{\frac{-(v_i - \bar{v}_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{P_2}{\sigma_2} e^{\frac{-(v_i - \bar{v}_2)^2}{2\sigma_2^2}} + \frac{P_3}{\sigma_3} e^{\frac{-(v_i - \bar{v}_3)^2}{2\sigma_3^2}} \right], \quad (1.6)$$

де P_1, P_2, P_3 – фактичні частоти появи значень швидкостей в кожній групі автомобілів;

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – середні квадратичні відхилення значень швидкостей руху, км/г;

V_1, V_2, V_3 – середня швидкість руху кожної групи автомобілів, км/г;

v_i – швидкість руху i -го автомобіля, км/г.

На основі аналізу експериментальних кривих розподілу швидкостей руху на центральній смузі встановлено, що ці криві досить добре описуються функцією змішаного розподілу наступного виду:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{P_1}{\sigma_1} e^{\frac{-(v_i - \bar{v}_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{P_2}{\sigma_2} e^{\frac{-(v_i - \bar{v}_2)^2}{2\sigma_2^2}} \right]. \quad (1.7)$$

Аналізуючи кумулятивні криві, можна зробити такі висновки: швидкості руху на центральній смузі повільних автомобілів більші або ж такі, як середні швидкості руху автомобілів на зовнішніх смугах. Середня швидкість руху на

центральної смугі дорівнює 60-65 км/год, максимальна швидкість окремих автомобілів досягає значень 75-80 км/год.

Формування транспортного потоку визначається кількісним співвідношенням типів транспортних засобів, які приймають участь у процесі руху автомобільними дорогами.

Спостереження за транспортними потоками на дорогах показали, що на 2-смугових дорогах у пересіченій місцевості автомобілі, в основному, рухаються у складі окремих груп, швидкість яких визначається транспортним засобом, що рухається попереду.

Особливо великий вплив на швидкості руху роблять транспортні засоби, які рухаються повільно – автопоїзди тощо. Через труднощі маневрування, а також складнощі виконання обгонів на 2-смугових дорогах великогабаритний транспорт збирає за собою велику групу автомобілів.

Спостереження показали, що при середніх значеннях інтенсивності руху (400 - 600 авт/год) кількість автомобілів в групі, що рухається за великогабаритним, буває у 2 - 3 рази більшою, ніж в аналогічних групах, які створюються за вантажним автомобілем. У цьому випадку тривалість чекання можливості обгону збільшується майже у 2 рази, кількість автомобілів, що прагнуть обгону - у 2-3 рази, а кількість обгонів зменшується у 1,5 рази.

Із збільшенням інтенсивності руху і частки вантажних автомобілів у складі потоку час чекання значно зростає, погіршуються умови для його виконання й частішими стають випадки виконання маневру на межі ризику скоєння ДТП.

В [37-45] за допомогою імітаційного моделювання визначена величина безпечної швидкості руху при дослідженні руху пари автомобілів – лідера та відомого:

$$V_{\text{без}} = V_{\text{л}}(t) + \frac{g(t) - V_{\text{л}}(t)\tau}{\tau + \frac{V_{\text{л}} + V_{\text{в}}}{2v}}, \quad (1.8)$$

де $V_{\text{л}}$, $V_{\text{в}}$ – відповідно швидкості руху лідера та відомого автомобілів;

τ – час реакції водія;

ϵ – максимальне прискорення при гальмуванні;

g – відстань між автомобілями.

Відомо, що взаємозв'язок між інтенсивністю та щільністю транспортного потоку добре описується рівнянням гідродинамічної моделі слідування за лідером й має вигляд [46-51]:

$$N = k\lambda \ln \frac{\lambda_{\max}}{\lambda}, \quad (1.9)$$

а між інтенсивністю та швидкістю руху:

$$N = \frac{\lambda_{\max} V}{e^{V/k}}, \quad (1.10)$$

де N – інтенсивність руху;

$\lambda_{\max}$ – максимальна щільність транспортного потоку;

λ – щільність транспортного потоку;

k – швидкість руху, яка відповідає максимальній інтенсивності руху (за даними автора дорівнює 23,75 км/год);

e – основа натурального логарифму.

Максимальна щільність транспортного потоку залежить від його складу й визначається за формулою:

$$\lambda_{\max} = \frac{1000}{d_{\min} + L}, \quad (1.11)$$

де $d_{\min}$ – мінімальна дистанція між автомобілями (за даними автора дорівнює 1 м);

L – середня довжина автомобіля у транспортному потоці.

Проаналізувавши рівняння (1.9) і (1.10), визначаємо максимальну інтенсивність транспортного потоку:

$$N_{\max} = \frac{k\lambda_{\max}}{l} = 8,7\lambda_{\max}.$$

Під час руху характеристика дій водія змінюється, як змінюються і навколишні умови, і ризик на дорозі під час руху. Це можна проілюструвати наступною схемою. Задача з точки зору безпеки дорожнього руху полягає в тому, щоб ці дві криві не перетиналися, щоб уникнути ДТП (рис. 1.4).

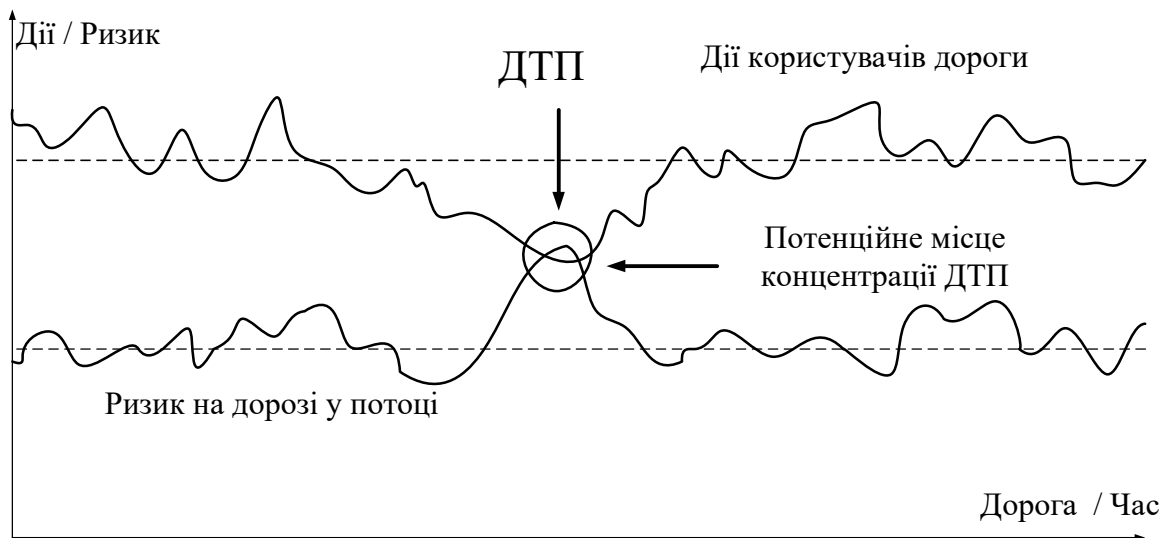


Рисунок 1.4 – Потенційне місце концентрації ДТП

На небезпечних ділянках дороги, наприклад, у з'їздів, місцях обгону або випередження, автобусних зупинок, ризик може бути більш високим (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Небезпечна ділянка дороги

На небезпечних ділянках дороги дії користувача дороги повинні бути активізовані або потрібно знизити ризик на дорозі. Або, можливо, і те й інше. Наступний графік ілюструє ситуацію, коли були поліпшені дії водія на небезпечній ділянці дороги. Наприклад, цьому сприяють дорожні знаки щодо використання смуг руху (рис. 1.6).

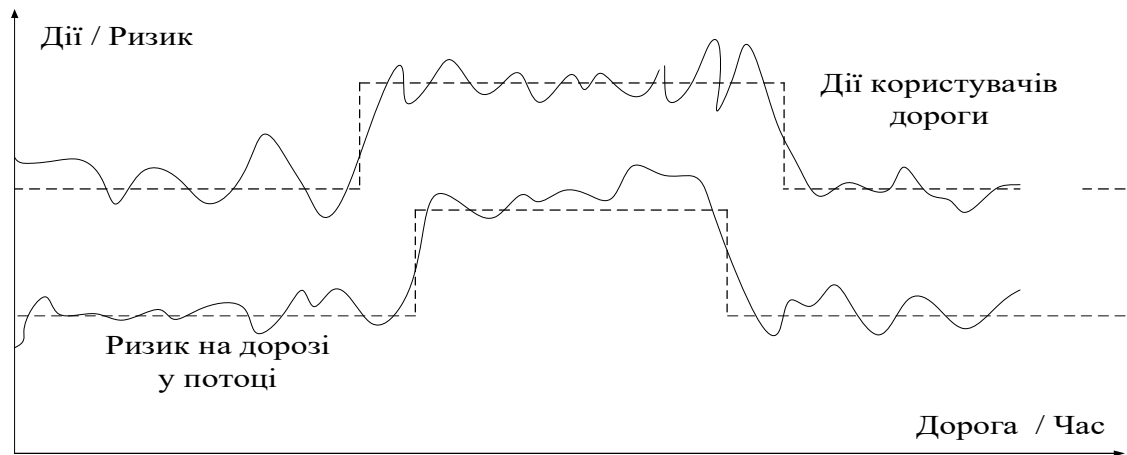


Рисунок 1.6 – Удосконалення умов руху на небезпечній ділянці

Найбільш очевидна причина зниження швидкості це пряма залежність між швидкістю руху та числом ДТП і ступенем важкості ДТП (рис. 7).

Дійсно, більшість ДТП відбувається при різноманітних маневрах (здебільшого обгонах), що здійснюються водіями з метою якнайшвидшого переміщення в транспортному потоці [36, 37].

Але будь-який маневр потребує вільної площі маневрування, розмір якої в умовах руху проїзною частиною залежить від щільності потоку:

$$\lg^2 Z = \begin{cases} 31,36 f - 0,118 & \text{при } 0 < f \leq 0,030 \\ 17,14 f + 0,354 & \text{при } 0,030 < f \leq 0,090 \\ 10,36 f - 0,960 & \text{при } 0,090 < f \leq 0,170 . \end{cases} \quad (1.12)$$

де $\lg^2 Z$ – коефіцієнт подій;

f – фактор поперечної щільності, $f = \frac{N}{b}$;

N – інтенсивність руху;

b – ширина проїзної частини.

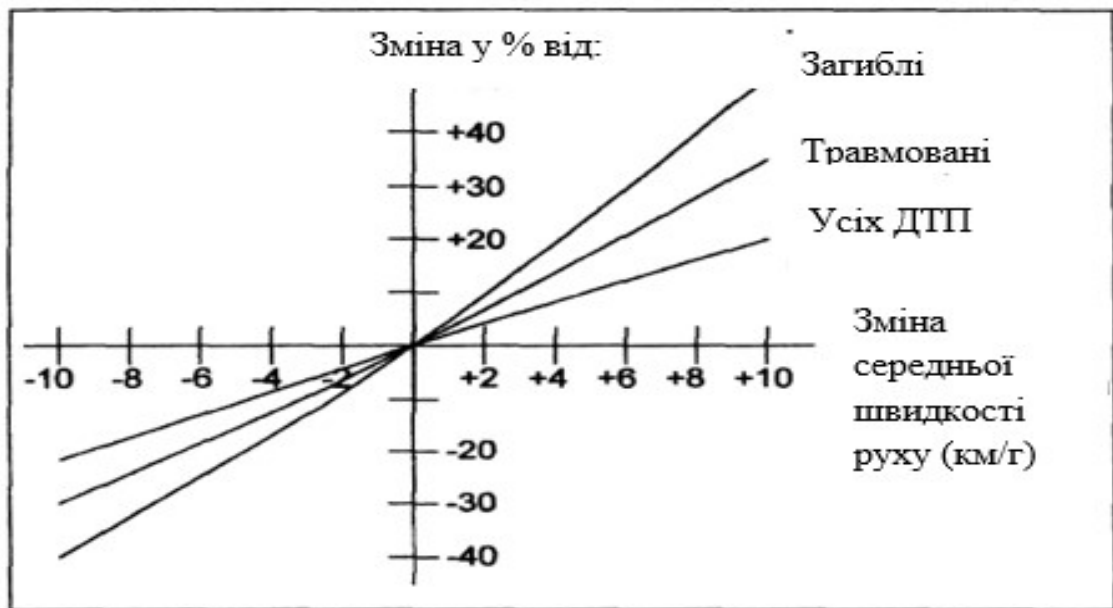


Рисунок 1.7 – Залежність між швидкістю руху та числом ДТП і ступенем важкості ДТП

Таким чином, для ефективного регулювання та управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі застосовуються різні методи та алгоритми управління, а, отже, й різні вимоги до інформації, що реєструється про дорожній рух. Аналіз систем управління дорожнім рухом показує, що використовується, головним чином, така інформація про дорожній рух: фіксація переміщення, інтенсивність, склад, швидкість транспортних засобів і транспортних потоків, часовий і просторовий інтервал між автомобілями, щільність і довжина черги автомобілів.

1.4. Розподіл транспортного потоку відповідно до ширини проїзної частини

Ступінь використання смуги руху відображає розподіл транспортного потоку по смугах на різних ділянках автомобільних доріг, вона впливає на стабільність потоку й є суттєвим фактором пропускної здатності дороги.

Цільову функцію стану транспортного потоку можна подати у вигляді [52]:

$$F = \sum_{i=1}^{\infty} f_1(p) + f_2(\sigma) + f_3(H) + f_4(t) + f_5(v) + f_6(K_{об}) + f_7(Q) + f_8(C_e), \quad (1.13)$$

де $f_2(\sigma)$, $f_3(H)$ – показники потенційної безпеки та надійності роботи водія;

$f_4(t)$, $f_5(v)$, $f_7(Q)$ – показники ефективності використання динамічної та виробничої можливості транспортного потоку;

$f_1(p)$, $f_6(K_{об})$, $f_8(C_e)$ – показники умов руху і використання середньої експлуатаційної швидкості руху.

Оптимальна поведінка транспортного потоку полягає у максимізації:

$$f_1(p); f_2(\sigma); f_3(H); f_5(v); f_7(Q)$$

та максимізації:

$$f_4(t); f_6(K_{об}); f_8(C_e),$$

де $f_1(p)$ – функціонал пропускної здатності дороги;

$f_2(\sigma)$ – функціонал безпеки руху;

$f_3(H)$ – функціонал надійності роботи водія;

$f_4(t)$ – функціонал часу пересування;

$f_5(v)$ – функціонал швидкості пересування;

$f_6(K_{об})$ – функціонал зміни кількості обгонів;

$f_7(Q)$ – функціонал продуктивності транспортного потоку;

$f_8(C_e)$ – функціонал сумарних приведених витрат на перевезення.

Для поставленої мети потрібно розробити єдиний критерій, який ідентифікує перелічені показники й одночасно оцінює якість функціонування транспортного потоку. Таким показником може бути показник умов руху - рівень завантаження дороги. Цей показник об'єднує не тільки показники транспортного процесу, але й каже про якість організації дорожнього руху, про дорожній фактор, про незручності, які мають водії та пасажери під час руху дорогами тощо.

Складність опису взаємодії автомобілів у транспортному потоці полягає в тому, що на нього впливає велика кількість факторів, що відносяться до параметрів, які характеризують транспортний потік (швидкість, щільність, інтенсивність, різноманітність складу тощо), фізичним характеристикам дороги та експлуатаційним властивостям автомобілів, а також психологічним особливостям водіїв.

Існує велика кількість досліджень транспортних потоків, що ґрунтуються на визначенні дистанцій між автомобілями у потоці в залежності від його складу, інтенсивності та швидкості руху [51-57]. Більшість результатів цих досліджень використовується при проектуванні елементів доріг, при організації дорожнього руху й при оцінці пропускної здатності дороги.

З метою визначення кількісних залежностей можливих змін часу реакції для водіїв легкових автомобілів побудований графік допустимих інтервалів зміни реакції на різних режимах руху і стадіях формування транспортного потоку з урахуванням забезпеченої безпеки руху (рис. 1.8) [53], де:

$$\Delta T_p = T_p(\max) - T_p(\min); \quad (1.14)$$

$$T_p = \frac{x + S_{T_1} - S_{T_2}}{v}, \quad (1.15)$$

де ΔT_p – максимально допустимий інтервал зміни часу реакції, с;

$T_p(\max)$ – максимально допустима по безпеці руху величина часу реакції

водія, с;

$T_p(\text{min})$ – мінімально можлива величина часу реакції людини на зоровий сигнал (за даними Є.Бойка - 200 м/с або 0,2 с);

x – дистанція слідування базового автомобіля за лідером, м;

S_{T_1}, S_{T_2} – гальмівний шлях лідера та базового автомобіля, м;

v – швидкість руху базового автомобіля, м/с.

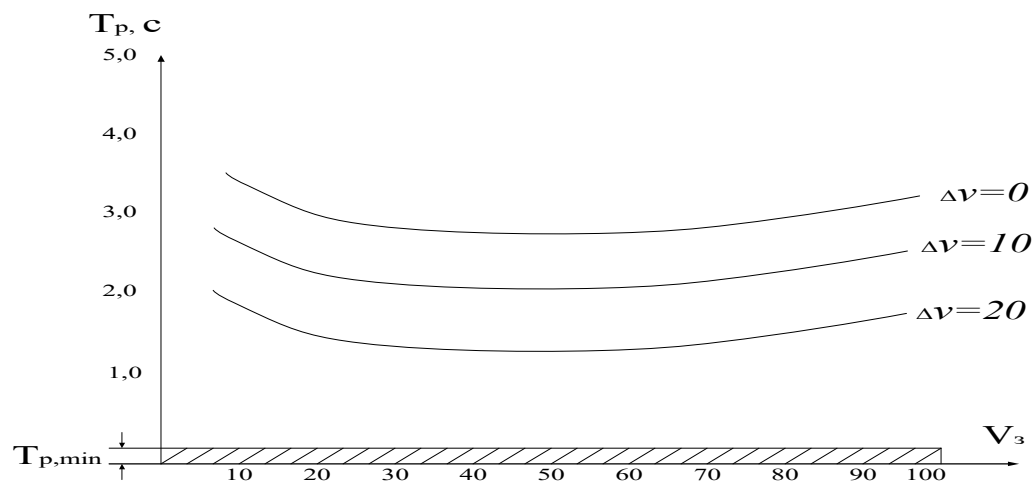


Рисунок 1.8 – Графік допустимих інтервалів зміни часу реакції

Проф. О.А. Білятинським [38,40] для вивчення режимів руху на автомобільних дорогах використовувався закон Гауса для опису розподілу автомобілів смугами руху.

Проте, через наближений характер і неможливість отримати безперервну функціональну зміну досліджуваного параметру по всій ширині проїзної частини запропоновано метод, що базується на використанні дослідних даних і математичного апарату R– функцій:

$$\Phi(x) = F_1(x) + F_2(x) + \dots + F_i(x) + \dots + F_n(x); \quad (1.16)$$

$$F_i(x) = f_{i,i-1}(x) \Lambda_1 f_{i,i+1}(x), \quad (1.17)$$

де $f_{i,i-1}(x) \Lambda_1 f_{i,i+1}(x)$ – R-кон'юнкція, що відповідає виразу:

$$\min(f_{ij-1}, f_{ij+1}).$$

Важливою характеристикою роботи магістральної вулично – дорожньої мережі є розподіл транспортного потоку по смугах, від якого залежать умови маневрування. Це розподіл, в основному, визначається загальною інтенсивністю і складом потоку, відстанню між розв'язками, наявністю світлофорних об'єктів, наявністю громадського пасажирського транспорту, дозволом зупинки або стоянки транспортних засобів.

У роботі [54,55] А.Н. Красніковим проведені дослідження розподілів транспортних потоків по смугах для шестисмугових заміських автомагістралей. Ним встановлено, що при інтенсивності руху в одному напрямку $N = 200 - 1200$ авт/год розподіл інтенсивності руху $N_i (i = 1,2,3)$ по кожній із смуг досить добре описується лінійною залежністю:

$$\begin{aligned} \text{для I смуги} - & N_1 = 0,40N + 50; \\ \text{для II смуги} - & N_2 = 0,441N - 18; \\ (1.18) & \\ \text{для III смуги} - & N_3 = 0,168N - 42. \end{aligned}$$

Смути пронумеровані від узбіччя. Відзначається, що ці рівняння справедливі при наявності у потоці 38 – 42% легкових автомобілів і при інтенсивності руху в одному напрямку менше 650 авт/год шестисмугова автомагістраль працює як чотирисмугова (інтенсивність руху по крайній лівій смузі у цьому випадку складає 12 – 80 авт/год, і використовується ця смуга тільки для обгону).

Однак умови руху на заміських автомагістралях різко відрізняються від міських магістральних вулиць, що визначило необхідність проведення аналогічних досліджень для міських умов.

Дослідження проводилися на типовій шестисмуговій магістральній вулиці м. Тбілісі – пр. Миру. Ширина 1 смуги – 6,2 м, 2-ої - 3,2 м, 3-ої - 3,6 м. Довжина досліджуваного перегону між світлофорними об'єктами 200 м, що передусь

перегону – 500 м. Спостереження проводилися при різній інтенсивності руху (у години «пік» і між піковий період, у будні і вихідні дні, у літній і осінньо-зимовий період). Склад транспортного потоку склав: 95% легкових автомобілів і 5% - вантажні, автобуси та тролейбуси. Визначено наступні рівняння регресії:

$$\begin{aligned} \text{для I смуги} - & P_1 = 23,546 + 1,35 \times 10^{-3} N; \\ \text{для II смуги} - & P_2 = 36,20 + 2,082 \times 10^{-4} N; \\ \text{для III смуги} - & P_3 = 40,15 + 0,001 \times 10^{-4} N; \end{aligned} \quad (1.19)$$

де P – частка транспортного потоку на даній смузі у %;

N – загальна інтенсивність транспортного потоку в одному напрямку руху,
 $1200 < N < 2500$ авт/год.

Потік автомобілів на міській магістралі з чотирма смугами руху розглядається як складна система, що складається з чотирьох підсистем, що взаємодіють: рух автомобілів лівою смугою кусочно безперервний агрегат - КБА1, рух автомобілів правою смугою – КБА2, пошук автомобілями можливості зміни смуги та зміна смуги руху – КБА3, виникнення конфліктної ситуації при зміні смуги руху. Кожна з підсистем описується схемою кусочно-безперервного агрегату, що дозволяє адекватно описати вплив всіх істотних факторів на реальні процеси руху [56-58].

Моделювання [59].пошуку можливості зміни смуги і зміна смуги руху (КБА3) засновано на розгляді чотирьох схем і виборі прийнятного інтервалу. Основні співвідношення «шлях – час – швидкість» при зміні смуги руху встановлені експериментальним шляхом з використанням ходової режимометричної лабораторії. Сумісне функціонування підсистем протікає стандартним чином [117,131-133,138-141].

У результаті імітаційного моделювання встановлені залежності, одержання яких натурними експериментами утруднене. Так наприклад, представлена на рис. 1.9 залежність зміни ступеня використання схем зміни смуги руху від інтенсивності потоку показує, що зі збільшенням інтенсивності руху ступінь використання водіями першої схеми (з постійною швидкістю)

зменшується, а другої, третьої та четвертої - збільшується. Однаковий ступінь використання схем спостерігається при 1600 авт/год, що відповідає оптимальній пропускній здатності чотирисмугової міської магістралі.

Аналіз результатів досліджень вчених, які займалися вирішенням завдань для покращення організації дорожнього руху, що стосуються змін показників транспортного процесу від рівня завантаження дороги, надав можливість визначити оптимальні значення останнього (під оптимальним розуміють екстремальне значення ефективного або ефективних значень характеристик проходження процесу для поведінки системи).

Такими вченими є: Абрамова Л.С., Врубель Ю.А., Гаврилов А.А., Горбачов П.Ф., Дзюба О.П., Єрсова В.І, Капітанова В.Т., Клінковштейна Г.І., Кременця Ю.А., Левашев А.Г., Лобанов Є.М., Лобашов О.О., Печерський М.П., Поліщук В.П., Прокудін Г.С., Пугачьов І.М., Рейцен Є.О., Сільянов В.В., Хабутдінов Р.А., Хомяк Я.В., Четверухін Б.М., Шелков Ю.Д., Шештокас В.В., Шраменко Н.Ю., Янішевський С.В., Billinge H., Drew D., Frank M., Haight F., Lighthill M., Marshall C., Whitham G., Wolfe P. та багатьох інших вчених.

Значенням рівня завантаження для багато смугових доріг, що мають кривизну $R \geq 800$ м, можна вважати 0,55 – 0,65.

На подальше чималий інтерес являє дослідження питання зміни характеру показників транспортного процесу від відносної величини рівня завантаження дороги (під відотною величиною рівня завантаження тут розуміють відношення інтенсивності руху на максимальне значення пропускної здатності дороги, яку можна досягти у взятій структурно-функціональній характеристиці транспортного потоку).

Після визначення критерію оптимальності функціонуючого транспортного потоку необхідно розробити шляхи його руху. Для цього потрібно варіювати інтенсивність дорожнього руху і пропускну здатність дороги таким чином, щоб завжди зберігалася оптимальне значення рівня завантаження дороги.

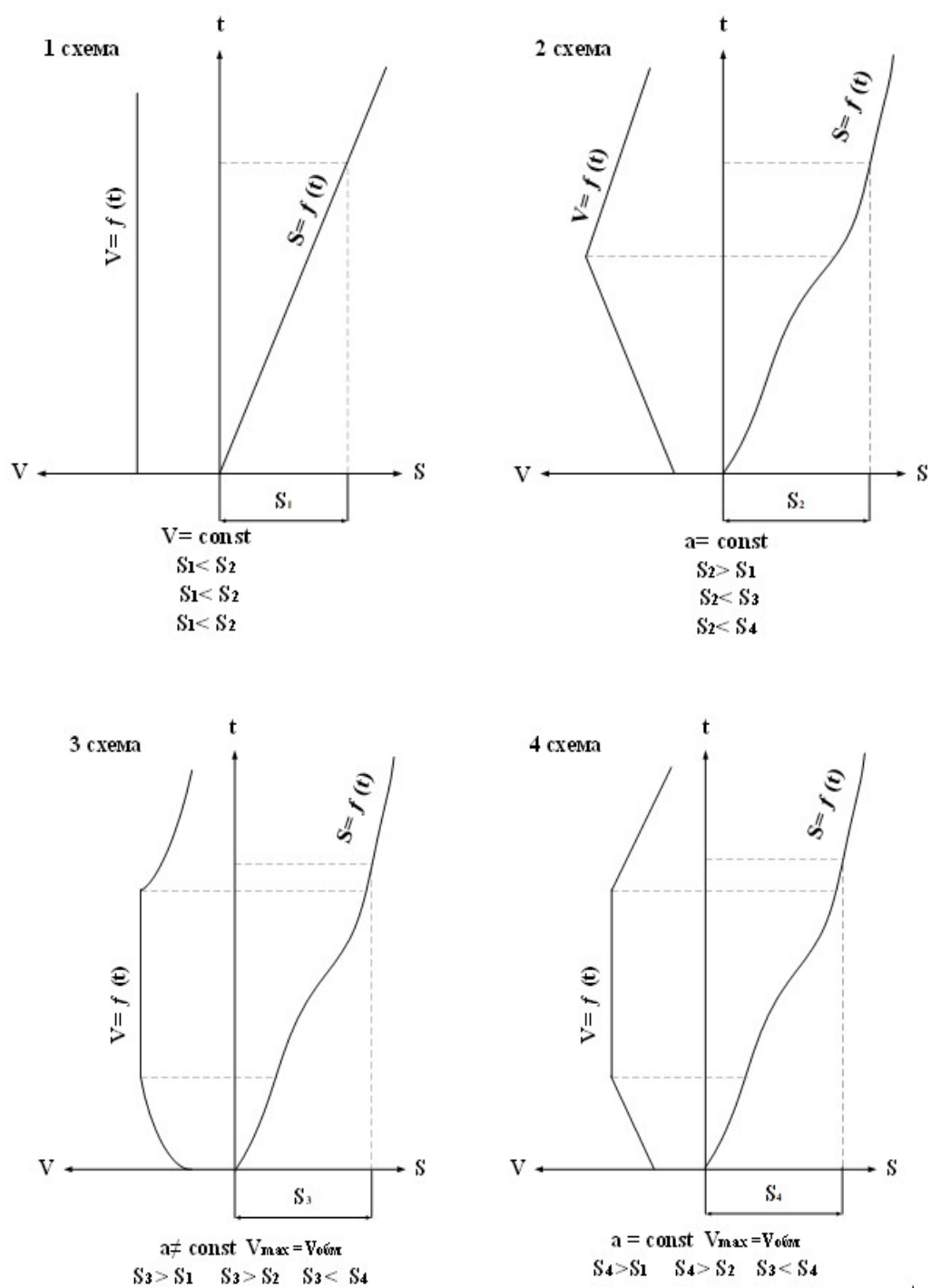
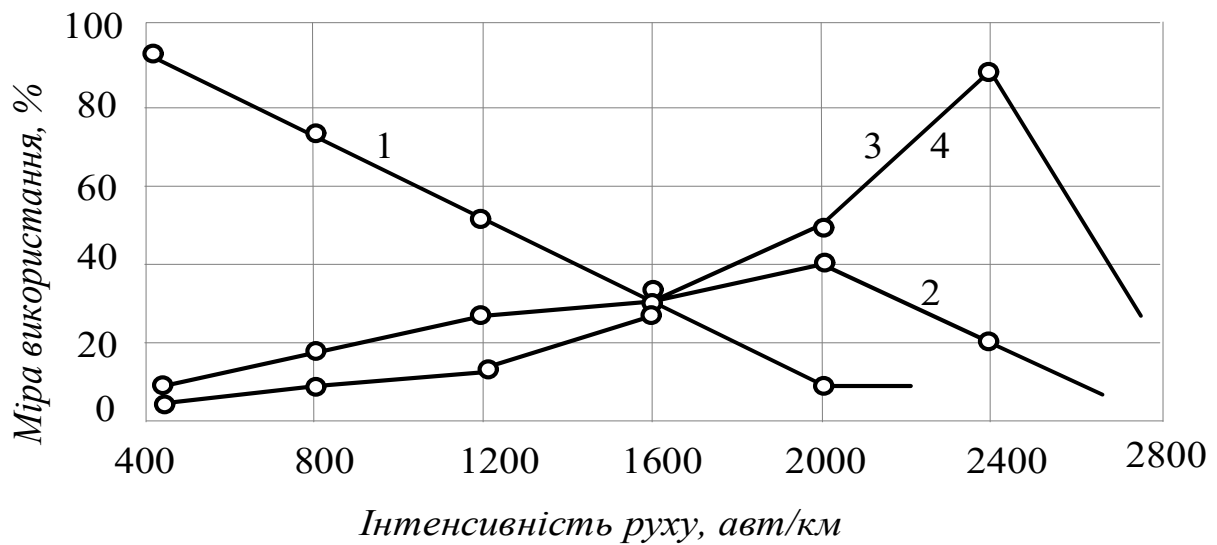


Рисунок 1.9 – Схеми зміни смуги руху автомобіля на чотирисмугових вулицях



(лінії 1, 2, 3, 4 відповідають схемам рис. 1.9)

Рисунок 1.10 – Зміна ступеню використання схеми зміни смуги руху в залежності від інтенсивності руху

Існуючі способи підвищення пропускної здатності методами поліпшення характеристик умов руху та впровадженням світлофорного регулювання не можуть служити в інтересах гнучкого варіювання у динаміці пропускної здатності дороги від інтенсивності руху на одній й тій самій ділянці. Для цієї мети необхідно провести спеціальне дослідження зміни пропускної здатності дороги від комунікаційності всередині потоку. Після рекомендованих оптимальних режимів і складу руху у різних дорожніх умовах можливе досягнення прийнятної пропускної здатності дороги за різних значень інтенсивності руху – і саме цим досягти оптимального значення рівня завантаження дороги [60].

1.5 Висновки до розділу

Аналіз вулично-дорожньої мережі міст України, яка є невід'ємним елементом транспортної системи держави, свідчить про гостроту проблем забезпечення безпеки дорожнього руху. Вирішення цієї проблем базується на

знанні закономірностей формування транспортних потоків на магістральній мережі, удосконаленні управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міста, а саме у місцях входу на магістраль та виходу з магістралі. У результаті аналізу існуючих методів управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі міста були встановлені сценарії виникнення заторів в потоці та доведено, що розповсюдження заторів так чи інакше пов'язано з динамічними властивостями транспортного потоку – швидкістю, щільністю, дорожніми умовами.

Встановлено, що існує велика кількість досліджень транспортних потоків, які ґрунтуються на визначенні дистанцій між автомобілями у потоці залежно від його складу, інтенсивності та швидкості. Більшість результатів цих досліджень використовується при проектуванні елементів доріг оцінюванні пропускної здатності тощо і менш при організації дорожнього руху.

Особливо великий вплив на швидкості руху чинять транспортні засоби, які рухаються повільно – великовантажні та великогабаритні. Через труднощі маневрування, а також складнощі виконання обгонів на 2-смугових дорогах великогабаритний транспорт збирає за собою велику групу автомобілів. При середніх значеннях інтенсивності руху (400 - 600 авт/год) кількість автомобілів в групі, що рухається за великогабаритним транспортним засобом, досягає значень у 2 – 3 рази більше, ніж в аналогічних групах, які створюються за вантажним автомобілем. У цьому випадку тривалість очікування можливості обгону збільшується майже у 2 рази, кількість автомобілів, що прагнуть обгону - у 2-3 рази, і при цьому кількість обгонів зменшується у 1,5 рази.

У зв'язку з цим виникають проблеми із забезпеченням безпеки дорожнього руху, які пов'язані із пропускною здатністю смуг руху.

Отже, метою дисертаційної роботи є удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі з використанням методів теорії масового обслуговування.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У СИСТЕМІ «ПЕРЕГІН»

2.1 Моделі транспортного потоку

Найважливішими умовами ефективного використання моделі є перевірка її на адекватність та достовірність вихідних даних.

Моделювання дає змогу завчасно визначати вплив заходів з регулювання руху на існуючій ВДМ без створення завад водіям, внесення змін в конструкцію дороги, збільшення інтенсивності руху, а також передбачати місця можливих перевантажень [61].

У роботі [62] вказується, що моделювання дає змогу точніше зрозуміти поведінку об'єкта з меншими апроксимаціями, ніж математичні моделі, та забезпечує менші обсяги проведення досліджень та прогнозування поведінки системи за значних змін у початкових концепціях. Вказується, що для першого наближення доцільно використовувати математичні моделі, а для уточнення характеристик -нематематичні методи, зокрема, імітаційне моделювання.

У роботі [63] стверджується, що математичні залежності мають в основі спрощені підходи, що вказує на неточність результатів дослідження, а найточніші результати дадуть розрахунки, за яких моделюється рух кожного ТЗ. В іншій роботі [64] підкреслюється, що підвищення якості програмного забезпечення для АСКДР шляхом налаштування керуючих параметрів можна досягти імітаційним моделюванням роботи системи координування руху на магістралях.

Тобто, моделюванням можна розв'язати такі задачі:

- задачі, пов'язані з роботою ВДМ в цілому;
- задачі локального характеру (робота окремих перехресть);
- задачі аналізу роботи певного виду транспорту.

Імітаційне моделювання дорожнього руху дозволяє:

- аналізувати існуючі ТП;
- моделювати прогнозовані ТП;
- аналізувати і планувати інфраструктуру громадського транспорту;
- аналізувати і прогнозувати транспортні затори;
- вибирати оптимальну схему ОДР на перехресті;
- оптимізувати роботу світлофорного об'єкту (СО).

Найважливішим етапом при моделюванні транспортної системи на ПК є створення моделі. Роль ПК є в тому, що він реалізує розв'язування моделі, а програмування є засобом спілкування між дослідником та ПК. Проте ні модель, ні програма не є кінцевою метою, а лише є засобом розв'язування складної задачі, пов'язаної з функціонуванням існуючої транспортної системи або проектуванням майбутньої.

Для створення імітаційних моделей роботи вулично-дорожньої мережі використовуються різні підходи та концепції.

У роботі [65] запропоновано концепцію створення імітаційної моделі руху автомобілів на основі візуального моделювання. Характеристикою запропонованої моделі є те, що модель формується автоматично для тієї ділянки, що відображається на дисплеї. В кінці такої ділянки може бути перешкода: світлофор, знак, перехід, перехрестя, в нашому випадку ДТП.

Основним недоліком наведених робіт є те, що всі вони є концептуальними. В жодній з них не проведено дослідження моделі реальної ділянки дороги для перевірки адекватності моделі. Тому є потреба в розробленні такої моделі, яку можна перевірити на практиці і в подальшому використовувати для дослідження роботи магістральної вулично-дорожньої мережі та удосконалення управління дорожнім рухом на ній.

Імітаційне моделювання використовується не лише для дослідження роботи магістральної вулично-дорожньої мережі міст. Наприклад, в роботі [59] імітаційне моделювання використовується для дослідження координованого керування ТП у містах, а в роботі [66] -для моделювання поведінки пішоходів.

Попередником імітаційного моделювання вважається метод Монте-Карло, основною ідеєю якого є використання вибірки випадкових чисел для отримання імовірнісних чи детермінованих оцінок певної величини. Основною відмінністю між сучасними методами імітації і методом Монте-Карло є те, що в останньому час не є обов'язковим чинником [61, 67, 68].

Існують два типи імітаційних моделей: безперервні та дискретні. Безперервні моделі використовуються для систем, поведінка яких змінюється неперервно в часі. Такі імітаційні моделі подають зазвичай у вигляді рівнянь, які описують взаємодію між різними елементами системи, наприклад, у дослідженні динаміки населення світу.

Дискретні моделі використовуються для дослідження систем, поведінка яких змінюється лише в задані моменти часу. Типовим прикладом такої моделі є черга. При цьому задачею моделювання є оцінка характеристик системи обслуговування (наприклад, середній час очікування, середня довжина черги). Такі характеристики системи обслуговування змінюють свої значення або в момент появи клієнта, або при завершенні обслуговування. В інших випадках з точки зору імітаційного моделювання в системі нічого не відбувається.

Всі імітаційні моделі з дискретними подіями (рис. 2.1) прямо або опосередковано описують ситуації з чергою, в яку клієнти прибувають, за потреби очікують в ній, проходять обслуговування та покидають її. Після виконання всіх дій, пов'язаних з поточною подією, імітаційна модель «перестрибує» до іншої події, яка є безпосередньо за нею. По суті, імітація виникає в ті моменти, коли відбуваються події [68].

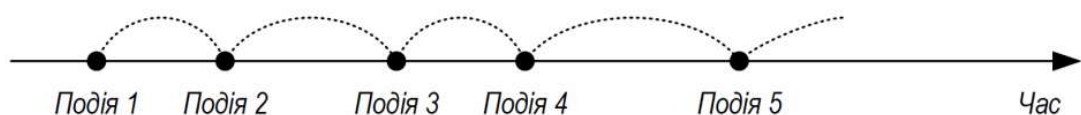


Рисунок 2.1 – Події на шкалі часу

Існує два основних принципи побудови алгоритмів моделювання, що використовують безперервно-стохастичну модель [68,69]:

- принцип Δt (алгоритм з детермінованим кроком; для побудови моделі необхідно визначити мінімальний інтервал часу між сусідніми подіями у вхідних потоках і прийняти, що крок моделювання $\Delta t = \text{const}$);

- принцип δz (алгоритм з випадковим кроком; дії над елементами системи відбуваються лише в моменти особливих станів, наприклад, в моменти появи заявок або в моменти зміни станів каналів обслуговування; тривалість кроку залежить від особливостей системи та від впливу зовнішнього середовища, тобто $\delta z = \text{var}$).

Алгоритм з детермінованим кроком доцільніше використовувати, якщо події з'являються регулярно і розподілені в часі рівномірно, а також якщо протягом циклу моделювання з'являється багато подій, а математичне очікування тривалості подій мале [69].

Застосування алгоритму з випадковим кроком дає змогу скоротити тривалість імітування для систем, в яких події можуть не виникати протягом значного часу. Він може ефективно застосовуватись за нерівномірного розподілу подій у часі та за значного математичного очікування тривалості події. Крім цього, у випадку застосування цього алгоритму не потрібно визначати величину кроку моделювання [69].

Випадковість в імітаційних моделях виникає тоді, коли інтервал між послідовними подіями є випадковим. Для отримання послідовності випадкових значень, що мають заданий розподіл імовірності $f(x)$, використовують різні методи [68]. Всі вони базуються на використанні незалежних однаково розподілених випадкових чисел, що мають рівномірний розподіл на інтервалі [59 – 60]. В імітаційному моделюванні методом генерування випадкових чисел з інтервалу [59 – 60] є мультиплікативний метод, що базується на арифметичних операціях [68 – 72].

Імітація є випадковим експериментом, тому будь-який результат, отриманий методом імітаційного моделювання, може містити похибку.

Основними етапами моделювання будь-якої системи, є [61, 68]:

- 1) конкретне формулювання задачі в знайомих термінах та символах із зазначенням необхідних обмежень;
- 2) побудова моделі, що включає формулювання припущень, вибір критеріїв оптимізації та вибір робочої процедури;
- 3) побудова блок-схеми, яка встановлює функціональне співвідношення між елементами системи, що моделюється;
- 4) визначення вхідних параметрів для програми;
- 5) підготовка програми для обчислювальної машини;
- 6) проведення експериментальних перевірок програми, включаючи планування експерименту з метою визначення кількості дослідів та значень параметрів, які використовуються, а також задавання довірчих інтервалів;
- 7) оцінювання ефективності та перевірка системи, яка моделюється.

Імітаційне моделювання є потужним інструментом дослідження поведінки реальних систем. Методи імітаційного моделювання дозволяють зібрати необхідну інформацію про поведінку системи шляхом створення її комп'ютерної моделі. Ця інформація використовується для проектування системи. Імітаційне моделювання не розв'язує задач оптимізації, але є інструментом оцінювання значень функціональних характеристик системи, що моделюється [68]. Сучасне імітаційне моделювання застосовується в основному для дослідження ситуацій та систем, які можна описати як системи масового обслуговування. При розробленні нашої імітаційної моделі ми враховуємо, що транспортний потік має широкий спектр характеристик і носить стохастичний характер. Тому виникає одне із найважливіших завдань у ході оцінки транспортного потоку. Цим завданням є встановлення взаємозв'язку між основними параметрами транспортного потоку, якими є швидкість, інтенсивність, щільність.

Слід зазначити, що процес управління вимагає наявності мети, на

досягнення якої спрямоване функціонування системи управління. При цьому якість функціонування або критерій ефективності системи управління слід розуміти як ступінь її пристосованості до виконання задачі, що стоїть перед нею [21, 13]. У найзагальнішому вигляді мета управління зводиться до підтримки на кінцевому часовому інтервалі мінімуму (максимуму) деякого функціонала M :

$$M(x, u) \rightarrow \min (\max),$$

де x -вектор стану керованого об'єкту; u -вектор відповідних управляючих дій.

Якщо ми обговорюємо питання досягнення якнайкращого значення даної функції (тобто можливість), тоді від управління дорожнім рухом вимагається, принаймні, забезпечити ефективне функціонування дорожнього руху (у значенні максимізації інтенсивності руху) та його безпеку.

З недавнього часу як особливо важливі стали розглядати також наступні чотири функції: попередження забруднення навколишнього середовища і надмірного рівня шуму, створюваного дорожнім рухом; мінімізація споживання енергії при русі автомобіля; попередження виникнення і розповсюдження транспортних безладів, викликаних заторами або дорожньо-транспортними подіями; попередження повного транспортного хаосу. В АСУР ця процедура (на відміну від систем обробки даних) обов'язково автоматизується. З цією метою вибирається критерій оптимальності й застосовуються спеціальні економіко-математичні методи підготовки рішень відповідно до заданого критерію та обмежень. У системі управління рухом всі функції поділені на три рівні:

- рівень I (локальне управління): виявлення складних ситуацій і, у разі їх появи, зміна управління; перехід на локальне управління у разі несправності зв'язку з ЕОМ;

- рівень II (координоване управління): управління локальне ізольоване або в системі; управління локальне координоване або в системі; зміна плану управління; контроль роботи датчиків; управління складними пересіченнями;

- рівень III (централізоване управління): виконання оперативного плану

управління; зміна планів; перетворення даних від датчиків; управління залежно від складних ситуацій; синхронізація передачі даних; контроль і сигналізація пошкоджень; формування параметрів процесу дорожнього руху; рапорти і повідомлення про стан спостережуваного процесу.

Об'єктом управління у вказаних системах є транспортний потік. Управління складною динамічною системою, що піддається дії мінливого зовнішнього середовища, зв'язане з необхідністю залучення величезних об'ємів інформації.

Ієрархія управляючої системи ставиться у відповідність ієрархії цілей.

На автомобільних дорогах проведена класифікація типових елементів управління рухом [21], яка покладена в основу розробки принципів управління на автомобільній дорозі:

1) значні пересічення і примикання на різних рівнях, на яких можлива зміна траєкторії руху основного потоку (тобто управління зміною об'єму руху по основному напрямку при розподілі інтенсивності руху і регулюванні в'їзду на основну дорогу);

2) значні пересічення і примикання на одному рівні, на яких можлива зміна траєкторії руху основного потоку (тобто управління зміною об'єму руху при розподілі інтенсивності руху і регулюванні в'їзду на основну дорогу та її пересіченні);

3) перегони між значними пересіченнями, на яких можливе регулювання швидкостей та інтенсивності руху, у тому числі, і за погодних умов;

4) перегони в населених пунктах, на яких можливе регулювання в'їзду на основну дорогу і швидкостей руху, а також пішохідного руху за допомогою світлофорної сигналізації;

5) перехрестя, на яких можливий тільки в'їзд і з'їзд з основної дороги (тобто регулювання в'їзду по вливанню у потік на основній дорозі та швидкостей руху);

6) пересічення із залізницею на одному рівні, на якому можливе управління

проїзду за допомогою світлофорної сигналізації;

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

8) місця відпочинку і видові майданчики, на яких можливе управління виїздом автомобілів на основну дорогу;

9) місця інтенсивного пішохідного руху, на яких можливе регулювання переходу основної дороги на одному рівні за допомогою спеціальної світлофорної сигналізації.

Приведена класифікація типових елементів управління рухом дозволяє сформулювати способи управління на кожному елементі.

Проте транспортний потік, що рухається дорогою, як об'єкт управління, несе в собі ще й таку додаткову інформацію, як перевищення встановленого обмеження швидкості руху, виникнення дорожньо-транспортних подій, рівень шуму і загазованості повітряного басейну. У цих місцях виробляється додаткова установка засобів збору інформації і засобів відображення управляючих дій.

Стратегія управління рухом на автомобільній дорозі побудована на принципі «критична ситуація – рішення». Під «критичною ситуацією» слід розуміти умови руху (як на самій дорозі, так і на паралельних маршрутах), що склалися, різко відмінних від ординарних, вимагаючи зміни цих умов відповідно до критеріїв оптимальності: наявність інтенсивності, близької до пропускнуєї спроможності, наявність недостатньої видимості на дорозі, наявність вологого покриття, наявність ожеледі на дорозі, наявність дорожньо-транспортної події, проведення дорожньо-ремонтних робіт, необхідність пропуску спеціальних автомобілів і колон, порушення швидкісних режимів на ділянках контролю швидкості руху, «ударна хвиля», перевищення рівня загазованості повітряного басейну, перевищення рівня шуму в населених пунктах, наявність в системі несправної апаратури. Наявність на автомобільній дорозі кожної з «критичних ситуацій» фіксується або за допомогою технічних засобів збору і передачі інформації про дорожній рух, або за допомогою спеціальних повідомлень в

центр управління, а також фіксується системою контролю справності апаратури. У кожному конкретному випадку виникнення «критичної ситуації» у підсистемі математичного забезпечення ухвалюється рішення, яке реалізується шляхом подачі команд на засоби відображення управляючих дій на дорозі. При цьому необхідно ввести пріоритет у рішення тієї або іншої «критичної ситуації» при одночасному виникненні декількох. Тому всі «критичні ситуації» розділені, перш за все, по групах: I група -обмежуючі швидкість руху на магістралі, II група -обмежуючі надходження автомобілів на магістралі, III група -що безпосередньо не впливають на транспортний потік.

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

Відповідно до існуючих розробок на значних типових елементах «перегін між значними пересіченнями на різних рівнях», «перегін між значними пересіченнями на одному рівні» та «перегін між населеними пунктами» виконуються такі управляючі впливи: обмеження швидкості руху при перенасиченості потоку; обмеження швидкості руху через погодно-кліматичні умови; обмеження в'їзду на основну магістраль. При ординарному режимі руху транспортного потоку проводиться рекомендація величини швидкості руху для всієї ширини проїзної частини. [73-85]. Проте при високих інтенсивностях руху та при наявності у складі транспортного потоку вантажних, великовантажних та великогабаритних транспортних засобів виникає задача розділеного управління режимом руху цих транспортних засобів.

Тому, нами розроблено математичні моделі руху транспортних потоків на елементах системи «Перегін» для забезпечення безпеки дорожнього руху і мінімізації витрат часу для виконання маневрів. Одержано закономірності руху транспортного потоку на перегоні магістралі на основі розробки алгоритмів його гомогенізації за складом.

Відповідно, мають місце такі варіанти організації руху на перегоні з різною кількістю смуг і різним складом транспортного потоку:

1. При кількості вантажних, великовантажних та великогабаритних транспортних засобів:

$$N_{\text{в}} + N_{\text{вв}} + N_{\text{вг}} \leq 0,1N_{\text{пер}}, \quad (2.1)$$

де $N_{\text{в}}$, $N_{\text{вв}}$, $N_{\text{вг}}$ – відповідно інтенсивності руху вантажних, великовантажних та великогабаритних транспортних засобів;

$N_{\text{пер}}$ – інтенсивність руху на перегоні в одному напрямку.

При цьому рух відбувається вільно всіма смугами проїзної частини (рис. 2.2) при взаємодії цих потоків між собою (випередження, обгони, зміна смуги руху).

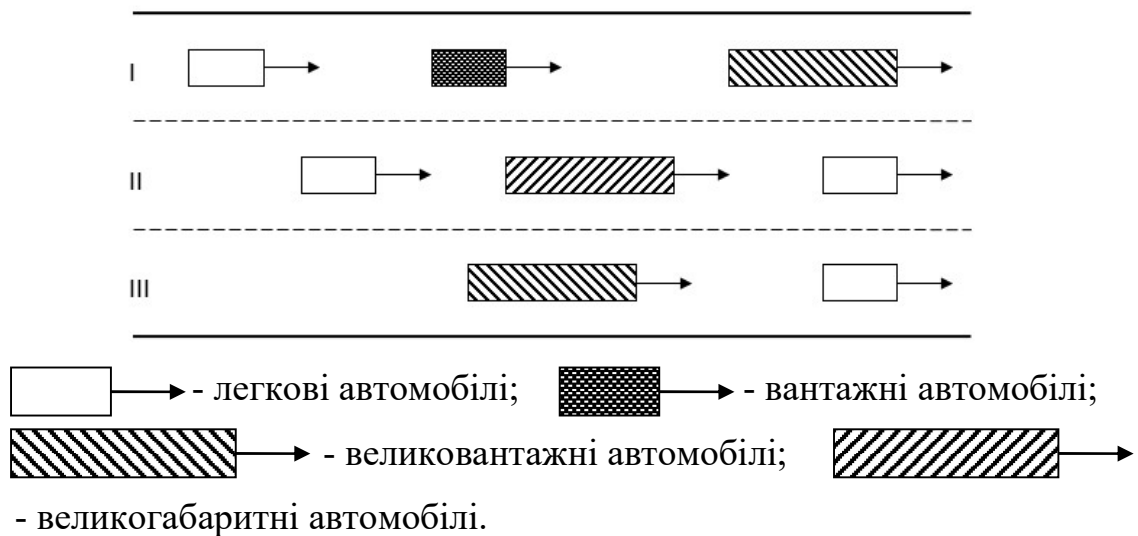


Рисунок 2.2 – Рух транспортних потоків по всій ширині проїзної частини

У цьому випадку необхідно проаналізувати: основну діаграму транспортного потоку даного напрямку; розподіл інтервалів слідування у потоці; розподіл швидкостей руху і середньої швидкості руху транспортного потоку; мінімальні інтервали слідування пари різнотипних транспортних засобів, а також умови входу на перегін.

$$2. \text{ При } N_{\text{г}} + N_{\text{вв}} + N_{\text{вз}} \leq (0,11 - 0,50)N_{\text{пер}}, \quad (2.2)$$

необхідно виділити смугу руху для вантажних, великовантажних та великогабаритних транспортних засобів з метою підвищення максимальної інтенсивності руху на смугах (рис.2.3).

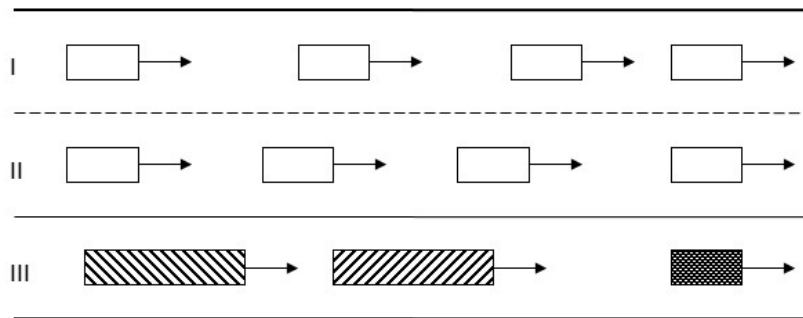


Рисунок 2.3 – Рух транспортних потоків при виділенні смуги руху для вантажних, великовантажних та великогабаритних транспортних засобів

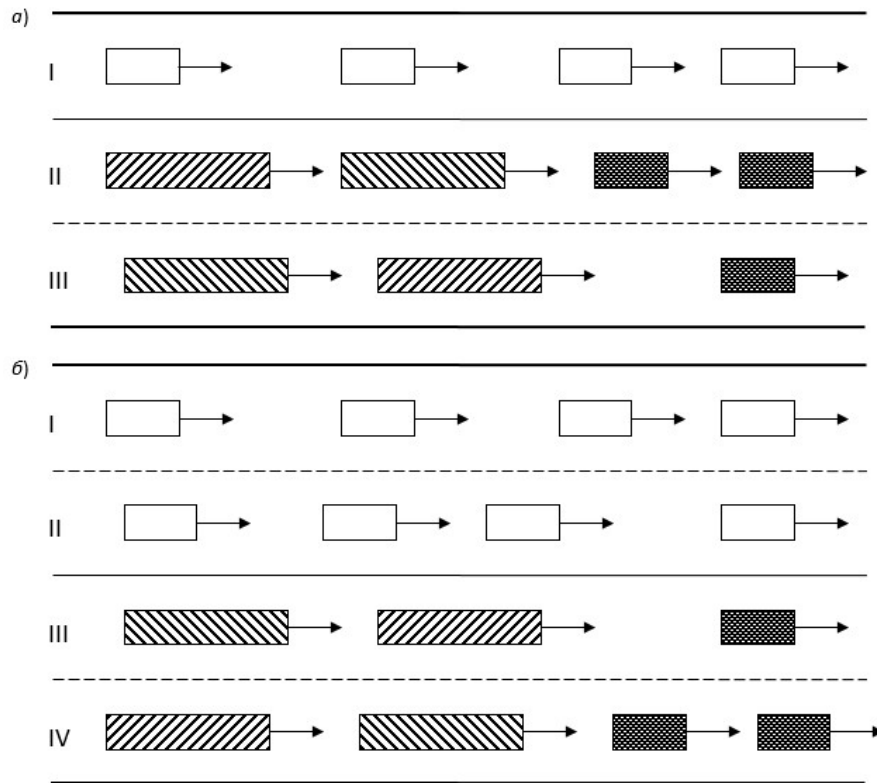
При досягненні гомогенності транспортних потоків на всіх смугах руху за складом потоку покращуються умови руху і, в першу чергу, -безпека руху. При цьому виділеною смугою можуть рухатися лише вантажні, великовантажні та великогабаритні транспортні засоби.

$$3. \text{ При } N_{\text{г}} + N_{\text{вв}} + N_{\text{вз}} \leq (0,51 - 0,80)N_{\text{пер}}, \quad (2.3)$$

необхідно виділити мінімум одну смугу руху для легкових транспортних засобів з метою гомогенності транспортних потоків на смугах за складом потоку і підвищення максимальної інтенсивності руху на них та покращення умов руху ними (рис. 2.4).

У такому випадку слід проаналізувати: основні діаграми транспортного потоку на смугах з гомогенним рухом за складом потоку; розподіл інтервалів слідування в потоках на цих смугах; розподіл швидкостей руху на цих смугах та

середніх швидкостей руху транспортного потоку на них; мінімальні інтервали слідування пари однотипних транспортних засобів, а також умови входу на перегін та виходу з нього.



а – при трьох смугах руху в одному напрямку;

б – при чотирьох смугах руху в одному напрямку

Рисунок 2.4 – Рух транспортних потоків при виділенні смуг руху для різнотипних транспортних засобів

У такому випадку слід проаналізувати: основні діаграми транспортного потоку на смугах з гомогенним рухом за складом потоку; розподіл інтервалів слідування в потоках на цих смугах; розподіл швидкостей руху на цих смугах та середніх швидкостей руху транспортного потоку на них; мінімальні інтервали слідування пари однотипних транспортних засобів, а також умови входу на перегін та виходу з нього.

$$4. \text{ При } N_{\text{г}} + N_{\text{вг}} + N_{\text{вз}} \leq (0,81 - 1,0) N_{\text{пер}}. \quad (2.4)$$

Виділення смуг не відбувається, оскільки транспортний потік гомогенний

за складом, а перелік характеристик, що аналізуються, аналогічний випадку 1, але управління транспортним потоком відбувається за характеристиками випадку 4.

Для математичного моделювання процесу з удосконалення управління дорожнім рухом, потрібно використовувати залежності транспортних потоків та методи теорії масового обслуговування.

Основна діаграма транспортного потоку відображає зміну однорідного транспортного потоку (рис. 2.5).

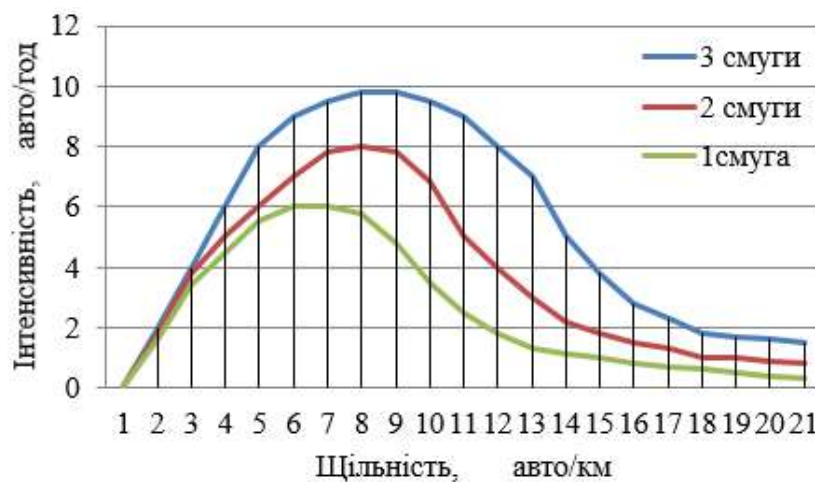


Рисунок 2.5 – Залежність інтенсивності – щільності

Залежність «Щільність – інтенсивність» є однією з головних, друга назва цієї залежності – «Основна діаграма транспортного потоку». На основі цієї залежності знаходять по даних одного параметра – два інші. Наприклад: за даними інтенсивності руху, на основі діаграми, знаходять значення щільності та по значенню tga - швидкість транспортного потоку.

Основна діаграма, як правило визначалась як на основі експериментальних даних, так і на основі слідування за лідером, та гідродинамічної моделі.

2.2 Формування умов руху транспортних потоків

Неоднорідність режимів руху на автомагістралях обумовлює певні труднощі у визначенні заходів в організації руху та в методах управління рухом,

що вимагає вивчення характеристик дорожнього руху та з'ясування існуючих закономірностей, які могли бути основою для прийняття відповідних рішень.

Проведені дослідження інтенсивності і складу руху транспортних потоків на підходах до значних та найзначніших міст, їх швидкісні структури та закономірності розподілу по ширині проїзної частини [61] показали, що вплив рівнобіжних потоків починається при інтенсивності руху 500 авт./год на чотирисмугових та 800 авт./год на шестисмугових магістралях. Розподіл транспортних потоків по смугах:

Для чотирисмугових магістралей:

$$N_I = 0,7 N_3 - 0,0001 \cdot N_3^2$$

$$N_{II} = 0,14 N_3 - 29,944$$

Для шестисмугових магістралей:

$$N_I = 0,604 N_3 - 0,0001 \cdot N_3^2$$

$$N_{II} = 0,379 N_3 - 7,61$$

$$N_{III} = 0,1 N_3 - 2,584$$

де N_3 – загальна інтенсивність руху в одному напрямку;

N_I, N_{II}, N_{III} – інтенсивності руху відповідно на I, II та III смугах.

Дослідження показали, що ліву смугу руху використовує легковий транспорт, праву – вантажні, великогабаритні та великовантажні транспортні засоби, середню – всі види транспортних засобів, таким чином відбувається стихійний розподіл руху смугами, при цьому виникає велика кількість маневрів обгону та випередження з необхідністю визначення стратегії й тактики керування транспортним засобом.

Маневр по ходу -це основна зміна режимів руху. Коливання прискорення, від якого залежить як безпека руху, так і інші показники транспортного процесу. Маневр у плані -це будь-яке переміщення автомобілів на дорозі, що пов'язане із зміною курсу руху автомобіля від подовжньої вісі дороги. Важливими елементами при цьому є: необхідність виконання маневру, частота здійснення маневру, вид і складність виконання маневру, час і середня швидкість виконання

маневру, розмах коливань швидкості та прискорення при виконанні маневру.

Враховуючи вищезгадані показники, можна представити три категорії комунікаційності у транспортному потоці [62]: першого рангу -максимум необхідності здійснення маневру і мінімум збурення при виконання маневру; другого рангу -менша необхідність здійснення маневру зі значним збуренням у транспортному потоці, третього рангу -немає необхідності здійснення маневру - результат: максимальне збурення попутних та зустрічних транспортних засобів.

Аналіз одержаних результатів показав, що найбільш оптимальним варіантом, з точки зору забезпечення максимальної безпеки руху і виживання ефективності дорожнього руху є: *установлення однаково тривало-усталених або нетривало-усталених режимів руху на всіх смугах дороги* [62].

Рух автомобільного транспорту по дорозі являє собою випадковий процес, якому притаманні різні імовірності характеристики. У зв'язку з цим потік транспортних засобів можна охарактеризувати на основі положень теорії імовірностей.

Проте така інтерпретація транспортного потоку не завжди дає повну картину руху або опис системи « транспортний потік -автомобільна дорога» (як частковий елемент системи «Дорожні умови -транспортні потоки» [1]), оскільки сама дорога, її геометричні елементи, накладають ті або інші умови на рух автомобільного транспорту. Для опису системи «транспортний потік – автомобільна дорога», на нашу думку, доцільніше використати методи теорії масового обслуговування. Будь-яка система масового обслуговування характеризується двома елементами: наявністю потоку вимог і апаратом обслуговування [63]. Потрібно визначити ці елементи у нашій системі.

Потоком вимог є рух транспортних засобів – потік автомобільного транспорту, що рухається автомобільною дорогою, а апаратом обслуговування - поперечний переріз автомобільної дороги (рис.2.10). При цьому всю автомобільну дорогу або окрему її ділянку можна уявити у вигляді набору безкінечно малих відрізків або набору поперечних перерізів дороги. В результаті

такого припущення можна прийти до висновку, що уся дорога є апаратом обслуговування для транспортного потоку, що рухається нею.

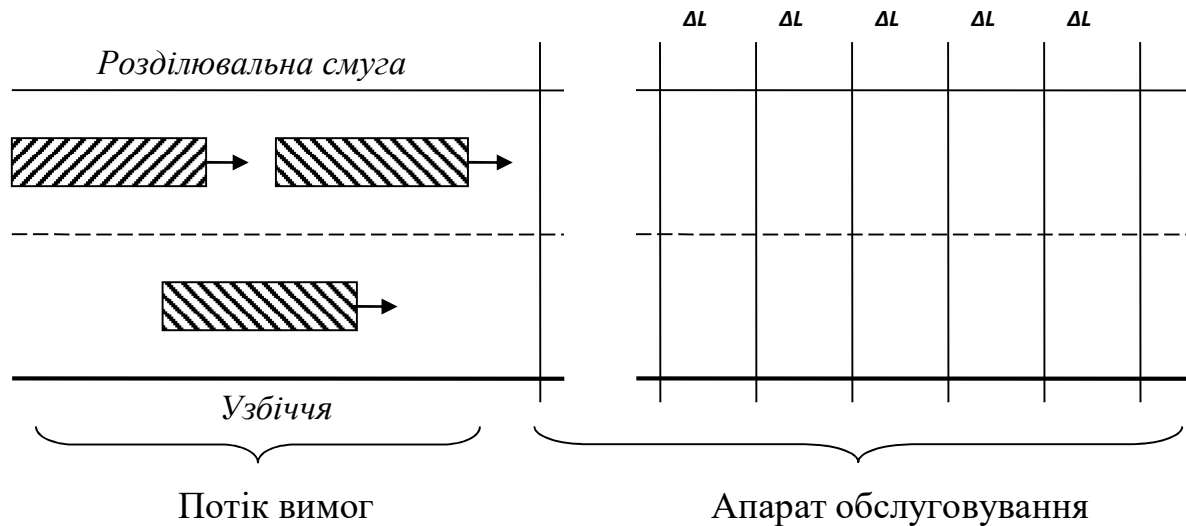


Рисунок 2.10 – Основні елементи системи

Це твердження вірне іще і тому, що будь-який апарат обслуговування, що має ті чи інші характеристики, у процесі обслуговування вимог накладає відбиток на потік, що входить на обслуговування, у вигляді характеристик потоку, що виходить після обслуговування.

Наведемо характеристики процесу масового обслуговування:

– тривалість обслуговування або проміжок часу, що витрачається на обслуговування окремої вимоги:

$$t_i = \frac{L_i}{V_i}, \quad (2.7)$$

де t_i – час, протягом якого автомобіль пройде шлях, що дорівнює величині динамічного габариту;

L_i – величина динамічного габариту i -го автомобіля;

V_i – швидкість автомобіля.

Тривалості обслуговування різних вимог (автомобілів) є незалежними

випадковими величинами, що характеризуються деяким розподілом, який будемо називати розподілом тривалості обслуговування:

- пропускна здатність системи – максимальна кількість вимог (автомобілів), яка може обслуговуватися одночасно;
- доступність або зазначення, коли засоби обслуговування (поперечний переріз дороги) є доступними, а також визначення обмежень, що знижують кількість вимог (автомобілів), які можуть обслуговуватися одночасно у порівнянні з повною пропускною здатністю системи.

Наступні характеристики процесу масового обслуговування є, у якійсь мірі функцією вказаних характеристик, які повинні бути заданими:

- дисципліна обслуговування -це порядок вибору вимог (автомобілів) для обслуговування з сукупності вимог, що вже надійшли і знаходяться у черзі;
- коефіцієнт використання системи ψ , що характеризує роботу всієї системи:

$$\psi = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (2.8)$$

де λ – параметр потоку вимог (автомобілів), т.т. інтенсивність руху на одній смузі руху проїзної частини;

μ – параметр обслуговування або кількість вимог (автомобілів), яка обслуговується в заданий час T при умові, що обслуговування не переривається, тобто при застосуванні до руху автомобілів дорогою, - це пропускна здатність однієї смуги руху проїзної частини.

В організації дорожнього руху цей коефіцієнт має аналог як рівень завантаження дороги рухом [12].

Час, протягом якого i -й автомобіль з часом обслуговування вимушений чекати вивільнення поперечного перерізу дороги від динамічного габариту автомобіля, що передував йому, позначимо:

$$\bar{t}_f = \frac{\gamma}{\lambda}, \quad (2.9)$$

де $\bar{\gamma}$ – середня кількість автомобілів у черзі на обслуговування.

Кількість комбінацій потоку, що входить така велика, що можливо лише якісно описати у загальних рисах найбільш важливі математичні методи і навести точні результати кількісної оцінки для кількох найбільш розповсюджених ситуацій. На самому ділі математичні рішення доступні лише для відносно простих ситуацій. Корисно установити істинне місце математичної сторони предмету при практичному дослідженні систем з чергою.

Звичайно теоретично можна вказати велику кількість способів модифікації системи. На даному етапі визначаються ті типи видозмінення, які, з одного боку, здійснимі і, з другого боку, з достатньою імовірністю приведуть до збільшення ефективності, тт. намічаються основні напрямку детального дослідження. Часто стає ефективним поєднання моделювання з математичним аналізом, причому моделювання використовується, наприклад, для перевірки припущень, що зроблені при математичному аналізі.

Для характеристики потоку вимог (транспортного потоку, що проходить, який-небудь поперечний переріз дороги) недостатньо вказати, що вимоги (автомобілі) поступають випадково. Необхідно мати у своєму розпорядженні статистичний опис цього процесу і вивести закон розподілу імовірності. Розглянемо послідовність однакових подій E , що настають в часі одне за одним (рух автомобілів по дорозі). Хай, починаючи з деякого початкового моменту $t = 0$ і до моменту t , відбулося n подій. Оскільки n є випадковою величиною, приписуємо їй деяку імовірність, припустимо $p_n(t)$. Зробимо наступні припущення:

1) імовірність $p_n(t)$ залежить тільки від проміжку часу але не залежить від початкового моменту. Дійсно, проходження автомобілів через довільно узятий поперечний переріз не залежить від того, коли почалися спостереження. У цьому випадку говорять, що потік є однорідним у часі або стаціонарним;

2) приймаємо, що дві події ніколи не відбуваються в один і той самий момент або імовірність такої події дуже мала. Наприклад, два автомобілі ніколи

не їдуть точно впритул, а при розгляді однорядного транспортного потоку дане явище є виключенням;

3) якщо розглядати дуже малий проміжок часу Δt , вибраний у будь-який момент, імовірність того, що хоч би одна подія відбудеться протягом цього інтервалу часу, дорівнює $\lambda \Delta t$. Величина λ називається середньою щільністю надходження вимог або параметром потоку та дорівнює:

$$\frac{N}{3600},$$

де N – інтенсивність руху, авт./год

Можна довести, що імовірність $p_n(t)$ виражається формулою:

$$p_n(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}, \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (2.10)$$

де e – підстава натурального логарифма.

Розподіл імовірності вигляду:

$$f(a) = \frac{a^n e^{-a}}{n!}$$

називається законом Пуассона. Для закону Пуассона середнє або математичне очікування дорівнює:

$$\bar{n} = 0p_0 + 1p_1 + 2p_2 + 3p_3 + \dots + np_n + \dots = a = \lambda t \quad (2.11)$$

у точності дорівнює середньому числу подій E , що спостерігаються в інтервалі t , а стандартне відхилення дорівнює:

$$\sigma_n = \sqrt{a} = \sqrt{\lambda t}. \quad (2.12)$$

Закон розподілу імовірності інтервалів часу ϑ між двома послідовними подіями (між двома рухомими автомобілями), що підкоряються закону Пуассона, також має велике значення. Імовірність того, що дві події розділені інтервалом часу ϑ , більшим заданого ϑ , дорівнює:

$$P(\vartheta > \theta) = e^{-\lambda\theta}. \quad (2.13)$$

Середнє значення і стандартне відхилення величини ϑ дорівнюють:

$$\bar{\vartheta} = 1/\lambda, \quad (2.14)$$

$$\sigma_{\vartheta} = 1/\lambda. \quad (2.15)$$

Таким чином, якщо стохастичний процес (рух автомобілів у транспортному потоці) слідує закону Пуассона з параметром λ , то інтервали між автомобілями слідує експоненціальному закону з тим же параметром λ .

Проте, для стаціонарних потоків складнішої структури рівність середнього або математичного очікування a і параметра потоку не тільки не очевидно, але й не завжди вірно. Переконаємося, що для будь-якого стаціонарного потоку $a \geq \lambda$. Математичне очікування числа надходжень автомобілів за час t для даного потоку дорівнює:

$$at = \sum_{n=1}^{\infty} np_n(t) \geq \sum_{n=1}^{\infty} p_n(t) = 1 - p_0(t) \quad (2.16)$$

$a \geq \frac{1 - p_0(t)}{t}$, а оскільки ліва частина цієї нерівності від t не залежить, то в силу

того, що $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1 - p_0(t)}{t} = \lambda$, $a \geq \lambda$, зрозуміло, саме існування межі для будь-якого

стаціонарного потоку ще повинно бути доведено.

Все вищесказане відноситься до транспортного потоку, що рухається зовнішньою смугою проїзної частини основної дороги. Такий математичний опис транспортного потоку на прямій дорозі вже відомий в літературі [1, 12, 33, 37, 38, 39, 44, 46, 48, 52, 54, 56] (якщо потік є стаціонарним ординарним без післядії, то він обов'язково описується розподілом Пуассона).

Отже, ця модель дозволяє визначити місця на магістральній вулично-дорожній мережі, де можуть виникнути затори. Вирішення задач визначення оптимального маршруту здійснюється в залежності від завантаження транспортними засобами вулично-дорожньої мережі. Оптимальний маршрут характеризується рухом транспортних засобів з об'їздом місць, де можуть

утворитися затори. Тому, для виконання подальшого дослідження, необхідно приділити увагу закономірностям утворення заторів на магістральній вулично-дорожній мережі міст.

2.3 Моделювання руху транспортних потоків

Згідно з [1, 8, 9, 33, 37, 45] при управлінні процесом руху автомобілів можна створювати транспортні потоки, що по-різному впливають на навколишнє середовище, отже врахувати принципи безпеки та «загальної відповідальності».

Рівень результативних показників роботи транспортних засобів (середня швидкість руху, добова продуктивність) формується у залежності від якісного стану транспортного потоку, режимів і умов руху, рухомого складу.

Зв'язаний рух характеризується також незручностями для водія [12].

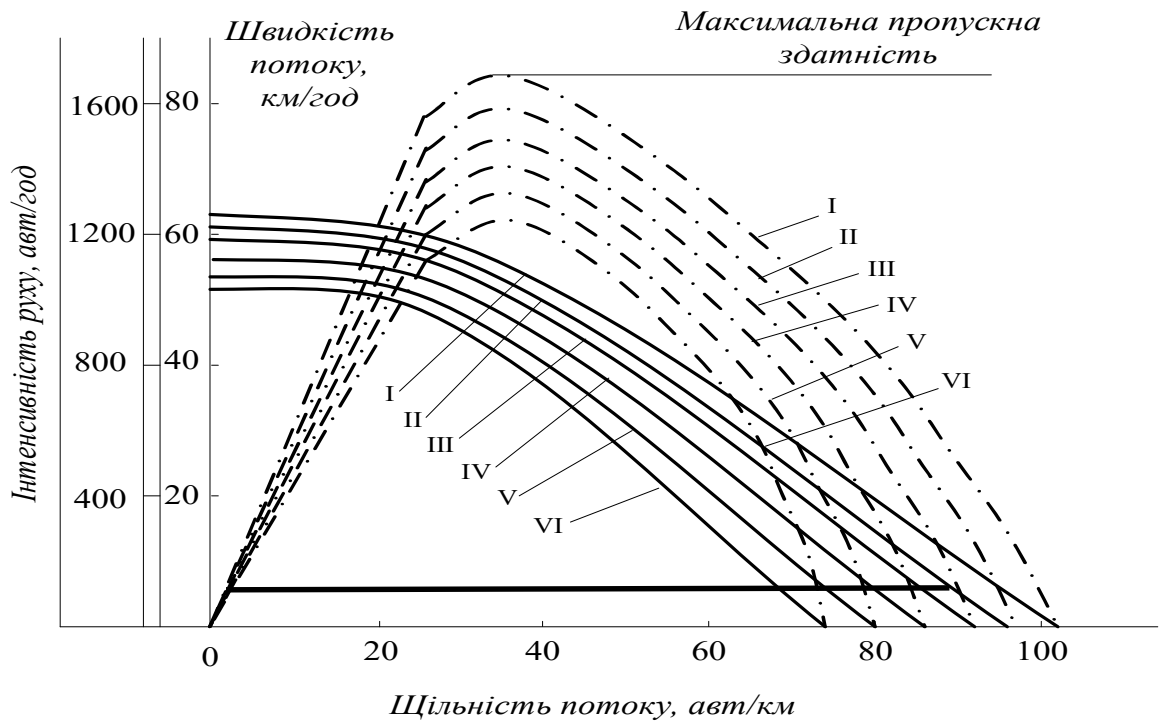
З появою вантажного автомобіля в ролі повільного лідера можливою є різка зміна швидкості руху, що природно, викликає поширення у потоці коливань швидкості, що при визначених сполученнях характеристик транспортного потоку і дорожніх умов можуть бути незатухаючими (що приводить до збільшення щільності руху).

Умови дорожнього руху описуються низкою показників: інтенсивністю, щільністю потоку, швидкістю руху, тривалістю затримок, складом потоку та ін. [1, 12, 13, 33].

Швидкість окремого транспортного засобу і потоку в цілому залежить від усього різноманіття факторів, що складають систему «Дорожні умови - транспортні потоки», у тому числі, від наявності в транспортному потоці автомобілів, умови експлуатації якого вимагають зменшення швидкості за умовами безпеки або технології перевезення, а також автомобілів великих габаритів та великої вантажопідйомності.

Швидкість руху як один з основних факторів вивчена більш інших. Зв'язок швидкості, щільності потоку та його інтенсивності з урахуванням складу потоку

представлена на рисунку 2.11 [33].



– без обліку інтенсивності руху, – з урахуванням інтенсивності руху,
I – VI -відсоток швидких автомобілів (100, 90, 60, 40, 0 %)

Рисунок 2.11 – Діаграма транспортного потоку

У теорії транспортних потоків існує група методів оцінки умов руху за умов підтримки визначеного швидкісного режиму. Цей факт має особливе значення при організації перевезень спеціального призначення, що вимагають підвищеного швидкісного режиму під час руху вантажних, великогабаритних та великовантажних автомобілів, що можуть призвести до передзаторової ситуації на дорозі через габарити і знижену швидкість руху. Крім того, поява важких і нестандартних за габаритами автомобілів створює додаткові проблеми для реалізації необхідних швидкостей у змішаному потоці, тому що різномірність складу потоку є причиною частішої зміни режимів руху [64].

Обмеження за законом обслуговування перевезень -це багатоканальна система масового обслуговування з чеканням. Кожна смуга руху розглядається як обслуговуючий апарат, отже, якщо автомобіль знаходиться на смузі Z , то він може обслуговуватися тільки Z -м апаратом. На кожній смузі руху R -смугової

дороги транспортній одиниці виділяється сукупність правил руху в потоці.

При спеціалізації смуги руху під пропуск однорідного за складом і швидкістю транспортного потоку дорога може бути представлена відповідними смугами руху.

Кожна одиниця рухається з випадковою швидкістю [86-96], що задається відповідним розподілом, якщо вона не знаходиться в стані обгону і, якщо відстань до найближчого транспортного засобу, що йде попереду, більше відстані динамічного габариту S . При наближенні на відстань S вирішується питання щодо можливості обгону або автомобіль стає в чергу за попереднім.

Така постановка повинна давати згідно з [65] можливість по заданих вхідних параметрах і обраному алгоритму управління ситуацією на кожен момент часу T з обчисленням нових координат транспортних одиниць на дорозі.

Стикування агрегатів у системі робиться за принципом сканування (кероване просторове переміщення чого-небудь за визначеним законом), тобто моделювання в особливих станах. Таким станом є моменти появи транспортних одиниць та їхні параметри на виходах агрегатів. Такі моделі дослідження дозволяють одержувати наступні дані: розподіл швидкостей руху автомобілів різного типу, розподіл числа автомобілів на ділянці та в перерізі перегону, розподіл інтервалів у потоці, ступінь завантаження перегону, розподіл довжини «черг», розподіл часу чекання та ін. У такій постановці змішаний потік розглядається як такий, що складається з повільних (більш габаритних, важких і вантажних автомобілів спеціального призначення) та швидких (легкові і вантажні малої вантажопідйомності), що мають, відповідно, швидкості вільного руху V_1 та V_2 ($V_1 < V_2$).

Логічним показником перевантаження дорожнього руху згідно з [33] як і у випадку звичайних систем масового обслуговування, у випадку черг, що рухаються, є параметр $E(n)$ — довжина черги (число автомобілів у черзі, яка рухається), що може служити більш чутливим показником перевантаження, ніж щільність потоку.

Математичне чекання довжини черги $E(n)$ має вигляд:

$$E(n) = \sum_{n=1} n \cdot P(n) = (1 - P)^{-1}; \quad (2.17)$$

$$(1 - P) = \int f(x; k; a) = P(x > S), \quad (2.18)$$

де x – інтервал між послідовними автомобілями;

$(1 - P)$ – імовірність того, що $x > S$;

k – середня щільність потоку;

$a = 1, 2, 3 \dots$;

$$P(x > S) = \int \frac{(ka)^a}{(a-1)!} x^{a-1} e^{-akx} dx, \text{ тоді } E(n) = \left[\int_S \frac{(ka)^a}{(a-1)!} x^{a-1} e^{-akx} dx \right]^{-1} \quad (2.19)$$

$P(x > S)$ – співвідношення між довжиною черги, щільністю, інтервалом S і розподілом щільності a .

Обслуговуванням у системі вважається обгін швидким автомобілем повільного, час чекання – його час руху в повільній черзі у чеканні (підготовці) до обгону.

При наявності повільного лідера, як у нашому випадку, груповий рух незабаром перетвориться у суцільну повільну колону аж до затору [33] у чеканні моменту маневрування, що буде пов'язаний з шириною проїзної частини і габаритами важких автомобілів.

Залежність завантаження дороги від складу транспортного потоку визначається динамічним габаритом автомобіля. У кожному конкретному випадку втрати у швидкостях будуть на одній й тій самій ділянці дороги різні в залежності від складу потоку і швидкісного режиму, наприклад, від наявності вантажних, великогабаритних і великовагових автомобілів, що відрізняється не тільки можливими зниженнями швидкості руху, але займаною площею проїзної частини через свої габарити по ширині.

Затор (перевантаження дорожнього руху) супроводжується виникненням ударної хвилі, що поширюється в напрямку, протилежному рухові аж до повної

зупинки потоку.

Швидкість ударної хвилі визначається за формулою:

$$u_x = \frac{dN}{dk}. \quad (2.20)$$

Рівняння руху одновірної ударної хвилі:

$$\frac{dN}{dt} + u_x \frac{dN}{dx} = 0, \quad (2.21)$$

$$\frac{dN}{dx} = u_x = u + k \frac{du}{dk}. \quad (2.22)$$

Через те, що $k \frac{du}{dk}$ – негативна величина, $u_x < u$ – середньої швидкості потоку.

Застосовуючи метод аналогій, можна сказати, що для ліквідації заторового стану відповідно до досліджень з організації дорожнього руху необхідно побудувати режим руху змішаного транспортного потоку за принципами контролю вузького місця [33, 66], тобто виводячи вантажні, великогабаритні та великовантажні автомобілі на окрему (одну або більше) смугу руху проїзної частини дороги.

Функція тривалості затримки $\tau(t)$ визначається на основі закону збереження в інтервалі часу від 0 до t числа транспортних засобів, що прибули та убули:

$$\int_r^{\tau} \tilde{f}(x) dx = \int_0^t 1(\tau) dt.$$

Момент закінчення розвантаження черги a знаходиться з рівняння:

$$\int_0^a \tilde{f}(t) dt = \int_0^t 1(t) dt.$$

Грунтуючись на принципах, викладених вище, можна визначити час руху, протягом якого накопичується черга «за даної довжини», після чого необхідно на проїзній частині вводити спеціалізацію смуг руху.

Швидкість вільного руху позначимо через v_2 , швидкість вантажних,

великогабаритних і великовагових автомобілів через V_1 .

Інтервал між автомобілями потоку є величина зворотна інтенсивності:

$$t = \frac{1}{N} \quad (2.23)$$

Час прибуття автомобілів потоку в зону ударної хвилі визначиться за формулою:

$$t_{y.x.} = \frac{t_i \cdot V_2}{(V_2 - V_1)}. \quad (2.24)$$

Кількість автомобілів, що ввійшли в зону ударної хвилі (за годину):

$$n = \frac{1}{t_{y.x.}}. \quad (2.25)$$

Довжина «черги», що утворилася, залежить від кількості автомобілів, складу потоку і динамічного габариту. Для розрахунку динамічного габариту можна застосувати формулу:

$$L_o = V \cdot t_p + \frac{V}{2} \left(\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right) + l_a, \quad (2.26)$$

де V – швидкість відомого автомобіля, км/г;

t_p – час реакції водія, с;

l_a – довжина автомобіля, м;

$\frac{1}{j_2}, \frac{1}{j_1}$ – уповільнення лідируючим відомого автомобіля, м/с².

У випадку руху за лідером:

$$L_o = V \cdot t_p + l_a, \quad (2.27)$$

Згідно з [66] довжина автомобіля в змішаному потоці може бути прийнятою в 6 м, а час реакції водія – 1 с.

Отже,
$$L_o = f(V). \quad (2.28)$$

Час розпаду черги визначиться за формулою:

$$t_{розн.} = \frac{L}{V_2} + n \cdot t, \quad (2.29)$$

де L – довжина черги, м;

$\hat{t}$ – стартова затримка, с. (прийнята рівною 2,5 с [67]).

Час, за яке утвориться черга з n автомобілів при інтенсивності N авт/год, тобто час руху буде дорівнювати:

$$t_{\text{чер}} = n \cdot t_i, \quad (2.30)$$

У випадку регламентації середніх швидкостей на дорозі, можна задатися визначеною довжиною «черги», що утвориться через різницю швидкостей. Тоді:

$$V_2 = \frac{A_2 \cdot V_2 + A_1 \cdot V_1}{A}, \quad (2.31)$$

$$\text{або} \quad V_2 = dV_2 + (1-d)V_1 = V_1 + d(V_2 - V_1), \quad (2.32)$$

де V_2 – середня швидкість потоку, км/г;

A_1 – кількість автомобілів у черзі, од.;

A_2 – кількість автомобілів, що рухаються з вільною швидкістю, од.;

d – частка автомобілів з вільною швидкістю руху.

Можна розрахувати зниження швидкості при різній частці швидких і повільних автомобілів.

Наприклад, приймемо імовірність вільного руху швидких (легкових) автомобілів d від 0,5 до 1,0. Послідовно приймаючи V_2 від 30 км/г до 15 км/г розрахуємо відповідні значення середньої швидкості руху швидких автомобілів V_2 за вищевказаною формулою (2.26).

Довжину колони чекання можна визначити в цьому випадку за формулою:

$$L_k = L_{\partial} \cdot n_{\text{авт}}, \quad (2.33)$$

де L_k – довжина колони чекання, м;

$n_{\text{авт}}$ – кількість автомобілів, що вишикувалися в черзі, од.:

$$n_{\text{авт}} = \frac{1}{N_{\text{max}}}, \quad (2.34)$$

N_{max} – максимальна інтенсивність руху на даній ділянці дороги.

У кожному конкретному випадку втрати у швидкостях на одній та тій же ділянці дороги будуть залежати від складу потоку, швидкісного режиму і кількості вантажних, великогабаритних і великовагових автомобілів.

2.4 Закономірності утворення заторів

Серед міських транспортних проблем на першому місці є пропускна спроможність вулично-дорожньої мережі. Забезпечення потрібної пропускної спроможності ділянки є головним показником створення умов для ефективного функціонування транспортної системи міст.

Кожна ділянка має свої планувальні особливості, які дозволяють автомобілю рухатися із допустимою швидкістю і при цьому не створювати ніяких ситуацій що б могли призвести до утворення затору.

Відомо, що чим менша швидкість руху, тим більші будуть витрати часу. Швидкість є одним із найбільш важливих показників руху транспортних потоків. Будь яке зниження швидкості руху транспортних потоків в порівнянні з дозволеною призводить до економічних втрат. А якщо розглянути зменшення швидкості із врахуванням зупинки у русі (затримка), то це призводить до значно більших економічних втрат.

Затримки транспорту можуть носити системний чи локальний характер. Системний характер безпосередньо пов'язаний із розплануванням міста. Локальний характер затримок пов'язаний із пропускною спроможністю транспортних вузлів та інших елементів вулично-дорожньої мережі і засобів організації дорожнього руху.

Транспортні затримки і довжина черги утворюються на вулично-дорожній мережі через різні перешкоди, які спричиняють вимушені зміни швидкості руху і збільшують часові витрати (рис. 2.12). Рух транспортних засобів проходить із затримкою або зниженням швидкості.

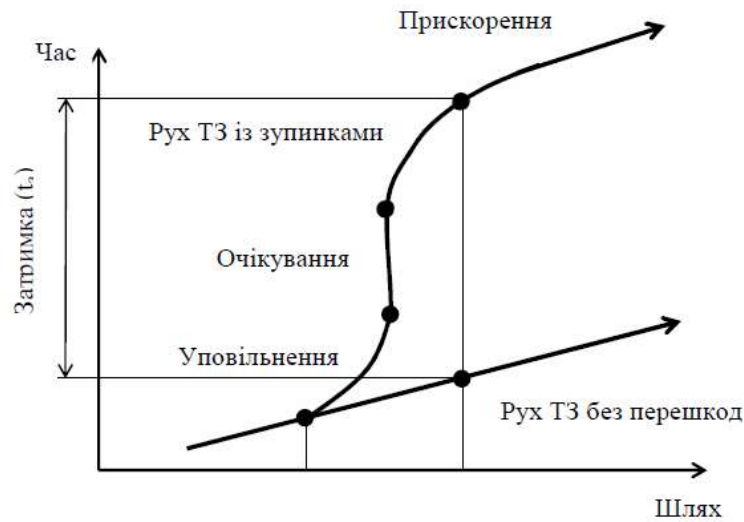


Рисунок 2.12 – Схема визначення втрат часу при наявності будь якої перешкоди на магістральній вулично-дорожній мережі міст

Зниження швидкості руху і виникнення черги очікування призводить до появи затримки транспорту на вулично-дорожній мережі, яку можна визначити наступним чином [12].

$$t_z = t_0 + t_{вп} + t_{уч} + t_{рз}, \quad (2.35)$$

де t_0 – втрати часу через зниження швидкості транспортних засобів на основному напрямку;

$t_{вп}$ – втрати часу внаслідок перебігу;

$t_{уч}$ – втрати часу внаслідок утворення черги;

$t_{рз}$ – втрати часу при розгоні та зупинці.

Найбільший вплив на затримку транспорту із збільшенням інтенсивності здійснює $t_{уч}$.

Середня затримка потоку ($t_{зп}$) дорівнює сумі затримки кожного транспортного засобу поділеної на кількість (N) транспортних засобів, що проїхали [13].

$$t_{зп} = \frac{\sum_{i=1}^N t_z}{N}. \quad (2.36)$$

Деякі теорії стверджують, що затримки транспортних засобів залежать від часу, за який автомобіль проїхав би через «вузьке» місце при відсутності черги і від поведінки потоку у межах цієї ж ділянки [14].

Транспортна ситуація стає критичною тоді, коли рівень автомобілізації [1, 97-110] перевищує пропускну спроможність вулично-дорожньої мережі. Затори на магістральній вулично-дорожній мережі утворюються коли смуги руху, з певних причин, не в змозі пропустити транспортний потік.

До однієї з найважливіших функцій системи управління дорожнім рухом є запобігання виникнення транспортних заторів. У міру свого росту затор не лише зупиняє рух спочатку залучених в нього транспортних потоків, але впливає на потоки на інших вулицях. Тому, завданням управління є попередження не лише виникнення, але і поширення заторів. Проблема управління насиченими ТП ускладнюється трудністю локалізації заторів у межах їх первинного виникнення.

Затор – особлива ситуація на вулично-дорожній мережі, при якій середній час затримки D транспортного засобу перевищує тривалість циклу T .

Зони нестійкості поведінки транспортних потоків, безперервне збільшення швидкості приводять до розривів в значеннях характеристик транспортних потоків. У цих випадках транспортні засоби в потоці вимушені неодноразово рушати з місця і зупинятися. Невеликі зміни інтенсивності руху поширюються уздовж потоку у вигляді «кінематичних хвиль», які можуть накладатися один на одного і викликати появу «ударних хвиль», що створюють великі перепади швидкості у бік їх зменшення.

Ударні хвилі поширюються проти руху і утворюються на ділянках зі зниженою пропускнуною спроможністю – у «вузьких» місцях [15-17].

Вважатимемо, що щільність сусідніх ділянок θ_i^x і θ_n^x різна, позначимо щільність і швидкість руху на ділянках θ_i^x і θ_n^x відповідно через k_i і k_n , та V_i і V_n . Якщо V_w – швидкість межі, що рухається, між ділянками θ_i^x і θ_n^x , то, виходячи із закону збереження, маємо:

$$(V_w - V_n)k_n = (V_w - V_i)k_i. \quad (2.37)$$

Вирішуючи рівняння відносно V_w , отримаємо:

$$V_w = \frac{V_i k_i - V_n k_n}{k_i - k_n} = \frac{I_i - I_n}{k_i - k_n}, \quad (2.38)$$

де I_i і I_n – інтенсивності руху на ділянках θ_i^x і θ_n^x відповідно.

Для малих змін щільності k швидкість V^d пересування граничної точки з рівняння (2.19), тобто $V^d = \frac{dl}{dk}$.

$$V^d = V + k \frac{dv}{dk}, \quad (2.39)$$

Для моделі Гріншїлдса* величини V^d і V_w визначають по формулах [18, 19]:

$$V_w = V_0 \left(1 - \frac{k_i - k_n}{k_j} \right) = V_0 - V_i + V_n, \quad (2.40)$$

$$V^d = V_0 \left(1 - \frac{2k}{k_j} \right) = V_0 - 2V. \quad (2.41)$$

З рівняння (2.23) виходить, що швидкість граничної точки V^d при нехтує малій зміні k (або V) задовольняє умовам:

$$\begin{cases} V^d < 0, \text{ при } k > \frac{k_j}{2} \text{ або } V < \frac{V_0}{2} \\ V^d > 0, \text{ при } k < \frac{k_j}{2} \text{ або } V > \frac{V_0}{2} \end{cases}. \quad (2.42)$$

При поширенні ударної хвилі в ТП частина хвилі $k = \frac{k_j}{2}$ рухатиметься назад – в протилежному напрямі руху потоку, інша частина хвилі – вперед, у напрямі потоку. При утворенні ударної хвилі відбуваються різкі зміни щільності аж до розриву, автомобілі вимушені уповільнювати швидкість або зупинятися взагалі.

2.5 Висновки до розділу

У роботі виконано аналіз трьох методів моделювання з метою подальшого використання їх положень у дисертаційному дослідженні. Перший метод –

«ударна хвиля», у випадках коли транспортні засоби в потоці вимушені неодноразово рушати з місця і зупинятися. Ударні хвилі поширюються проти руху і утворюються на ділянках зі зниженою пропускнуою здатністю – у «вузьких» місцях.

Другий метод заснований на основі теорії масового обслуговування, де рух автомобільного транспорту являє собою випадковий процес, якому притаманні різні імовірнісні характеристики. Потік автомобільного транспорту є потоком вимог, а поперечний переріз автомобільної дороги є апаратом обслуговування. При цьому всю автомобільну дорогу чи окрему ділянку можна показати у вигляді набору нескінченно малих відрізків або набору поперечних перерізів дороги. У результаті такого припущення впливає, що вся дорога є апаратом обслуговування для транспортного потоку, який рухається по ній.

Третій метод – на основі залежностей транспортного потоку. За допомогою цих залежностей нами в роботі описаний фізичний процес утворення затору. Але, основна діаграма транспортного потоку відображає зміну однорідного транспортного потоку переважно легкових автомобілів в залежності від збільшення його інтенсивності та щільності не може відобразити всю складність процесів, що відбуваються в транспортному потоці.

Розроблено математичні моделі руху транспортних потоків у системі «Перегін», які базуються на інтенсивності та складі транспортного потоку, які впливають на визначення необхідної кількості смуг руху окремо для кожного виду транспорту. Одержано закономірності руху транспортного потоку на перегоні магістралі на основі розроблення алгоритмів його гомогенізації за складом.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В МІСЦЯХ ВХОДУ НА МАГІСТРАЛЬ ТА ВИХОДУ З МАГІСТРАЛІ

3.1 Визначення основних залежностей транспортного потоку при різній кількості смуг руху

Затор виникає при умові коли інтенсивність близька до пропускної здатності, кола автомобільна дорога з якихось причин не справляється із своєю функцією.

За методом гідродинамічної моделі розрахуємо і визначимо місця де може утворитися затор. Графічно покажемо основні залежності транспортного потоку, як буде змінюватися щільність, інтенсивність, швидкість в залежності від зміни кількості смуг руху.

Максимальна інтенсивність смуги руху при швидкості V знаходиться:

$$N_v = \frac{1000V}{(d_{\min} + L)E^{V/V_0}}, \quad (3.1)$$

де $d_{\min}$ – мінімальна дистанція в заторовій ситуації, м ($d_{\min}=1$ м).

$$E = 2,718$$

L – середня довжина автомобіля в транспортному потоці, яка визначається за формулою:

$$L = \frac{4.2a + 7,0b + 10,5c + 12,0d}{100}, \quad (3.2)$$

$$L = \frac{4.2 \cdot 30 + 7,0 \cdot 55 + 10,5 \cdot 5 + 12,0 \cdot 10}{100} = 6,84 \text{ м.} \quad (3.3)$$

$$N_v = \frac{1000 \cdot 40}{(1 + 6,84)2,718^{40/25}} = 1030 \text{ авт/год, при } V=40 \text{ км/год.}$$

Інтенсивність змінюється в залежності від швидкості руху. Чим більша швидкість руху, тим менша інтенсивність. Це пояснюється залежністю

«Інтенсивність – швидкість». Результати розрахунку для однієї смуги руху зведено у таблицю 3.1 та показано на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок максимальної інтенсивності на одній смузі руху

Змінна для кількості смуг	Швидкість V_0	Швидкість V	d_{min}	Середня довжина автомобіля L	E	E^{V/V_0}	Максимальна інтенсивність N_v
1000	25	30	1	6,84	2,718	3,32	1153
1000	25	35	1	6,84	2,718	4,05	1101
1000	25	40	1	6,84	2,718	4,95	1030
1000	25	45	1	6,84	2,718	6,05	949
1000	25	50	1	6,84	2,718	7,39	863
1000	25	55	1	6,84	2,718	9,02	777
1000	25	60	1	6,84	2,718	11,02	694
1000	25	65	1	6,84	2,718	13,46	616
1000	25	70	1	6,84	2,718	16,44	543
1000	25	75	1	6,84	2,718	20,08	476
1000	25	80	1	6,84	2,718	24,52	416

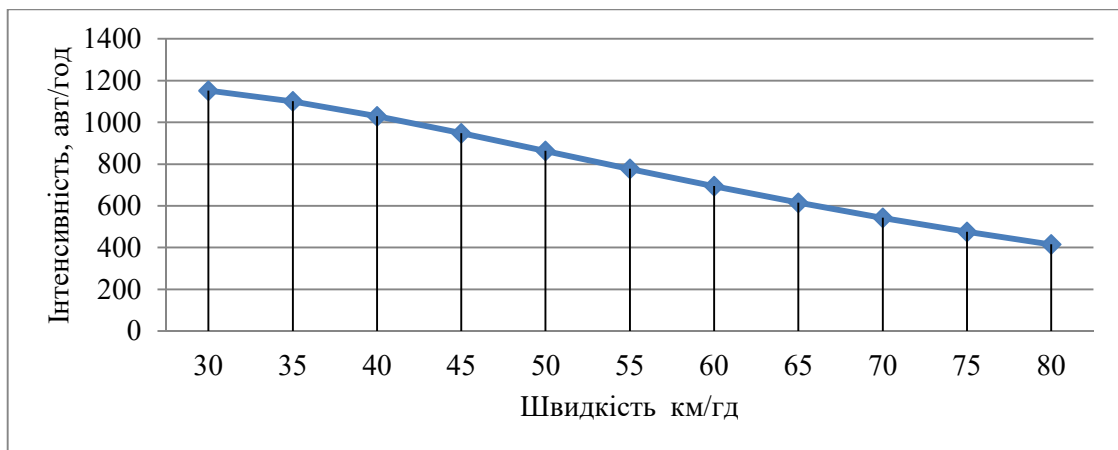


Рисунок 3.1 – Залежність «Інтенсивність – швидкість» для однієї смуги руху

Максимальна інтенсивність для двох смуг руху при швидкості V знаходиться:

$$N_v = \frac{2000 V}{(d_{min} + L) E^{V/V_0}} \quad (3.4)$$

Розрахунок зведено у таблицю 3.2 та показано на рисунку 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок максимальної інтенсивності для двох смуг руху

Змінна для кількості смуг	Швидкість V_0	Швидкість V	d_{min}	Середня довжина автомобіля L	E	E^{V/V_0}	Максимальна інтенсивність N_v
1000	25	30	1	6,84	2,718	3,32	2305
1000	25	35	1	6,84	2,718	4,05	2202
1000	25	40	1	6,84	2,718	4,95	2061
1000	25	45	1	6,84	2,718	6,05	1898
1000	25	50	1	6,84	2,718	7,39	1727
1000	25	55	1	6,84	2,718	9,02	1555
1000	25	60	1	6,84	2,718	11,02	1389
1000	25	65	1	6,84	2,718	13,46	1232
1000	25	70	1	6,84	2,718	16,44	1086
1000	25	75	1	6,84	2,718	20,08	953
1000	25	80	1	6,84	2,718	24,52	832

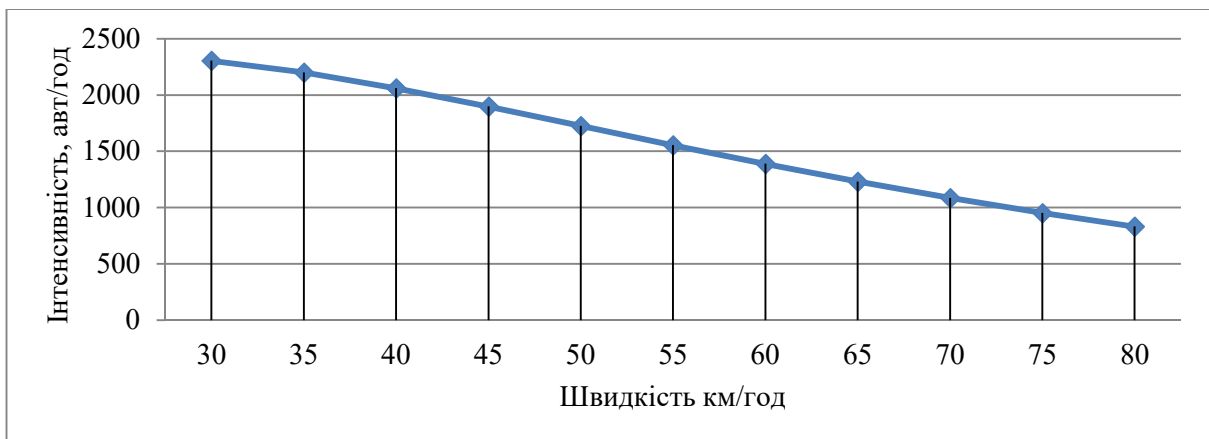


Рисунок 3.2 – Залежність «Інтенсивність – швидкість» для двох смуг руху

Максимальна інтенсивність для трьох смуг руху при швидкості V знаходиться:

$$N_v = \frac{3000 V}{(d_{min} + L) E^{V/V_0}} \quad (3.5)$$

Розрахунок зведено у таблицю 3.3 та показано на рисунку 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок максимальної інтенсивності для трьох смуг руху

Змінна для кількості смуг	Швидкість V_0	Швидкість V	dmin	Середня довжина автомобіля L	E	E^{V/V_0}	Максимальна інтенсивність N_v
2000	25	30	1	6,84	2,718	3,32	3458
2000	25	35	1	6,84	2,718	4,05	3303
2000	25	40	1	6,84	2,718	4,95	3091
2000	25	45	1	6,84	2,718	6,05	2847
2000	25	50	1	6,84	2,718	7,39	2590
2000	25	55	1	6,84	2,718	9,02	2332
2000	25	60	1	6,84	2,718	11,02	2083
2000	25	65	1	6,84	2,718	13,46	1848
2000	25	70	1	6,84	2,718	16,44	1629
2000	25	75	1	6,84	2,718	20,08	1429
2000	25	80	1	6,84	2,718	24,52	1248

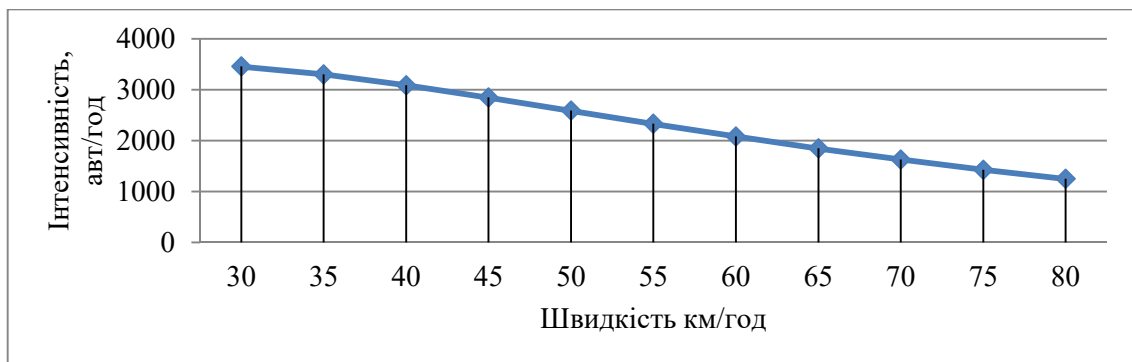


Рисунок 3.3 – Залежність «Інтенсивність -швидкість» для трьох смуг руху

На рисунку 3.4 наведено зведену залежність «Інтенсивність – швидкість».

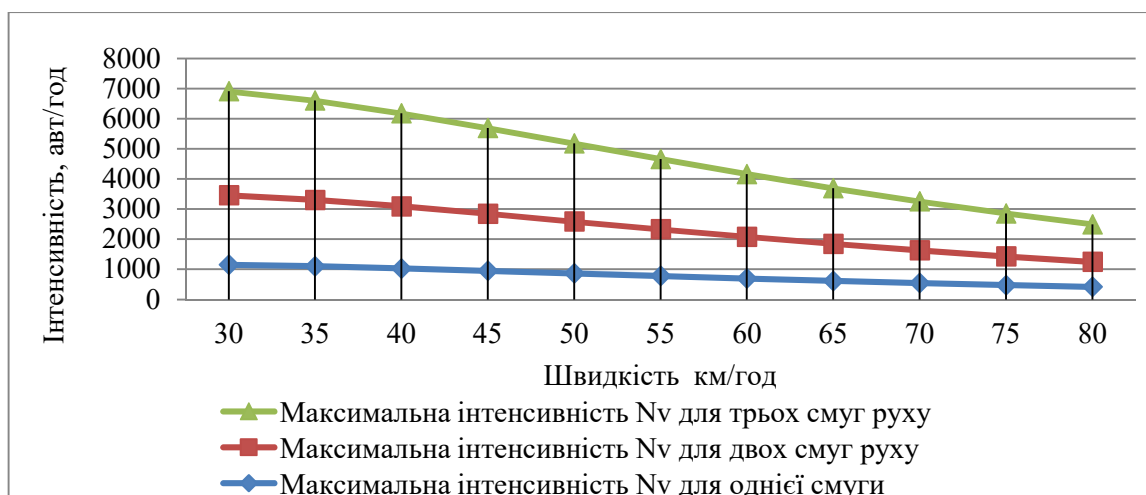


Рисунок 3.4 – Залежність «Інтенсивність – швидкість»

З рисунка видно як змінюється інтенсивність в залежності від швидкості та кількості смуг руху.

Для визначення довжини черги, слід визначити щільність транспортного потоку. З рівняння стану транспортного потоку, знайдемо щільність:

$$N = g \cdot V, \quad (3.6)$$

$$g = \frac{N}{V}, \quad (3.7)$$

де N – інтенсивність руху, авт/год;

g – щільність транспортного потоку, авт/км;

V – швидкість руху, км/год.

Розрахунки щільності транспортного потоку зведено у таблицю 3.4 та показано на рисунку 3.5.

Таблиця 3.4 – Залежність «Щільність -інтенсивність»

Швидкість км/год	для однієї смуги		для двох смуг руху		для трьох смуг руху	
	Макс. інтенсивність N_v	Щільність потоку g , авто/км	Макс. інтенсивність N_v	Щільність потоку g , авто/км	Макс. інтенсивність N_v	Щільність потоку g , авто/км
30	1153	38	2305	77	3458	115
35	1101	31	2202	63	3303	94
40	1030	26	2061	52	3091	77
45	949	21	1898	42	2847	63
50	863	17	1727	35	2590	52
55	777	14	1555	28	2332	42
60	694	12	1389	23	2083	35
65	616	9	1232	19	1848	28
70	543	8	1086	16	1629	23
75	476	6	953	13	1429	19
80	416	5	832	10	1248	16

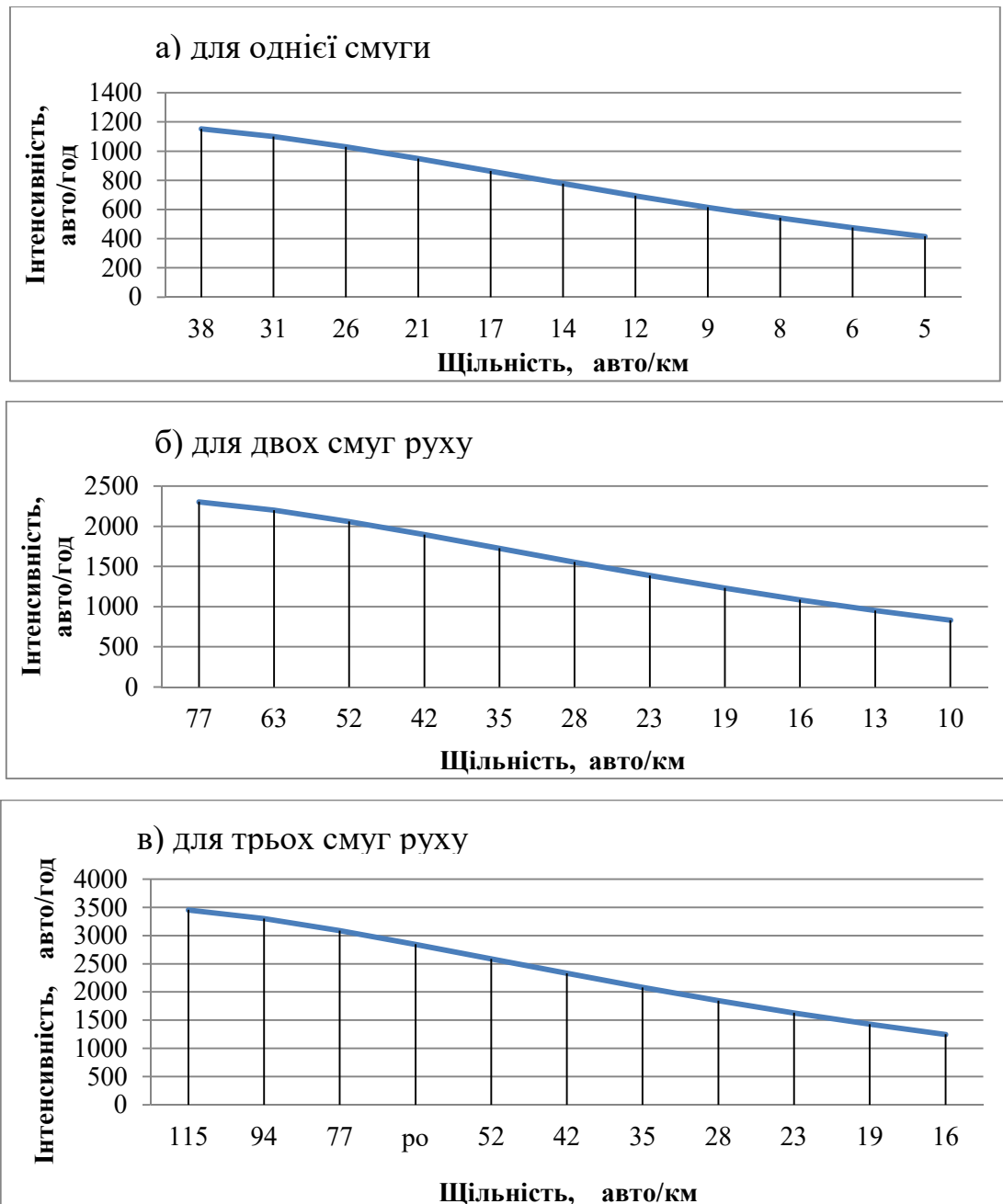


Рисунок 3.5 – Залежність «Інтенсивність – щільність»

Довжину черги визначимо за формулою:

$$L_{\text{черги}} = \frac{(l_c + d_{\min}) \cdot g}{1}, \quad (3.8)$$

де l_c – середня довжина автомобіля;

$d_{\min}$ – мінімальна дистанція між автомобілями.

Розрахунок зведено у таблицю 3.5 та показано на рисунку 3.6.

Таблиця 3.5 – Розрахунок довжини черги для однієї, двох, трьох смуг руху

Дистанція між автомобілями d_{min}	Середня довжина автомобіля L	Швидкість V	для однієї смуги		для двох смуг		для трьох смуг	
			Щільність потоку g , авто/км	Довжина черги	Щільність потоку g , авто/км	Довжина черги	Щільність потоку g , авто/км	Довжина черги
1	6,84	30	38	301	77	602	115	904
1	6,84	35	31	247	63	493	94	740
1	6,84	40	26	202	52	404	77	606
1	6,84	45	21	165	42	331	63	496
1	6,84	50	17	135	35	271	52	406
1	6,84	55	14	111	28	222	42	332
1	6,84	60	12	91	23	181	35	272
1	6,84	65	9	74	19	149	28	223
1	6,84	70	8	61	16	122	23	182
1	6,84	75	6	50	13	100	19	149
1	6,84	80	5	41	10	82	16	122

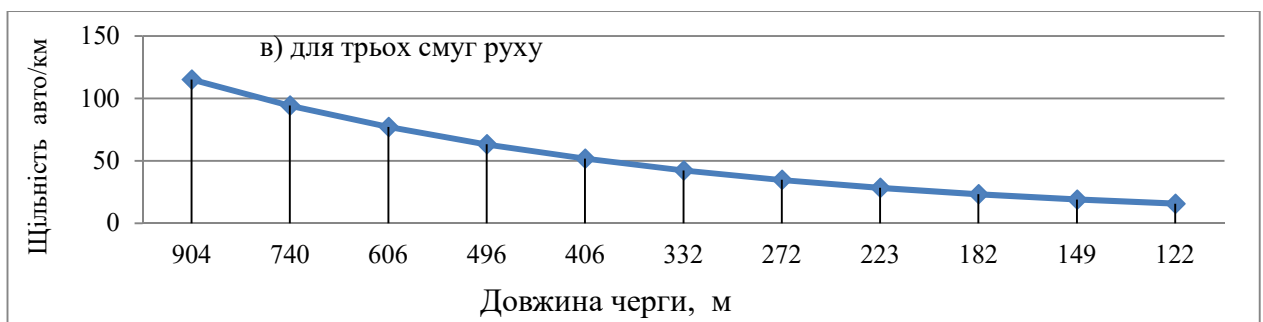
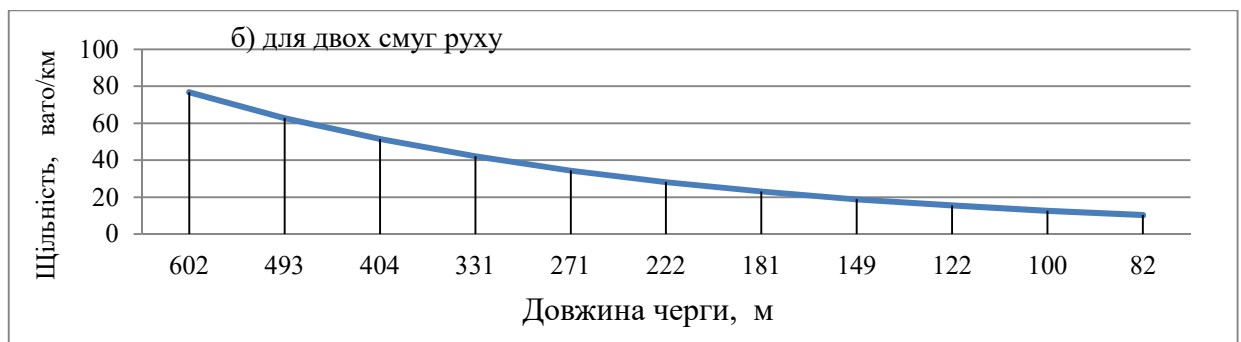
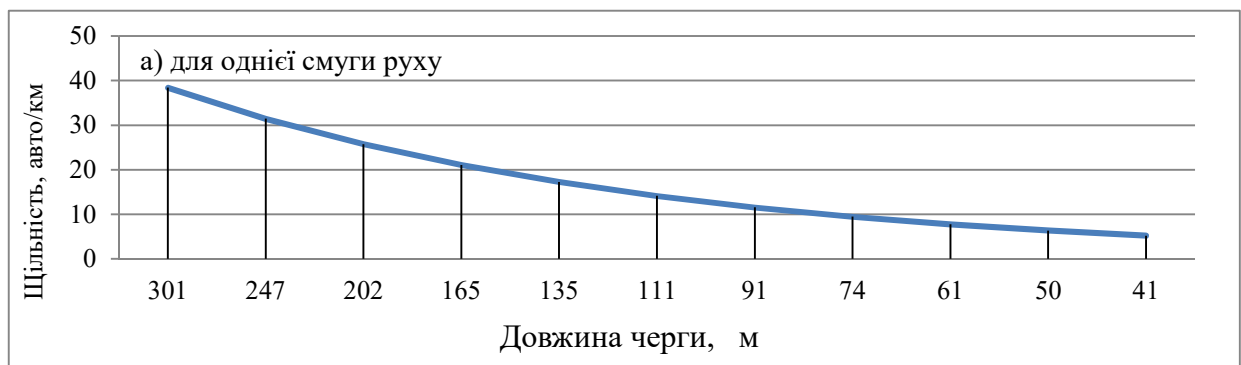


Рисунок 3.6 – Довжина черги для однієї, двох та трьох смуг руху

Отже, чим більша щільність потоку, тим більшою буде довжина черги. Якщо вулично-дорожня мережа має три смуги руху з максимальною інтенсивністю 3458 авто/год, то при зменшенні швидкості руху, утвориться черга довжиною до 1 км. Такі черги будуть утворюватися при переході з трьох смуг руху в одну.

3.2 Використання теорії масового обслуговування для управління транспортними потоками

Теорія масового обслуговування є розділом теорії імовірностей, метою досліджень якого є раціональний вибір структури системи обслуговування та процесу обслуговування на основі вивчення потоків вимог на обслуговування, що надходять у систему і виходять з неї, тривалості очікування і довжини черг.

Найбільш використовуваний розділ у теорії імовірності є Розподіл

Пуассона:

$$P_n(t) = \frac{E^{-m} m^n}{n!}, \quad (3.9)$$

де $p_n(t)$ – імовірність надходження в даний переріз дороги n автомобілів за час t ;

m – середнє число автомобілів, що надійшли за інтервал часу t ;

$$t = \frac{N_i}{T}, \quad (3.10)$$

t – тривалість інтервалу в секундах

N_i – кількість автомобілів, які пройшли даний переріз дороги за час T .

Як правило T приймають рівним одній годині або 3600 с.

Імовірність того, що за час t не надійде жодного автомобіля дорівнює:

$$P_0(t) = E^{-\frac{N_i}{T}}, \quad (3.11)$$

Цей розподіл Пуассона описує потік, який складається з однакових автомобілів. Через це потік автомобілів умовно поділяють на дві групи, і рівняння буде складатись з двох частин:

$$P(t) = aE^{-\lambda_{it}} + (1-a)E^{-\lambda_{ot}}, \quad (3.12)$$

де a – кількість зв'язаних автомобілів;

$E^{-\lambda_{it}}$ і $E^{-\lambda_{ot}}$ – імовірність появи інтервалів відомої довжини в зв'язаних та вільних частинах потоку автомобілів;

λ_i – щільність зв'язаного потоку;

λ_o – щільність вільного потоку.

Система масового обслуговування

Система масового обслуговування поділяється на два типи (класи): з очікуванням (чергою) та відмовленням. У системі масового обслуговування з очікуванням заявка, яка надійшла в момент зайнятості каналів, не відправляється, а стає в чергу на обслуговування [130].

В даному випадку розглянемо систему на прикладі руху транспортного потоку по автомобільній дорозі з двома смугами руху. Але припустимо, що одна смуга руху закрита, трапився якийсь інцидент і смуга закрита. В такій ситуації дуже часто утворюються затори, тому, за допомогою теорії масового обслуговування з'являється можливість провести певні розрахунки та визначити показники ефективності системи масового обслуговування.

У ролі показників ефективності системи масового обслуговування з відмовленнями застосовуються такі:

1. Абсолютна пропускна здатність [149,150] (A) -показник, який показує середню кількість заявок, що обслуговуються за одиницю часу. Він розраховується за формулою:

$$A = \frac{\lambda\mu}{\lambda+\mu}, \quad (3.13)$$

де λ -інтенсивність потоку заявок;

μ – інтенсивність потоку обслуговування.

При цьому інтенсивність потоку обслуговування є оберненою величиною до середнього часу обслуговування ($\bar{t}_{об}$):

$$\mu = \frac{1}{\bar{t}_{об}}. \quad (3.14)$$

2. Відносна пропускна здатність (Q) -показник, що характеризує середню частку заявок, яка надійшла та обслуговується системою. Обчислюється за формулою:

$$Q = \frac{\mu}{\lambda + \mu}. \quad (3.15)$$

3. Ймовірність відмови ($P_{від}$) -величина, яка характеризує ймовірність того, що заявка залишиться систему масового обслуговування не обслуженою. Показує частку заявок, яким буде відмовлено у наданні відповідної послуги.

$$P_{від} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}. \quad (3.16)$$

4. Середнє число зайнятих каналів ($\bar{k}$) -для багатоканальної системи. Цей показник розраховується у такий спосіб:

$$\bar{k} = \frac{A}{\mu}. \quad (3.17)$$

5. Визначається і інтенсивність навантаження каналу - p (або приведена інтенсивність потоку заявок) -це показник, який виражає середню кількість заявок, яка надходить за середній час обслуговування однієї заявки. Він розраховується за формулою:

$$p = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (3.18)$$

За наведеними формулами проведено розрахунки для пропуску автомобілів по одній смузі руху. Всі розрахунки зведено у таблицю 3.6 та 3.7

Таким чином, в середньому за годину, при середньому часі обслуговування 1 хв, будуть обслужені 57 автомобілів при інтенсивності потоку заявок - 1153 авто/год., та 19 автомобілів буде підходити на одній смузі. Ймовірність відмови в обслуговуванні становить 0,95.

Отже, в середньому 95 % автомобілі які прибудуть до «місця звуження», отримають відмову в обслуговуванні, змушені будуть чекати своєї черги в заторі.

Таблиця 3.6 – Зведена таблиця показників системи масового обслуговування для пропуску транспортного потоку по одній смузі рух

Інтенсивність потоку заявок λ (авто/год)	1153	1153	1153	1153	1153	1153	1153	1153	1153	1153
Інтенсивність потоку обслуговування μ	60	30	20	15	12	10	9	8	7	6
Середній час обслуговування $\bar{T}$ (хв)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Середня кількість обслужених автомобілів за годину – А	57	29	20	15	12	10	9	7	7	6
Інтенсивність навантаження каналу (смути) ρ (авто)	19	38	58	77	96	115	135	154	173	192
Ймовірність відмови в обслуговуванні, $P_{від}$, %	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Відносна пропускна здатність системи масового обслуговування Q, %	0,049	0,025	0,017	0,013	0,010	0,009	0,007	0,006	0,006	0,005

Таблиця 3.7 – Зведена таблиця показників системи масового обслуговування для пропуску транспортного потоку по одній смузі рух з середнім часом обслуговування від 5 до 30 секунд

Інтенсивність потоку заявок λ (авто/год)	1153	1153	1153	1153
Інтенсивність потоку обслуговування μ	200	300	600	1200
Середній час обслуговування $\bar{T}$ (хв)	0,30	0,20	0,10	0,05
Середня кількість обслужених автомобілів за годину – А	170	238	395	588
Інтенсивність навантаження каналу (смути) ρ (авто)	6	4	2	1
Ймовірність відмови в обслуговуванні, $P_{від}$, %	0,85	0,79	0,66	0,49
Відносна пропускна здатність системи масового обслуговування Q, %	0,148	0,206	0,342	0,510

З таблиці 3.7 видно, що в середньому за годину, при середньому часі обслуговування 30 сек, будуть обслужені 170 автомобілів при інтенсивності потоку заявок - 1153 авто/год., та 6 автомобілів буде підходити на одній смузі. Імовірність відмови в обслуговуванні становить 0,85. Отже, в середньому 85 % автомобілі отримають відмову в обслуговуванні, змушені будуть чекати. Оскільки, довжина перехідно-швидкісної смуги ПШС = довжина клину відгону (Дк) 30+довжина смуги повної ширини (Дпш) 80 =110м. Цієї смуги не достатньо для здійснення безпечного маневру та для того, щоб не утворився затор при вході на магістраль.

3.3 Формування принципів руху транспортними потоками в системі «Перегін»

Для дослідження умов руху змішаного та складного транспортного потоку на магістральній вулично-дорожній мережі міста необхідно і достатньо розглянути систему «вхід потоку на перегін – рух потоку на перегоні – вихід потоку з перегону» («Перегін»). Узагальнюючи взаємодію елементів цієї системи її можна представити рис. 3.7.

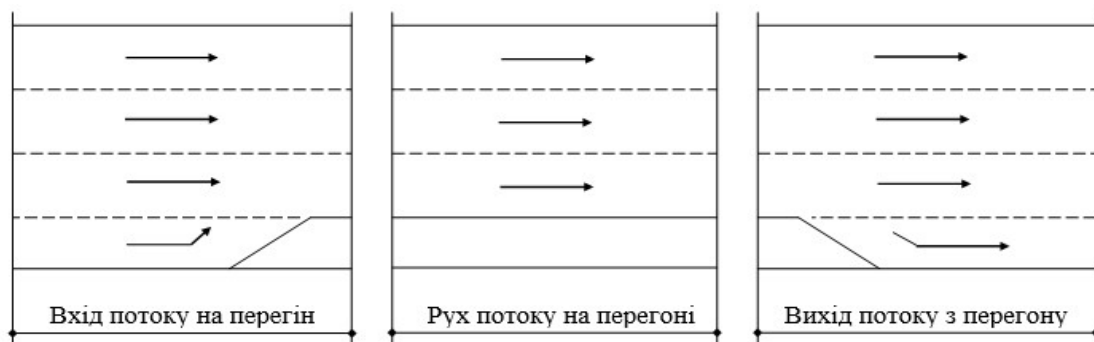


Рисунок 3.7 – Система «Перегін»

Проте організація дорожнього руху вносить відповідні особливості взаємодії цих елементів. Це пов'язане зі ступенем формування потоків на смугах проїзної частини перегону за рахунок кількості смуг руху. Склад транспортного потоку є різним від легкових автомобілів до вантажних, великогабаритних і великовантажних автомобілів. Для фізичної реалізації таких схем організації дорожнього руху можливо використовувати технічні засоби організації дорожнього руху як постійної дії, так і зі змінною інформацією про характер руху на елементах системи «Перегін».

Елемент «вхід потоку на перегін»:

– на перегоні смуги руху не розділені суцільною лінією, що означає, що транспортні засоби різних типів рухаються у суцільному потоці, взаємодіють між собою, використовуючи всі смуги руху проїзної частини магістралі.

Фізичний вхід автомобілів до перегону відбувається за допомогою перехідно-швидкісної смуги ($L_{п-ш.с.}$) (рисунок 3.8).

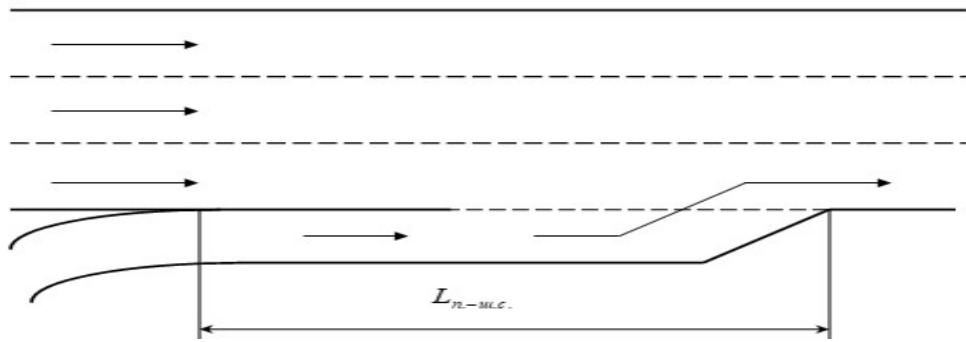
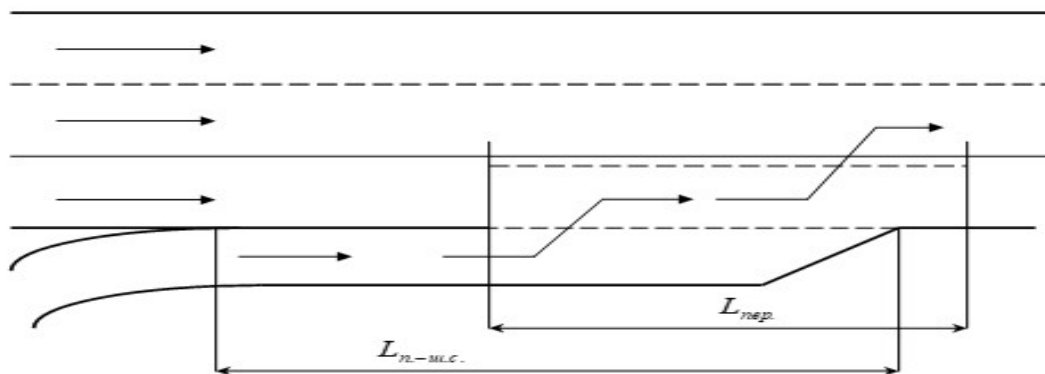


Рисунок 3.8 – Перехідно-швидкісна смуга для входу на перегін магістралі ($L_{пд-ш.с.}$)

Формування входу потоку на перегін при умові ($N_B + N_{БГ} + N_{БТ} \leq (0,11 - 0,50) N_3$) показано на рисунку 3.9.

а) Перехідно-швидкісна смуга ($L_{пд-ш.с.}$) для входу на перегін + ділянка переміщення для легкового транспорту (без зупинки) ($L_{пер.}$)



б) Перехідно-швидкісна смуга ($L_{пд-ш.с.}$) для входу на перегін + ділянка стабілізації потоку ($L_{с.}$) + ділянка переміщення легкового транспорту (без зупинки) ($L_{пер.}$)

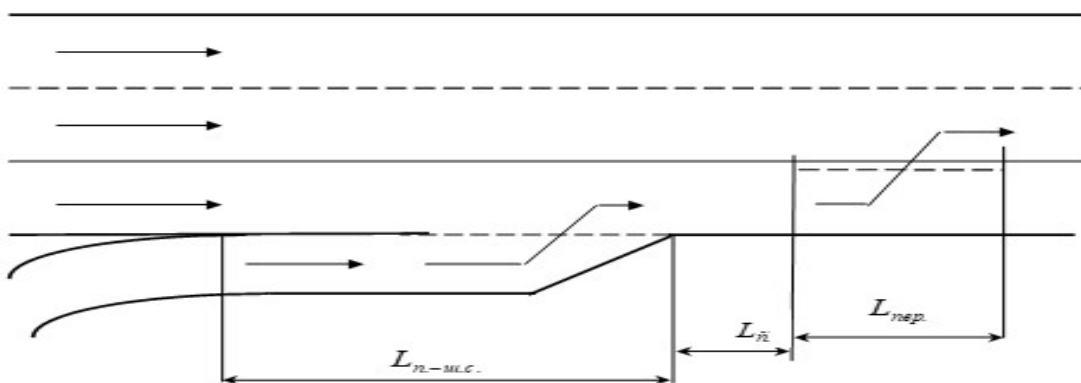


Рисунок 3.9 – Формування входу потоку на перегін.

Для вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів виділена одна (крайня) смуга руху; на останніх смугах рух відбувається рух легкового автомобільного транспорту, причому автомобілі взаємодіють між собою, використовуючи обидві смуги руху. Надходження всіх типів транспортних засобів відбувається за допомогою перехідно-швидкісної смуги ($L_{п-ш.с.}$). Але для того, щоб легковий транспорт потрапив до цих двох смуг, необхідно ввести ділянку для переміщення легкового транспорту з крайньої смуги на середню ($L_{пер.}$), яка починається після ділянки стабілізації потоку (L_c);

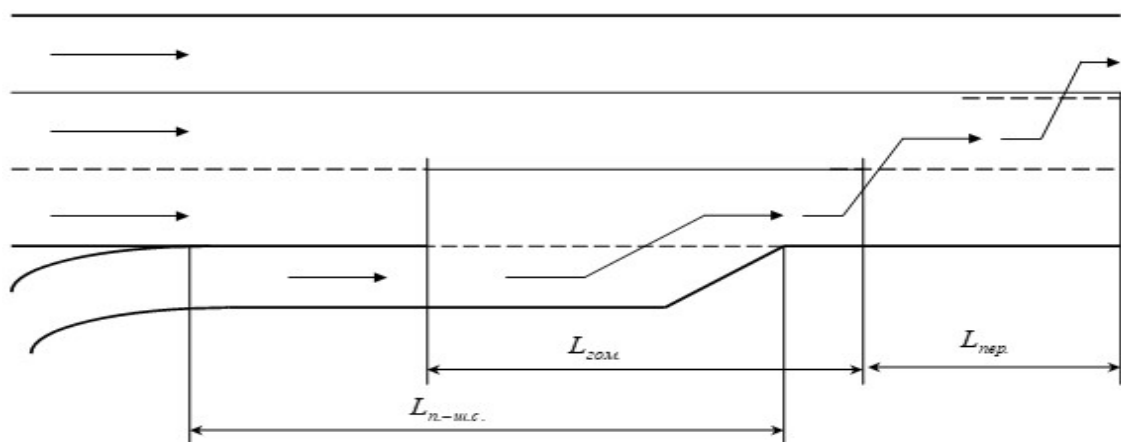


Рисунок 3.10 – Перехідно-швидкісна смуга ($L_{п-ш.с.}$) для входу на перегін + ділянка стабілізації потоку (L_c) + ділянка переміщення легкового транспорту (без зупинки) ($L_{пер.}$)

Формування входу потоку на перегін при умові ($N_B + N_{ВГ} + N_{ВТ} \leq (0,51 - 0,80) N_3$) показано на рисунку 3.10 для вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів виділені дві крайні смуги руху, а на внутрішній смузі руху відбувається рух легкового автомобільного транспорту. Надходження всіх типів транспортних засобів відбувається за допомогою перехідно-швидкісної смуги ($L_{п-ш.с.}$). Але для того, щоб легковий транспорт потрапив до внутрішньої смуги, необхідно ввести ділянку гомогенізації потоку ($L_{гом.}$), ділянку для переміщення легкового транспорту з крайньої смуги на середню ($L_{пер.}$), яка починається після ділянки гомогенізації потоку, а також ділянку для переміщення легкового транспорту з середньої смуги до внутрішньої смуги проїзної частини магістралі;

Формування входу потоку на перегін при умові $(N_B + N_{BT} + N_{BT} \geq (0,81 - 1,0) N_3)$ показано на рисунку 3.11 на перегоні смуги руху не розділені суцільною лінією, що означає, що транспортні засоби різних типів рухаються у суцільному потоці, взаємодіють між собою, використовуючи всі смуги руху проїзної частини магістралі. Фізичний вхід автомобілів до перегону відбувається за допомогою перехідно-швидкісної смуги ($L_{п-ш.с.}$).

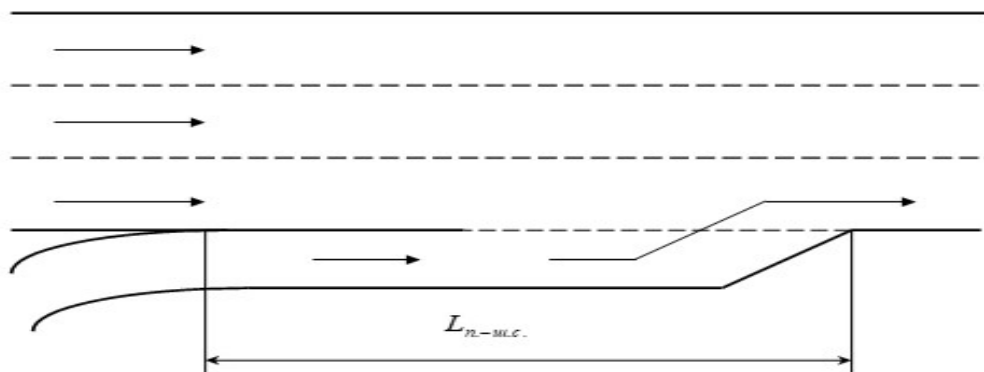


Рисунок 3.11 – Перехідно-швидкісна смуга ($L_{п-ш.с.}$) для входу на перегін магістралі

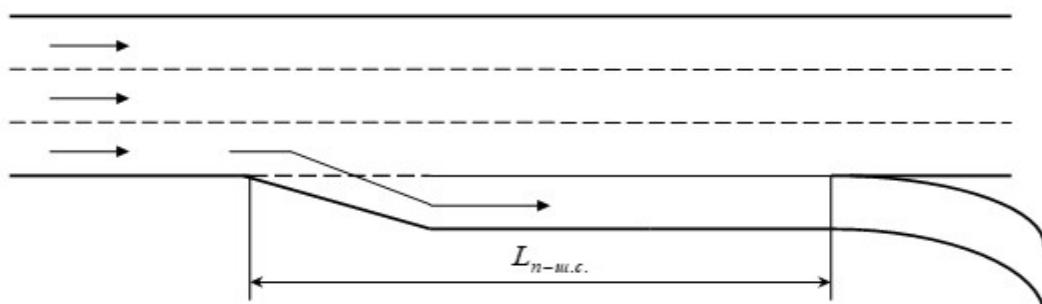
Елемент «Вихід потоку з перегону»:

Формування виходу потоку з перегону при умові $(N_B + N_{BT} + N_{BT} \leq 0,10 N_3)$ показано на рисунку 3.12 а). Фізично вихід транспортних засобів відбувається за допомогою перехідно-швидкісної смуги для гальмування потоку ($L_{п-ш.с.}$). Транспортні засоби переміщуються по ширині проїзної частини вільно.

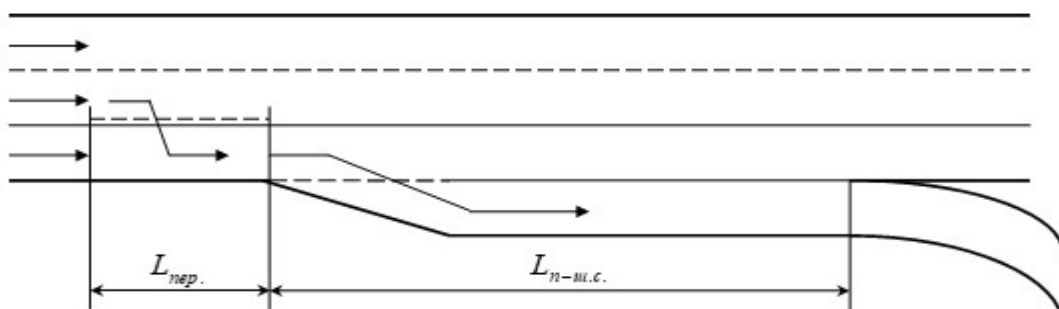
Формування виходу потоку з перегону при умові $(N_B + N_{BT} + N_{BT} \leq (0,11 - 0,50) N_3)$ показано на рисунку 3.12 б), де для вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів виділена одна (крайня) смуга руху, відбувається за допомогою введення ділянки переміщення легкового транспорту на крайню смугу руху ($L_{пер.}$), яка закінчується з початком перехідно-швидкісної смуги ($L_{п-ш.с.}$).

Формування виходу потоку з перегону при умові $(N_B + N_{BT} + N_{BT} \leq (0,51 - 0,80) N_3)$ показано на рисунку 3.12 в).

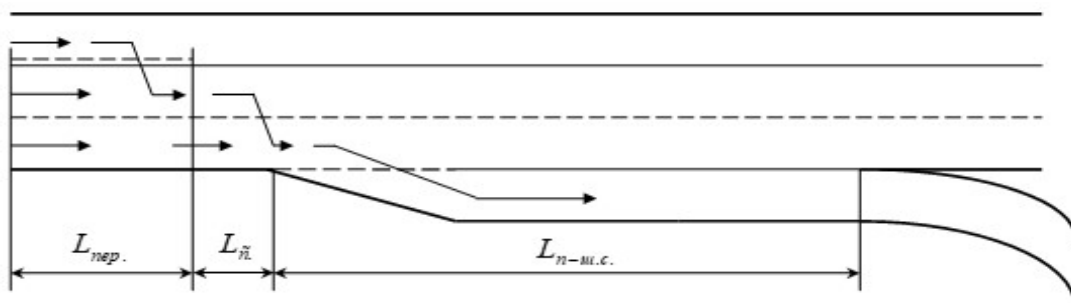
а) формування виходу потоку з перегону при умові $(N_B + N_{BT} + N_{BT} \leq 0,10 N_3)$



б) формування виходу потоку з перегону при умові
 $(N_B + N_{BG} + N_{BT} \leq (0,11 - 0,50) N_3)$



в) формування виходу потоку з перегону при умові
 $(N_B + N_{BG} + N_{BT} \leq (0,51 - 0,80) N_3)$



г) формування виходу потоку з перегону при умові
 $(N_B + N_{BG} + N_{BT} \leq (0,81 - 1,0) N_3)$

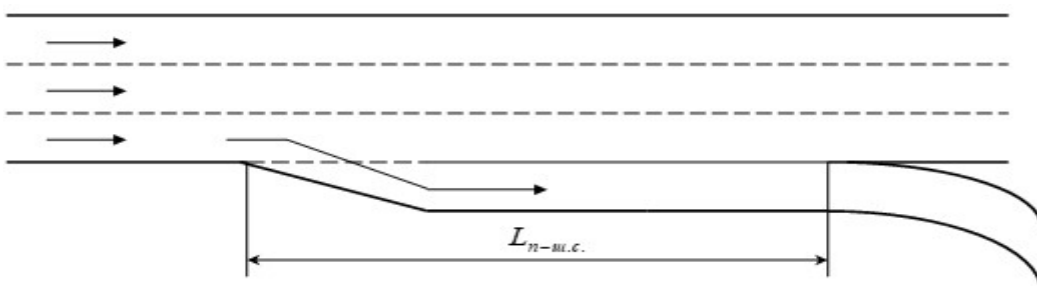


Рисунок 3.12 – Вихід потоку з перегону

Для вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів виділені дві (крайня та середня) смуги руху, відбувається за допомогою введення ділянки переміщення легкового транспорту на середню смугу руху ($L_{\text{пер.}}$), ділянки стабілізації потоку ($L_{\text{с.}}$) та перехідно-швидкісної смуги ($L_{\text{п-ш.с.}}$).

Формування виходу потоку з перегону при умові ($N_{\text{в}} + N_{\text{вт}} + N_{\text{вт}} \leq (0,81-1,0 N_3)$) показано на рисунку 3.12 г). Фізично вихід транспортних засобів відбувається за допомогою перехідно-швидкісної смуги для гальмування потоку ($L_{\text{п-ш.с.}}$). Транспортні засоби переміщуються по ширині проїзної частини вільно.

3.4 Дослідження руху транспортних потоків на елементі «вхід потоку на перегін»

Елемент «вхід потоку на перегін» є найбільш складним як з фізичної точки зору, так і з погляду математичного опису даного процесу. Розглянемо його докладніше. Основною функцією, яку виконує даний елемент, є забезпечення вливання транспортного потоку, що сформувався на підході до перегону, або другорядного транспортного потоку в основний потік, що рухається зовнішньою смугою проїзної частини перегону головної дороги, а потім, в разі потреби, переміщується на інші смуги. Вливання другорядного потоку в основний відбувається в зоні *aa-вв* (рис. 3.13). При цьому слід сказати, що вливання другорядного потоку в основний можливо лише у тих випадках, коли в основному потоці є достатня кількість інтервалів між автомобілями, що дозволяють безпечно здійснення маневру вливання. Інакше другорядний потік утворюватиме чергу автомобілів, які чекатимуть появу такого інтервалу. Таким чином, елемент «вхід потоку на перегін» представляється найбільш складним у всій даній системі «Перегін».

Елемент «вхід потоку на перегін» є самостійною системою масового обслуговування. Покажемо це на прикладі (рис. 3.13). Оскільки будь-яка система масового обслуговування характеризується наявністю потоку вимог або апаратом обслуговування, то необхідно чітко охарактеризувати дану систему.

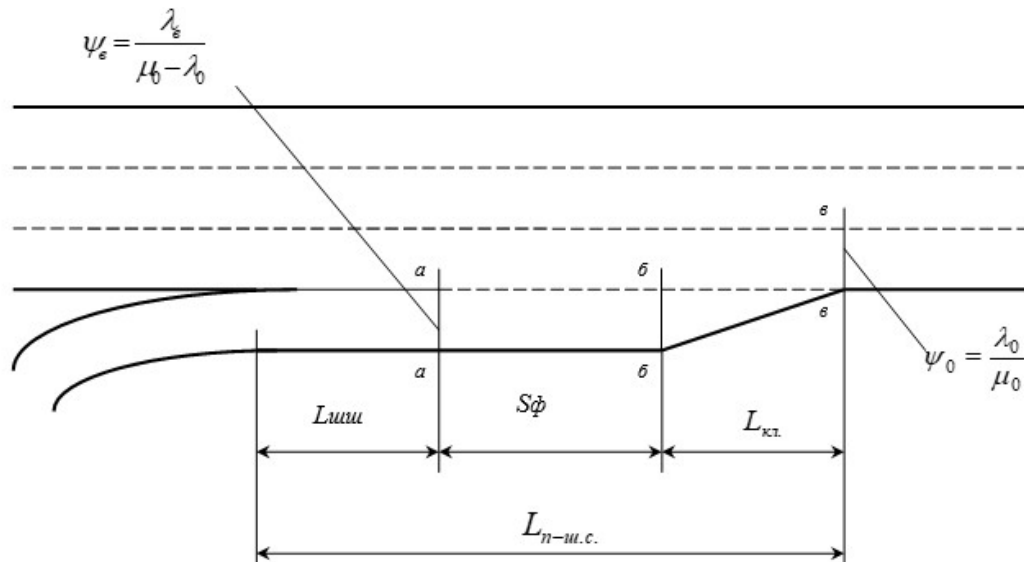


Рисунок 3.13 – Вхід потоку на перегін (Випадок I)

У даній системі «вхід потоку на перегін» апаратом обслуговування є зона $aa-vv$, а точніше поперечний переріз крайньої смуги головної дороги, в якому здійснюється вливання другорядного потоку в основний. При такій постановці питання апарат обслуговування на головній дорозі проводитиме обслуговування відразу двох потоків вимог (автомобілів). Перший потік вимог є транспортний потік на основній дорозі її крайньої смуги і другий -транспортний потік, що входить на основну дорогу.

Досліджуємо: що відбувається в черзі з єдиним апаратом обслуговування, коли вхідний потік вимог (автомобілів) розподіляється за законом Пуассона, а інтервали часу обслуговування – за експоненціальним законом? У всіх процесах масового обслуговування визначення закону розподілу імовірності P_n , числа вимоги в системі складає фундаментальний розрахунок, на підставі якого можуть бути виявлені кількісні співвідношення.

Припустимо, що процес масового обслуговування сталий, тобто що імовірність P_n не змінюється в часі. Взагалі це справедливо тільки для деякого інтервалу часу, величину якого слід визначити в першу чергу. Зміна імовірності P_n може бути викликана двома причинами:

- 1) зміною параметра потоку λ та/або параметра обслуговування μ ;

2) перехідним процесом, що виникає від початку обслуговування і до моменту стабілізації ситуації. Тривалість цього перехідного процесу є функцією λ та μ .

Таким чином, вимірювання або знання λ та μ повинне бути віднесене до інтервалу часу, в якому ці величини розглядаються як постійні, причому цей інтервал повинен бути значно більше інтервалу, необхідного для встановлення процесу. При умові розгляду процесу як сталого імовірність виражається формулою:

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right), \quad (3.19)$$

де $n = 0, 1, 2, 3, \dots n$.

$$0 < \frac{\lambda}{\mu} < 1.$$

Підставляючи $\psi = \frac{\lambda}{\mu}$ одержимо:

$$P_n = (\psi)^n (1 - \psi); \quad 0 < \psi < 1. \quad (3.20)$$

Використовують також зручнішу формулу, яку математики називають рекурентною:

$$P_n = \psi \cdot P_{n-1}; \quad n \geq 1, \quad (3.21)$$

$$\text{при } P_0 = 1 - \psi. \quad (3.22)$$

Імовірність того, що наявне в системі число вимог N менше або дорівнює n , дається формулою:

$$P(N \leq n) = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1 - \psi^{n+1}. \quad (3.23)$$

Імовірність того, що в системі є число вимог N , більше n , дорівнює:

$$P(N > n) = 1 - P(N \leq n) = 1 - (1 - \psi^{n+1}) = \psi^{n+1}. \quad (3.24)$$

Середнє число вимог в системі дається формулою:

$$\bar{n} = 0 \cdot P_0 + 1 \cdot P_1 + 1 \cdot P_2 + \dots + n \cdot P_n \dots \quad (3.25)$$

або

$$\bar{n} = \frac{\psi}{1 - \psi}. \quad (3.26)$$

Для визначення інтенсивності обслуговування, що відповідає деякому середньому числу $\bar{n}$ вимог в системі, можна використовувати формулу:

$$\psi = \frac{\bar{n}}{1 - \bar{n}}. \quad (3.27)$$

Оскільки нами вже описано обидва потоки вимог, як основний транспортний потік так і другорядний, необхідно описати апарат обслуговування.

Якщо наш апарат обслуговування обслуговує відразу два потоки вимог, виникає необхідність описати дисципліну обслуговування, яка полягатиме в першочерговому обслуговуванні основного потоку транспорту. Назвемо його потоком вимог з пріоритетом. Пропускна здатність даної системи обслуговування рівна одиниці, оскільки поперечний перетин *в-в*, що є апаратом обслуговування, може обслуговувати тільки одну вимогу, тобто на поперечному перерізі однієї смуги руху (крайньою) не може знаходитися відразу два автомобілі. У зв'язку з цим, як тільки апарат обслуговування вивільняється від попередньої вимоги (автомобіля), він стає доступним для наступної вимоги (автомобіля), що стоїть в черзі на обслуговування. Таким чином система є повнодоступною. Розподіл часу обслуговування системи буде сумарний розподіл часу обслуговування основного і другорядного потоків. При цьому слід зазначити, що розподіл часу обслуговування другорядного потоку в точності відповідатиме розподілу часових інтервалів між автомобілями в основному транспортному потоці. Насправді, поперечний перетин *в-в* звільняється для обслуговування другорядного потоку тільки в результаті появи інтервалу часу достатнього для здійснення безпечного вливання в основний транспортний потік головної дороги на крайній смузі. Розподіл часу обслуговування основного

транспортного потоку залежить від його параметрів.

Проте, при збільшенні інтенсивності руху на головній дорозі все менше виявляється інтервалів між автомобілями основного потоку, достатніх для здійснення безпечного вливання другорядного потоку в основний. У зв'язку з цим на ділянці входу на перегін починає утворюватися черга автомобілів, що чекають можливості вливання в основний потік на крайній смузі головної дороги. Очевидно, що при невеликій, по кількості автомобілів, черзі і малому часі її існування прийнята схема виходу автомобілів не викликати великих побоювань. Проте із збільшенням довжини черги і часу очікування обслуговування значно зростають втрати часу автомобільного транспорту на здійснення маневру входу на перегін.

Для нормального функціонування система «вхід потоку на перегін» введемо допоміжний апарат обслуговування, яким є перехідно-швидкісна смуга. Тоді вхід потоку на перегін і вливання його в основний потік здійснюватиметься наступним чином. Транспортний потік, що утворюється як другорядний має всі ознаки стаціонарного ординарного потоку з обмеженою післядією, надходить для обслуговування на допоміжний апарат. При цьому допоміжному апарату обслуговування задаються такі характеристики, при яких другорядний транспортний потік після обслуговування його допоміжним апаратом набуває деяких параметрів основного потоку, до якого здійснюється вливання.

Фізичний сенс застосування допоміжного апарату обслуговування полягає не тільки в отриманні деяких параметрів другорядного потоку схожих з параметрами основного (і в першу чергу - середньої швидкості руху), а також в досягненні такого зсуву «фаз» в просторовому розподілі інтервалів між автомобілями в основному і другорядному потоках, який би забезпечував безперешкодне і безпечне вливання другорядного потоку в основний.

Слід зазначити, що застосування допоміжного апарату обслуговування приводить до деякого ускладнення математичного опису роботи всієї системи «вхід потоку на перегін». Так, наприклад, утворюється система послідовного

обслуговування потоку вимог двома апаратами обслуговування та ін. Але тут доречно зробити зауваження, що ми ввели додатковий апарат обслуговування тільки як допоміжний, тому зроблені деякі спрощення в роботі системи цілком виправдовуються.

Випадок I ($N_{\text{в}} + N_{\text{вг}} + N_{\text{вт}} \leq 0,10 N_3$). Коефіцієнти використання системи основного і другорядного потоків відповідно будуть дорівнювати (рис. 3.13):

$$\psi_0 = \frac{\lambda_0}{\mu_0}; \psi_{\epsilon} = \frac{\lambda_{\epsilon}}{\mu_0 - \lambda_0}, \quad (3.28)$$

де λ_0 та μ_0 -параметри основного транспортного потоку, що має абсолютний пріоритет;

λ_{ϵ} та $\mu_0 - \lambda_0$ -параметри другорядного потоку.

При цьому необхідно, щоб:

$$\psi_0 + \psi_{\epsilon} < 1, \quad (3.29)$$

або

$$\frac{\lambda_0}{\mu_0} + \frac{\lambda_{\epsilon}}{\mu_0 - \lambda_0} < 1, \quad (3.30)$$

тобто система працює нормально при:

$$\lambda_{\epsilon} \leq \mu_0 - \lambda_0. \quad (3.31)$$

Вирішуючи рівність:

$$\frac{\lambda_0}{\mu_0} + \frac{\lambda_1}{\mu_0 - \lambda_0} = 1, \quad (3.32)$$

можна визначити необхідну величину пропускну здатності крайньої смуги проїзної частини головної дороги на ділянці злиття потоків μ_0 , яка б забезпечувала взаємодію заданих величин обох потоків. На підставі (3.23) приведений графік для визначення μ_0 .

Використовуємо $F(z, u)$ – функцію розподілу імовірності $P_{(n_0)(n_{\epsilon})}$, що є імовірністю того, що n_0 пріоритетних автомобілів знаходяться в системі

одночасно з $n_{\bar{a}}$ автомобілями другорядного потоку:

$$F(z, u) = \sum_{n_0}^{\infty} \sum_{n_{\bar{e}}}^{\infty} P_{(n_0)(n_{\bar{e}})} z^{n_{\bar{e}}} u^{n_0}, \quad (3.33)$$

$F(z, u)$ є аналітичною функцією від z і u , а формула (3.15) дає її розкладання в степеневий ряд. Розподіл імовірностей випадкових величин n_0 та $n_{\bar{a}}$ однозначно визначається її $F(z, u)$ -функцією. Знаходимо:

$$F(z, u) = \frac{1 - \psi_0 - \psi_{\bar{e}}}{1 - \alpha - z\psi_{\bar{e}}} = \frac{1 - \alpha}{1 - \alpha u}, \quad (3.34)$$

де
$$\lambda = \frac{1}{2\mu_0} \left\{ \mu_0 + \lambda_0 + \lambda_{\bar{e}}(1 - z) - \sqrt{[\mu_0 + \lambda_0 + \lambda_{\bar{e}}(1 - z)]^2 - 4\lambda_0\mu_0} \right\}. \quad (3.17)$$

Знаючи $F(z, u)$ можна отримати середнє число автомобілів, що знаходяться в черзі, утвореній другорядним потоком, що входить на перегін:

$$\bar{n}_{\bar{e}} = \frac{\partial F}{\partial z} \bigg|_{z=u=1} = \psi_{\bar{e}} \frac{\bar{n}_{\bar{e}} \psi_0 / \psi_{\bar{e}}}{1 - \psi_0 - \psi_{\bar{e}}}, \quad (3.35)$$

де
$$\bar{n}_0 = \frac{\partial F}{\partial u} \bigg|_{z=u=1} = \frac{\psi_0}{1 - \psi_0}. \quad (3.36)$$

Звідси ж:

$$\frac{\partial^k}{\partial u^k} = F \bigg|_{z=1} = \psi_0^{n_0} (1 - \psi_0), \quad (3.37)$$

$$P_{(n_0)(n_{\bar{e}})} = \frac{1}{n_0! n_{\bar{e}}!} \cdot \frac{\partial^{n_0+n_{\bar{e}}}}{\partial z^{n_{\bar{e}}} \partial u^{n_0}} \frac{\partial F}{\partial u} \bigg|_{z=u=0}. \quad (3.38)$$

Тоді довжина «фазової» ділянки (або ділянки, на якій розташовується рухома черга автомобілів) визначиться за формулою:

$$\bar{S}_\phi = \bar{V}_0 \cdot \bar{t}_{f_\phi} = \bar{V}_0 \frac{\bar{n}_\phi}{\mu_0}, \quad (3.39)$$

(оскільки «фазова» ділянка повинна мати таку ж пропускну здатність, як і крайня смуга проїзної частини головної дороги з тим, щоб автомобілі затримувалися на ній як можна менше), де $\bar{V}_0$ - середня швидкість руху основного транспортного потоку в місці вливання до нього другорядного;

$$\bar{t}_{f_\phi} \text{ - середній час очікування в черзі: } \bar{t}_{f_\phi} = \bar{n}_\phi / \mu_0.$$

Імовірність очікування можливості вливання в основний потік, величина якого більша, ніж заданий час ω_ϕ дорівнює:

$$P(> \omega) = \psi_\phi e^{-\mu_0(1-\psi_\phi)}. \quad (3.40)$$

Тоді загальна довжина мерехідно-швидкісної смуги, для входу на перегін складе:

$$L_{n-ш.с.} = L_{ш.ш.} + \bar{S}_\phi + L_{кл}, \quad (3.41)$$

де $L_{ш.ш.}$ – довжина швидкісного шлюзу;

$L_{кл}$ – довжина клину відгону.

При цьому режими руху автомобілів на «фазовій» ділянці повинні бути вільними з тим, щоб забезпечити або збільшення швидкості більше $\bar{V}_0$, коли автомобіль наздоганяє інтервал, що йде, між автомобілями в основному потоці, або навпаки - знижує швидкість нижче, ніж $\bar{V}_0$, чекаючи підходу інтервалу, достатнього для безпечного вливання. Вливання може відбуватися в будь-якому місці «фазової» ділянки, тоді як швидкісний шлюз повинен бути відокремлений від крайньої смуги проїзної частини головної дороги (рис. 3.13) для того, щоб другорядний потік не міг виходити на зовнішню смугу до того, поки не закінчилася його трансформація найпростіший потік вимог.

Випадок Па ($N_B + N_{BГ} + N_{BТ} \leq (0,11-0,50) N_3$). Рух вантажних,

великогабаритних та великовантажних транспортних засобів відбувається на відокремленій крайній смузі руху проїзної частини (рис. 3.14). Необхідно забезпечити надходження легкових автомобілів до інших смуг руху проїзної частини.

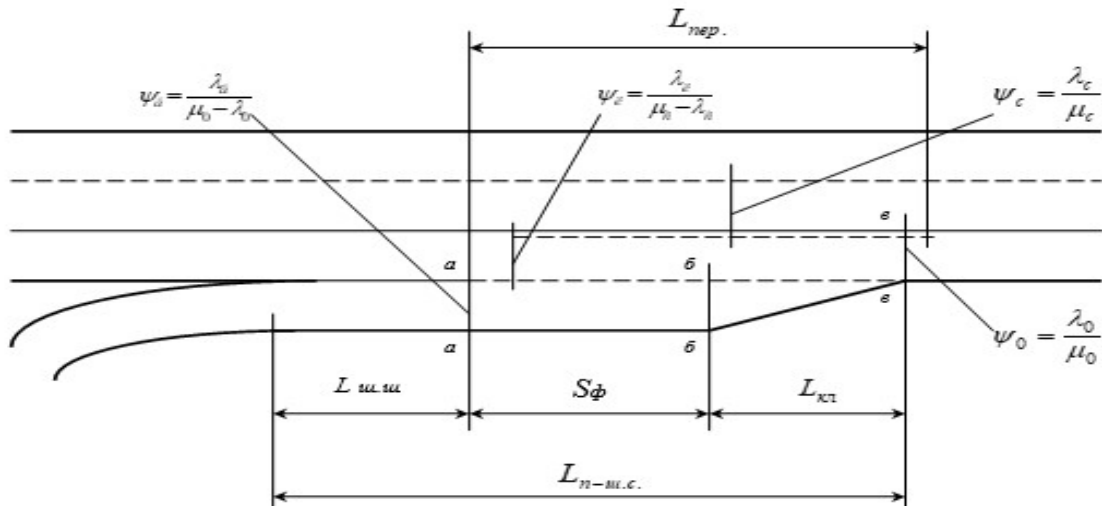


Рисунок 3.14 – Вхід потоку на перегін (випадок IIa)

Система масового обслуговування у цьому випадку абсолютно ідентична розглянутій у випадку I. Коефіцієнти використання системи основного (на крайній смузі) і другорядного (що надходить на перегін) потоків відповідно будуть дорівнювати (рис. 3.13) та розраховуватися за формулами (3.28):

$$\psi_0 = \frac{\lambda_0}{\mu_0}; \quad \psi_a = \frac{\lambda_a}{\mu_0 - \lambda_0}.$$

Довжина „фазової” ділянки (або ділянки, на якій розташовується рухома черга

автомобілів) визначиться за формулою (3.39): $\bar{S}_\phi = \bar{V}_0 \cdot \bar{t}_{f_s} = \bar{V}_0 \frac{\bar{n}_s}{\mu_0}.$

А загальна довжина перехідно-швидкісної смуги для входу на перегін відповідно за формулою (3.41): $L_{п-ш.с.} = L_{ш.ш.} + \bar{S}_\phi + L_{кл.}$

При цьому режими руху автомобілів на „фазовій” ділянці повинні бути вільними з тим, щоб забезпечити або збільшення швидкості більше $\bar{V}_0$, коли

автомобіль наздоганяє інтервал, що йде, між автомобілями в основному потоці, або навпаки – знижує швидкість нижче, ніж $\bar{V}_0$, чекаючи підходу інтервалу, достатнього для безпечного вливання. Вливання може відбуватися в будь-якому місці «фазової» ділянки, тоді як швидкісний шлюз повинен бути відокремлений від крайньої смуги проїзної частини головної дороги (рис. 3.14) для того, щоб другорядний потік не міг виходити на зовнішню смугу до того, поки не закінчилася його трансформація найпростіший потік вимог.

Для забезпечення переходу легкових автомобілів на середню і внутрішню смуги руху проїзної частини улаштовуємо додаткову ділянку $L_{\text{пер.}}$, протягом якої взаємодіють легкові автомобілі на крайньої смуги (як другорядний потік) і транспортний потік на середній смузі руху (як основний транспортний потік).

Коефіцієнти використання системи основного і другорядного потоків відповідно будуть дорівнювати (рис. 3.14) та розраховуватися відповідно до *Випадку I*.

Загальна довжина ділянки переплетення складе:

$$L_{\text{пер.}} = \bar{S}_{\phi_2} + L_{\text{кл}}, \quad (3.42)$$

де $\bar{S}_{\phi_2}$ – довжина „фазової” ділянки;

$L_{\text{кл}}$ – довжина, що дорівнює довжині клину відгону.

Випадок IIб ($N_{\text{в}} + N_{\text{вг}} + N_{\text{вт}} \leq (0,11-0,50) N_3$). Рух вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів відбувається на відокремленій крайній смузі руху проїзної частини (рис. 3.15).

Необхідно забезпечити надходження легкових автомобілів до інших смуг руху проїзної частини.

Система масового обслуговування у цьому випадку абсолютно ідентична розглянутій у *випадку I*. Коефіцієнти використання системи основного (на крайній смузі) і другорядного (що надходить на перегін) потоків відповідно будуть дорівнювати (рис. 3.13):

$$\psi_{\bar{a}} = \frac{\lambda_{\bar{a}}}{\mu_0 - \lambda_0}$$

$$\psi_0 = \frac{\lambda_0}{\mu_0}; \quad \psi_{\bar{a}} = \frac{\lambda_{\bar{a}}}{\mu_0 - \lambda_0}.$$

Довжина «фазової» ділянки (або ділянки, на якій розташовується рухома , – черга автомобілів) визначиться за формулою (3.39).

А загальна довжина перехідно-швидкісної смуги для входу на перегін визначиться за формулою (3.41),

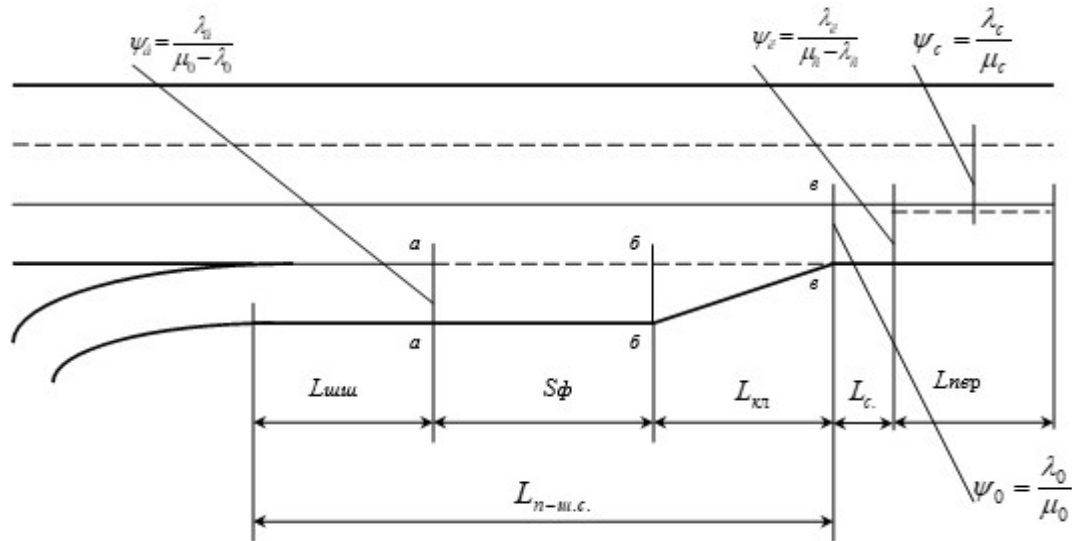


Рисунок 3.15 – Вхід потоку на перегін (випадок Пб)

При цьому режими руху автомобілів на «фазовій» ділянці повинні бути вільними з тим, щоб забезпечити або збільшення швидкості більше $\bar{V}_0$, коли автомобіль наздоганяє інтервал, що йде, між автомобілями в основному потоці, або навпаки -знижує швидкість нижче, ніж $\bar{V}_0$, чекаючи підходу інтервалу, достатнього для безпечного вливання. Вливання може відбуватися в будь-якому місці „фазової” ділянки, тоді як швидкісний шлюз повинен бути відокремлений від крайньої смуги проїзної частини головної дороги (рис. 3.14) для того, щоб другорядний потік не міг виходити на зовнішню смугу до того, поки не закінчилася його трансформація у найпростіший потік вимог.

Для забезпечення переходу легкових автомобілів на середню і внутрішню смуги руху проїзної частини улаштовуємо додаткову ділянку $L_{\text{пер.}}$, протягом якої

взаємодіють легкові автомобілі на крайній смузі (як другорядний потік) і транспортний потік на середній смузі руху (як основний транспортний потік), але не так як виконано у *випадку IIa*, а на відстані L_c (ділянка стабілізації потоку). Довжина ділянки стабілізації потоку на крайній смузі проїзної частини визначається як середня величина шляху, який проходять автомобілі транспортного потоку на крайній смузі після закінчення перехідно-швидкісної смуги для стабілізації потоку за умовами безпеки руху, тт. формування заданого значення середнього квадратичного відхилення ($\sigma_{\text{свд}}$) при заданій величині середньої швидкості руху V_0 транспортного потоку на крайній смузі руху проїзної частини.

Коефіцієнти використання системи основного і другорядного потоків в цьому випадку відповідно будуть дорівнювати (рис. 3.14) та розраховуватися за формулами (3.28) Всі розрахунки проводити відповідно до *Випадку I*.

Тоді довжина «фазової» ділянки на ділянці переплетення (або ділянки, на якій розташовується рухома черга легкових автомобілів і здійснюється їх перехід до середньої смуги руху) визначиться за формулою (3.39):

«Фазова» ділянка повинна мати таку ж пропускну здатність, як і середня смуга проїзної частини головної дороги з тим, щоб автомобілі затримувалися на ній як можна менше. Тоді загальна довжина ділянки переплетення розраховується за формулою (3.42): $L_{\text{пер.}} = \bar{S}_{\phi_2} + L_{\text{кл}}$,

Випадок III ($N_{\text{в}} + N_{\text{вт}} + N_{\text{вт}} \leq (0,51 - 0,80) N_3$). Рух вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів відбувається крайньою і середньою смугами руху проїзної частини (рис. 3.15).

Необхідно забезпечити надходження легкових автомобілів до внутрішньої смуги руху проїзної частини.

Система масового обслуговування у цьому випадку абсолютно ідентична розглянутій у *випадку I*.

Коефіцієнти використання системи основного і другорядного потоків при

вході на крайню смугу рух відповідно будуть дорівнювати (рис. 3.15) та розраховано за формулами (3.28).

Тоді довжина «фазової» ділянки (або ділянки, на якій розташовується рухома черга автомобілів) визначиться за формулою (3.39).

А загальна довжина перехідно-швидкісної смуги для входу на перегін визначається за формулою (3.41).

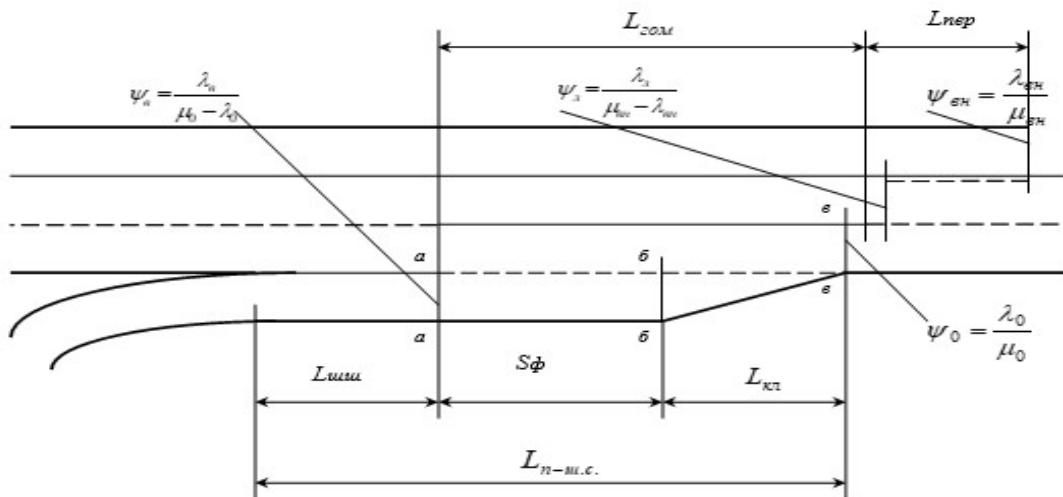


Рисунок 3.16 – Вхід потоку на перегін (випадок III)

При цьому режими руху автомобілів на «фазовій» ділянці повинні бути вільними з тим, щоб забезпечити або збільшення швидкості більше $\bar{V}_0$, коли автомобіль наздоганяє інтервал, що йде, між автомобілями в основному потоці, або навпаки – знижує швидкість нижче, ніж $\bar{V}_0$, чекаючи підходу інтервалу, достатнього для безпечного вливання. Вливання може відбуватися в будь-якому місці «фазової» ділянки, тоді як швидкісний шлюз повинен бути відокремлений від крайньої смуги проїзної частини головної дороги (рис. 3.15) для того, щоб другорядний потік не міг виходити на зовнішню смугу до того, поки не закінчилася його трансформація у найпростіший потік вимог.

Для забезпечення упорядкованого переходу легкових автомобілів на середню смугу руху улаштовуємо ділянку гомогенності потоку на крайній і середній смугах руху шляхом заборони переміщення між ними протягом цієї

ділянки, а для переходу легкових автомобілів на внутрішню смугу руху проїзної частини улаштовуємо додаткову ділянку $L_{\text{пер.}}$, протягом якої взаємодіють легкові автомобілі на середній смузі (як другорядний потік) і транспортний потік на внутрішній смузі руху (як основний транспортний потік).

Коефіцієнти використання системи основного і другорядного потоків в цьому випадку відповідно будуть дорівнювати (рис. 3.15) та розраховуватися за формулами (3.28). Всі розрахунки відповідно до *Випадку I*.

Довжину «фазової» ділянки визначаємо за формулою (3.39).

Загальна довжина ділянки переплетення визначається за формулою (3.42).

Випадок IV ($N_s + N_{\text{ср}} + N_{\text{вн}} \leq (0,81-1,0) N_s$). Рух транспортних засобів відбувається всіма смугами руху проїзної частини. Організація входу другорядного потоку на перегін відбувається відповідно до першого випадку (рисунок 3.17).

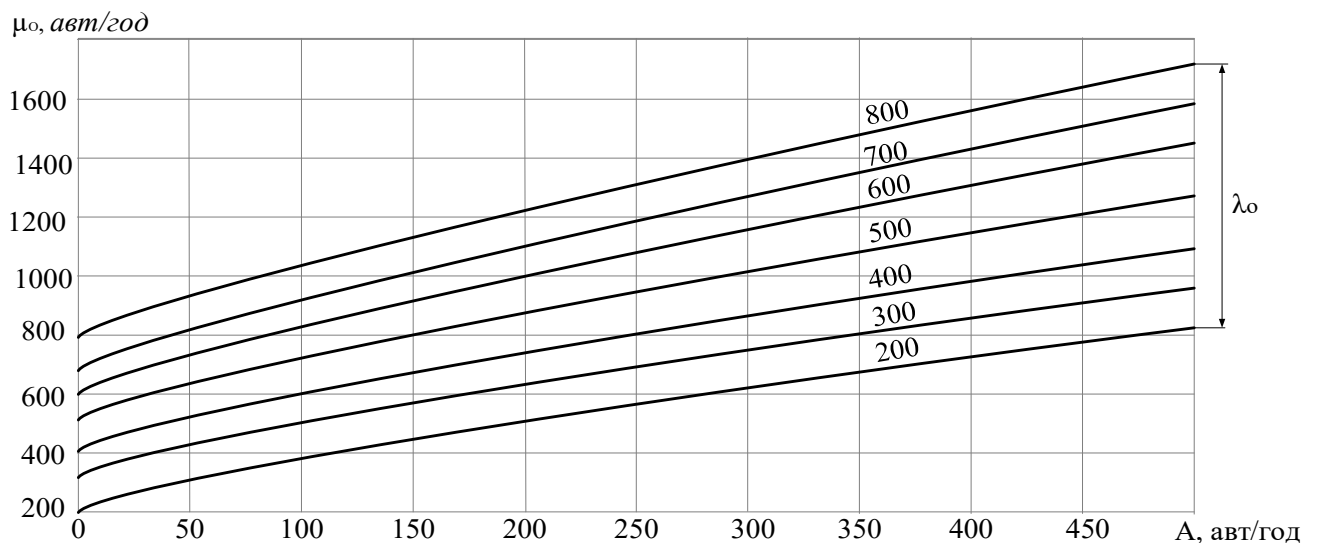


Рисунок 3.17 – Графік щодо визначення пропускної здатності зовнішньої смуги проїзної частини основної дороги

3.5 Дослідження руху транспортних потоків на елементі «вихід потоку з перегону»

Розглянемо елемент «вихід потоку з перегону», який є самостійною системою масового обслуговування.

Випадок I. На перегоні смуги руху не розділені суцільною лінією, що означає, що транспортні засоби різних типів рухаються у суцільному потоці, взаємодіють між собою, використовуючи всі смуги руху проїзної частини магістралі. На рисунку 3.17 наведено формування виходу потоку з перегону при умові ($N_{\text{в}} + N_{\text{вг}} + N_{\text{вт}} \leq 0,10N_3$).

Основний транспортний потік, що рухається зовнішньою смугою проїзної частини головної дороги, в зоні виходу потоку з перегону починає розподілятися, утворюючи при цьому два потоки. Один, основний, продовжуватиме рух в прямому напрямі і другий, другорядний - поступає на вихід з перегону.

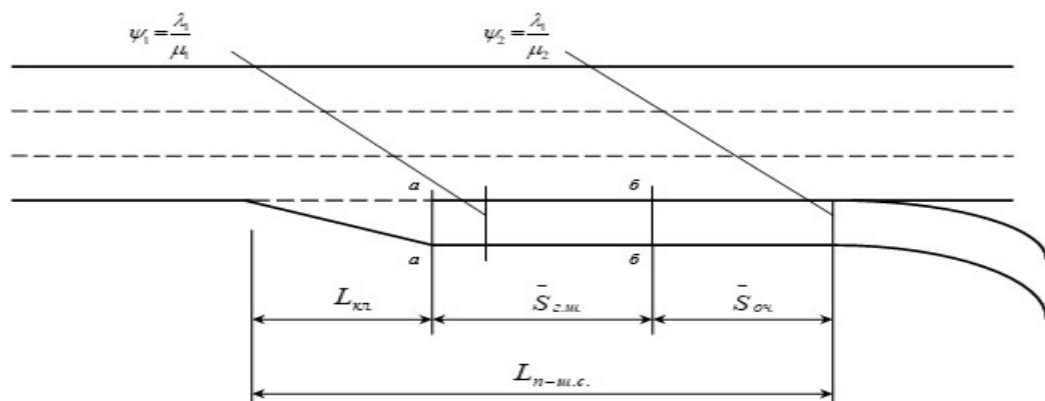


Рисунок 3.18 – Вихід потоку з перегону (випадок I)

Вхідний потік автомобілів на апарат обслуговування, яким є поперечний переріз крайньої смуги проїзної частини буде, як указувалося вище, простим, тобто стаціонарним ординарним без післядії. Пропускна здатність апарату обслуговування дорівнює одиниці, оскільки поперечний переріз смуги може обслуговувати одночасно тільки один автомобіль. По мірі звільнення апарату обслуговування від попереднього автомобіля до обслуговування приймається наступний за ним автомобіль. Таким чином, система є повнодоступною, а дисципліна обслуговування полягає в обслуговуванні вимог (автомобілів) у міру надходження із загальної черги.

Обидва потоки, що виходять, як основний, так і другорядний будуть простими, оскільки тут має місце ефект просіювання, коли закон розподілу імовірності появи буде той же, що і у вхідного потоку, проте параметри їх

відрізняються від параметрів останнього, такого, що утворив їх. Це важливо встановити, оскільки і основний, і другорядний потоки поступають в інші системи обслуговування.

Проте, прийнята схема «виходу потоку з перегону» не задовольняє умовам нормального розділення основного потоку, тобто коли другорядний потік не є перешкодою для основного, у зв'язку з необхідним зниженням швидкості руху для виходу з перегону.

Досліджуємо, що відбувається в черзі з єдиним апаратом обслуговування, коли вхідний потік вимог (автомобілів) розподіляється за законом Пуассона, а інтервали часу обслуговування – за експоненціальним законом. У всіх процесах масового обслуговування визначення закону розподілу імовірності P_n , числа вимоги в системі складає фундаментальний розрахунок, на підставі якого можуть бути виявлені кількісні співвідношення.

Припустимо, що процес масового обслуговування сталий, тобто що імовірність P_n , не змінюється в часі. Взагалі це справедливо тільки для деякого інтервалу часу, величину якого слід визначити в першу чергу. Зміна імовірності P_n може бути викликана двома причинами:

- 1) зміною параметра потоку λ і(або) параметра обслуговування μ ;
- 2) перехідним процесом, що виникає від початку обслуговування і до моменту стабілізації ситуації. Тривалість цього перехідного процесу є функцією λ та μ .

Таким чином, вимірювання або знання λ та μ повинно бути віднесено до інтервалу часу, в якому ці величини розглядаються як постійні, причому цей інтервал повинен бути значно більше інтервалу, необхідного для встановлення процесу.

Для визначення інтенсивності обслуговування, відповідної деякому середньому числу n вимог в системі, можна використати формулу:

$$\bar{\psi} = \frac{\bar{n}}{1 - \bar{n}}. \quad (3.46)$$

При цьому коефіцієнт використання системи на перехідно-швидкісній смузі буде, а на виході, тт. система працюватиме нормально тоді, коли число автомобілів, що надійшло в систему в одиницю часу, дорівнюватиме числу автомобілів, що покидають її в результаті обслуговування.

При значному збільшенні інтенсивності руху потоку, що виходить з перегону, може утворитися черга автомобілів, які будуть вимушені зупинятися для очікування обслуговування з'їздом розв'язки. Середнє число автомобілів в черзі отримуємо таким чином.

Якщо n_1 – число вимог в системі, а γ – в черзі, то

$$\gamma = \begin{cases} n_1 & \text{якщо } n_1 = 0 \\ n_1 - 1 & \text{якщо } n_1 > 0 \end{cases}. \quad (3.47)$$

$$\text{З цього не виходить, що } \bar{\gamma} = \bar{n} - 1. \quad (3.48)$$

Насправді:

$$\bar{\gamma} = \bar{n} - 1 + P_{02} = \frac{\bar{\psi}_2}{1 - \bar{\psi}_2} - \bar{\psi}_2 = \frac{\bar{\psi}_2^2}{1 - \bar{\psi}_2}. \quad (3.49)$$

Той факт, що із співвідношення (3.47) не виходить вираз (3.49), не є парадоксальним. Треба пам'ятати, що апарати обслуговування не завжди бувають зайнятими і що середнє число вимог, які знаходяться в обслуговуванні, дорівнює не 1, а $1 - P_{02}$.

Середній час очікування в черзі (без обліку часу обслуговування) виражається формулою:

$$\bar{t}_{f_1} = \frac{\bar{\gamma}}{\lambda_1} = \frac{1}{\mu_2} \cdot \frac{\bar{\psi}_2}{1 - \bar{\psi}_2} = \frac{\bar{n}_1}{\mu_2}. \quad (3.50)$$

Це співвідношення отримуємо, міркуючи таким чином. При сталому режимі з обслуговування в середньому виходить стільки ж автомобілів, скільки

і надходить в нього. Оскільки надходить λ_1 автомобілів в одиницю часу, маємо:

$$\bar{t}_{f_1} = \frac{\bar{\gamma}}{\lambda_1}. \quad (3.51)$$

Тоді загальна довжина смуги для виходу з перегону дорівнює:

$$L_{n-ш.с.} = L_{кл.} + L_{з.ш.} + S_{оч}, \quad (3.52)$$

де $L_{кл.}$ – довжина клину відгону;

$L_{з.ш.}$ – довжина гальмівного шляху;

$S_{оч}$ – довжина ділянки очікування.

Випадок II. Формування входу потоку на перегін при умові

$(N_{в} + N_{вт} + N_{вт} \leq (0,11-0,50) N_3)$ подано на рис. 3.19, для вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів виділена одна (крайня) смуга руху, на останніх смугах руху відбувається рух легкового автомобільного транспорту, причому автомобілі взаємодіють між собою, використовуючи обидві смуги руху (середню і внутрішню).

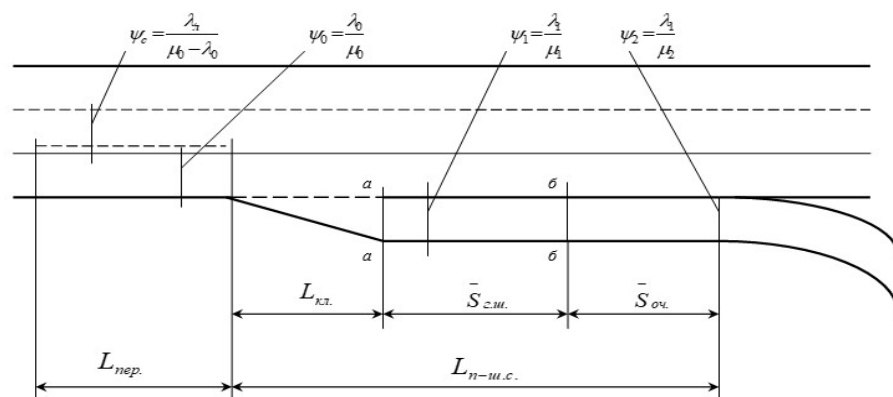


Рисунок 3.19 – Вихід потоку з перегону (випадок II)

Але для того, щоб легковий транспорт потрапив до крайньої смуги з метою виходу потоку з перегону, необхідно ввести ділянку для переміщення легкового транспорту з середньої смуги на крайню ($L_{пер.}$), яка розміщується до початку перехідно-швидкісної смуги (рис. 3.19). Коефіцієнти використання системи основного і другорядного (на середній смузі проїзної частини) відповідно будуть

дорівнювати:

$$\psi_0 = \frac{\lambda_0}{\mu_0}; \quad \psi_0 = \frac{\lambda_{\text{л}}}{\mu_0 - \lambda_0}, \quad (3.53)$$

де λ_0 та μ_0 – параметри основного транспортного потоку, що має абсолютний пріоритет; $\lambda_{\text{л}}$ та $\mu_0 - \lambda_0$ – параметри другорядного потоку.

$$\text{При цьому необхідно, щоб: } \psi_0 + \psi_c < 1, \quad (3.56)$$

$$\text{або} \quad \frac{\lambda_0}{\mu_0} + \frac{\lambda_{\text{л}}}{\mu_0 - \lambda_0} < 1, \quad (3.57)$$

тобто система працює нормально при:

$$\lambda_{\text{л}} \leq \mu_0 - \lambda_0. \quad (3.58)$$

Тоді довжина «фазової» ділянки на ділянці переплетення, на якій здійснюється перехід легкового автомобільного транспорту на крайню смугу руху проїзної частини дорівнює:

$$\bar{S}_{\phi} = \bar{V}_0 \cdot \bar{t}_{f_1} = \bar{V}_0 \frac{\bar{n}_{\text{л}}}{\mu_0}, \quad (3.59)$$

де $\bar{V}_0$ – середня швидкість руху на крайній смузі; $\bar{t}_{f_1}$ – середній час очікування у рухомій черзі:

$$\bar{t}_{f_1} = \frac{\bar{n}_{\text{л}}}{\mu_0}, \quad (3.60)$$

де $\bar{n}_{\text{л}}$ – середня кількість легкових автомобілів у черзі, оскільки ділянка переплетення повинна мати таку ж пропускну здатність як крайня смуга проїзної частини головної дороги.

Тоді загальна довжина ділянки переплетення складась:

$$L_{пер} = \bar{S}_\phi + L_{кл.} \quad (3.61)$$

Довжина перехідно-швидкісної смуги для виходу з перегону визначається за формулою (3.52) з випадку I.

Випадок IIIa. Формування виходу потоку з перегону при умові

$(N_B + N_{BG} + N_{BT} \leq (0,51 - 0,80) N_3)$ подано на рис. 3.19, для вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів виділені дві крайні смуги руху, а на внутрішній смузі руху відбувається рух легкового автомобільного транспорту. Але для того, щоб легковий транспорт потрапив до середньої смуги з метою виходу потоку з перегону, необхідно ввести ділянку для переміщення легкового транспорту з внутрішньої смуги на середню ($L_{пер.}$), яка розміщується до початку перехідно-швидкісної смуги (рис. 3.20). Але для того, щоб легковий транспорт потрапив до крайньої смуги у складі основного потоку, необхідно ввести ділянку стабілізації потоку (L_c), яка починається після ділянки переплетення і закінчується на початку перехідно-швидкісної смуги.

Все як у випадку II.

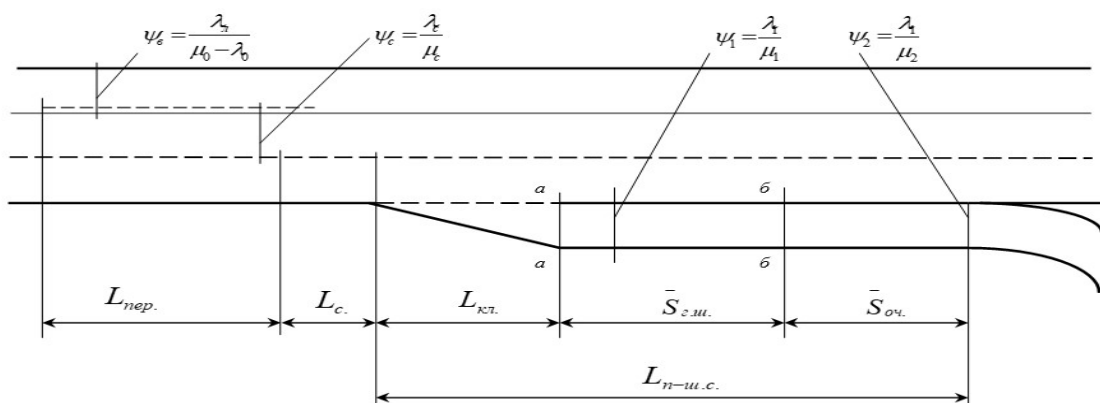


Рисунок 3.20 – Вихід потоку з перегону (випадок IIIa)

Довжина «фазової» ділянки на ділянці переплетення – яку у випадку II.

Довжина перехідно-швидкісної смуги для виходу з перегону визначається за формулами з випадку I.

Випадок IIIб. Відрізняється від випадку IIIa тим, що при наявності

достатнього місця на розділювальній смузі автомагістралі або при роздільному проектування напрямків проїзної частини можливо додати додаткову смугу, яка буде полегшувати ситуацію з умовами руху на ділянці переплетення ($L_{\text{пер.}}$). Довжина додаткової смуги становить:

$$L_{\text{дод.}} = L_{\text{кл.}} + \bar{S}_{\phi} + L_{\text{кл.}}, \quad (3.62)$$

де $\bar{S}_{\phi}$ – довжина «фазової» ділянки;

$L_{\text{кл.}}$ – довжина клину відгону.

Визначивши оптимальну довжину перехідно-швидкісної смуги руху та позначивши її відповідною дорожньою розміткою зменшуєть кількість конфліктних точок. Таким чином можемо визначити відсоток зменшення кількості ДТП на вході на магістраль та на виході з магістралі. При хаотичному русі транспортних потоків існує безліч конфліктних точок, оскільки немає заборон для здійснення різних маневрів водіям транспортних засобів. А за допомогою перехідно-швидкісної смуги на яку нанесено відповідну дорожньою розмітку кількість конфліктних точок зменшується до однієї, таким чином кількість дорожньо-транспортних пригод зменшується до 10%. За відповідними підрахунками з урахуванням умови виконання правил дорожнього руху цей відсоток підтверджується. Якщо на досліджувану ділянці виникло 13 ДТП при дозволеному перестроюванні на всій протяжності перехідно-швидкісної смуги, а при зміні вимог дорожньої розмітки із дозволеним перестроюванням в одній точці, кількість ДТП коливається : 10-11 пригод.

3.6 Висновки до розділу

Досліджено рух транспортних потоків у системі «вхід потоку на перегін» та окремо – «вихід потоку з перегону», у результаті чого встановлено підходи до управління транспортними потоками на вході на магістраль та на виході з магістралі з урахуванням різних дорожніх умов та різного складу транспортного потоку.

Розроблено метод управління транспортними потоками в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі на основі теорії масового обслуговування та технічних засобів організації дорожнього руху. Визначено, що за допомогою цього методу, можливе здійснення аналізу та прийняття відповідних рішень щодо прогнозування місць утворення конфліктних точок, спричинених геометричними параметрами автомобільної дороги.

Використання різної комбінації дорожньої розмітки, дасть змогу зменшити кількість конфліктних точок і як наслідок – зменшення ймовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод, а також безпечно перерозподілити транспортні потоки при вході на магістраль та виході з магістралі.

Для безпечного здійснення маневру, а саме, щоб легковий транспорт потрапив до середньої смуги з метою виходу з магістралі запропоновано ділянку для переміщення легкового транспорту з внутрішньої смуги на середню, яка розміщується до початку перехідно-швидкісної смуги. Для того, щоб легковий транспорт потрапив до крайньої смуги у складі основного потоку, запропоновано ділянку стабілізації потоку, це дасть змогу плавного та безпечного виходу з магістралі не створюючи конфліктних умов руху для всього транспортного потоку.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ В МІСЦЯХ ВХОДУ НА МАГІСТРАЛЬ ТА ВИХОДУ З МАГІСТРАЛІ

4.1 Часові інтервали – основна характеристика умов руху

Питання правильного визначення пропускної здатності є важливим і актуальним, оскільки для успішного рішення цілої низки задач необхідно володіти точними даними про умови руху. Найбільш широке застосування дані про величину пропускної здатності мають в області організації дорожнього руху, у тому числі, також в автоматизованих системах управління рухом на автомобільних магістралях.

Одним з важливих показників, що використовуються для оцінки умов руху, є коефіцієнт завантаження дороги рухом. Він являє собою відношення фактичної інтенсивності руху і величини пропускної здатності ділянки дороги:

$$Z = \frac{N}{P}. \quad (4.1)$$

Значення коефіцієнта завантаження може змінюватися від 0 до 1. При різних значеннях Z забезпечуються різні рівні зручності і безпеки руху [24, 53, 46, 55, 70].

Завантаження автомобільної дороги залежить не тільки від відповідності дорожніх умов вимогам транспортного потоку, але й від правильного вибору методів організації руху, який визначає ефективність їх роботи у конкретних умовах руху. Тому вибір методів організації руху, спрямованих на підвищення пропускної здатності дороги, виконується на підставі рівнів завантаження – кожному рівню відповідають рекомендації, що враховують умови руху при даному рівні завантаження [12, 40].

Таблиця 4.1 – Рівні завантаження дороги рухом

Рівень завантаження	Стан потоку	Характеристики руху
0,2	Вільний	Автомобілі рухаються у вільних умовах, взаємодія відсутня
0,2 – 0,45	Частково зв'язаний	Автомобілі рухаються групами, виконується багато обгонів
0,45 – 0,70	Зв'язаний	В потоці існує ще великі інтервали між автомобілями, обгони утруднені
0,70 – 1,0 0; 1,0	Щільно насичений Щільно насичений	Суцільний потік, малі швидкості руху Потік рухається із зупинками

Зміна рівня завантаження призводить як до зміни режиму руху, так і вимог до методів організації руху, ефективність роботи яких залежатиме від того, наскільки правильно враховані умови, за яких вони застосовуються.

При розробці заходів [111-116, 118] з організації руху потрібно гнучко враховувати зміни стану транспортного потоку. Через це потрібно вибирати засоби організації руху, котрі дозволяли б підтримувати оптимальні режими руху по мірі зміни завантаження дороги. Це дозволило б забезпечувати економічність, зручність і безпеку руху.

Кафедрою проектування доріг МАДІ були проведені дослідження по встановленню оптимального коефіцієнта завантаження щодо умов роботи водія [24 53]. Середнє його значення склало 0,7. Дослідження свідчать про те, що вимоги зручності і безпеки руху відповідають достатньо високому коефіцієнту завантаження та обумовлюють широке застосування засобів організації руху при високих значеннях інтенсивності руху. Вони повинні бути спрямовані на краще використання ширини проїзної частини, на забезпечення дотримування водієм безпечного мінімального інтервалу.

Для підтримки оптимального рівня завантаження дороги рухом необхідно гнучко враховувати зміну стану транспортного потоку. Таку можливість, повною мірою, дають автоматизовані системи управління рухом, у яких на основі збору й аналізу інформації про параметри транспортного потоку і погодних умов виробляється постійна оцінка умов руху на магістралі і

відповідно до неї вибирається оптимальний режим руху. Керуючі впливи доводяться до водіїв за допомогою підсистеми відображення інформації.

Для здійснення управління рухом автомагістраль розбивається на типові елементи управління рухом. Така типізація елементів управління рухом дозволяє автоматизувати проектування як підсистеми збору інформації, так і підсистеми відображення інформації на дорозі. На типових елементах встановлюється апаратура збору інформації у вигляді різних датчиків і апаратура відображення інформації у виді багатопозиційних інформаційних табло і багатопозиційних дорожніх знаків. Види інформації, одержувані з дороги: інтенсивність руху, швидкість руху, склад транспортного потоку, інтервали слідування автомобілів, утворення ожеледиці, виявлення ДТП тощо. Стратегія управління побудована на принципі «критична ситуація – рішення». У кожному конкретному випадку виникнення критичної ситуації у підсистемі матзабезпечення приймається рішення, яке реалізується через команди на засоби відображення управляючих впливів.

Виходячи з викладеного, стає очевидним, наскільки важливим є володіння точними даними про величину пропускної здатності у конкретний момент часу. Величина пропускної здатності ділянки дороги може змінюватися у часі в 1,5 – 1,7 рази, що вказує на необхідність розгляду величини пропускної здатності як просторово-часової характеристики [70 – 73].

Розподіл часових інтервалів між автомобілями є тією характеристикою, що найповніше відображає всі процеси, що проходять у транспортному потоці й безпосередньо або непрямо пов'язана з усіма факторами, що формують умови руху [71 – 73]. Тому пропонується використовувати розподіл часових інтервалів між автомобілями у транспортному потоці в якості показника для оцінки стану системи ДУ – ТП: величини пропускної здатності, швидкості руху та безпеки руху.

Одним з найбільш цікавих питань при дослідженні способів управління транспортними потоками – це визначити на скільки підвищується пропускна

здатність дороги від введення спеціальних смуг руху для формування однорідних транспортних потоків на смугах проїзної частини автомагістралей, тобто коли введена заборона руху для вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів «швидкими» (лівими) смугами руху на магістральній вулично-дорожній мережі.

Часові інтервали (інтервали слідування), що характеризують маневрування автомобілів на багатосмугових дорогах, залежать від інтенсивності руху. З ростом інтенсивності руху потреба у зміні смуг руху збільшується, у той час як можливість їх реалізації безперервно зменшується. Це відбувається через скорочення кількості інтервалів на попутних смугах, що можуть бути використані для маневрування. Так, при зміні інтенсивності руху в одному напрямку на чотирисмуговій дорозі з 400 авт./год до 2000 авт./год кількість інтервалів менше 5 – 7 с збільшується з 70% до 95%, а більше 10 с зменшується з 30% до 2%.

Це пов'язано, у першу чергу, з вирівнюванням швидкостей по смугах руху, що приводить до зменшення відносної швидкості при зміні смуг. Друга причина пов'язана зі зменшенням в основному потоці інтервалів, тривалість яких дозволяє вільне переміщення. Фактична швидкість руху, положення автомобіля у поперечному перерізі дороги і дистанція (інтервал) до автомобіля, що рухається попереду, пов'язані безпосередньо з мотиваційними силами та жорсткістю цільових установок [74,75]. Цільові установки можуть біти представлені у формі:

$$V = f(V_z), \quad x = f(x_z), \quad (4.2)$$

$$l = f(l_z), \quad (4.3)$$

де V , x , l – відповідно фактична швидкість руху, відстань від крайки проїзної частини до водія у поперечному перерізі дороги і дистанція між автомобілями, що рухаються один за одним;

V_3, x_3, l_3 – ті ж задані параметри, що перетворюються до виду:

$$V = V_3, \quad x = x_3, \quad (4.4)$$

$$l = l_3.$$

Тому водії ризикують і використовують для маневрування малі інтервали у щільному транспортному потоці, впливаючи тим на швидкості руху інших автомобілів, пропускну здатність та рівень безпеки руху.

Принципово з припиненням змін смуг руху транспортний потік може ще видозмінюватися за рахунок зменшення інтервалів між автомобілями до мінімальних, поки досягне крайнього насичення. Крім інтенсивності руху на часові інтервали, що використовуються для маневрування, впливає також положення автомобілів на проїзній частині, тобто з якої смуги і на яку переміщується автомобіль. З підвищенням інтенсивності руху збільшується довжина зони переміщення, що необхідна для зміни смуги руху, при цьому змінюється і вплив швидкостей руху у зоні переміщення [118 – 129, 134].

У залежності від бажаної швидкості руху, а також поведінки інших водіїв водій вибирає прийнятний у даних умовах інтервал до автомобіля, що рухається попереду, формуючи при цьому внутрішню структуру транспортного потоку та величину пропускну здатності. Оскільки всі водії відрізняються поміж собою за рівнем кваліфікації та своїми психофізіологічними особливостями, то відстань, яку обирає водій не буде визначатися однозначно як функція розподілу швидкостей руху в транспортному потоці. Через останнє саме розподіл часових інтервалів між автомобілями є вихідним параметром взаємодії характеристик системи ДУ – ТП.

Для того, щоб найповніше урахувати вплив характеристик системи ДУ – ТП на процес формування умов руху, слідє вирішити це питання на підставі дослідження руху транспортного потоку в реальних умовах його роботи [135 – 137].

У транспортному потоці розрізняють часові інтервали двох типів: заміряні

безпосередньо між автомобілями, що рухаються, або між заднім бампером переднього автомобіля та переднім бампером заднього.

На відміну від дистанції часовий інтервал легко піддається виміру.

Знаючи величини часових інтервалів і швидкості руху автомобілів можна легко перейти до інтервалу по довжині ($\Delta S = \Delta t \cdot V$) або дистанції ($d = \delta t \cdot V$).

Розподіл часових інтервалів між автомобілями в транспортному потоці має випадковий характер через вплив на нього великої кількості факторів. Більшість виконаних раніше досліджень торкалися розподілу інтервалів в транспортних потоках невисокої щільності. Характер зміни параметрів розподілу часових інтервалів у щільних транспортних потоках має свої особливості.

З точки зору визначення величини пропускної здатності становить інтерес дослідження мінімальних часових інтервалів [40, 71]. Такі інтервали спостерігаються у щільних транспортних потоках, що рухаються в режимі, наближеному до режиму пропускної здатності.

Головною причиною зниження величини пропускної здатності є нерівномірність руху транспортних потоків. Характеристикою, що визначає цю нерівномірність та відображає імовірнісний характер транспортних потоків, їх динаміку та внутрішню структуру, є розподіл часових інтервалів між автомобілями в щільному транспортному потоці. При виборі інтервалу в щільному транспортному потоці особливу значимість має поведінка інших водіїв. Це є однією з причин того, що щільний транспортний потік зберігає імовірнісний характер, хоча він і стає менш помітним у порівнянні з потоками більш низької щільності.

Рухаючись у щільному транспортному потоці, водій вибирає мінімальний інтервал до автомобіля, що рухається попереду, в залежності від його швидкості, типу, керуючись при цьому власним досвідом, рівнем кваліфікації тощо. Оскільки всі водії різні, то відстань, не дивлячись на вагомість таких факторів, як швидкість і склад транспортного потоку, все ж таки не визначається однозначно як функція цих факторів.

На відміну від гідродинамічної моделі, що використовується для визначення пропускної здатності, де описується рух ідеалізованого однорідного потоку автомобілів необмеженої довжини, у реальних умовах руху при русі транспортного потоку у режимі, близькому до режиму пропускної здатності, не відбувається переходу до суворого колонного руху. Завжди спостерігається розкид інтервалів між автомобілями.

Оскільки часові інтервали між автомобілями уявляють собою безперервну випадкову величину, то для опису розподілу інтервалів у транспортному потоці можуть бути використані такі розподіли: експоненційний, Пірсона III типу, нормальний логарифмічний, гама-розподіл, розподіл Ерланга. Кожний з них має свою область застосування, що визначається умовами руху.

Спостереження за щільними транспортними потоками, близькими до режиму пропускної здатності дороги, дозволили встановити, що розподіл часових інтервалів між автомобілями в таких потоках достатньо точно описується нормальним логарифмічним законом розподілу [70, 71].

Часовий інтервал між автомобілями уявляє собою випадкову величину, тому для завдання закону її розподілу достатнім є задати щільність розподілу її імовірностей $\varphi(x)$ [61, 71, 73, 76, 77].

Щільність імовірностей нормального логарифмічного розподілу визначається рівнянням:

$$\varphi(x, x_0, \sigma_z) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0; \\ \frac{1}{M_1 \sigma_z (x - 0,5) \sqrt{2\pi}} l^{\frac{u^2}{2}}, & \text{при } x > 0. \end{cases} \quad (4.5)$$

Функція розподілу дорівнює:

$$F(x, x_0, \sigma_z) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq 0; \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{t^2}{2}} dt, & \text{при } x > 0; \end{cases} \quad (4.6)$$

$$u = \frac{\lg(x - 0,5) - \lg x_0}{\sigma_z}; M_1 = \frac{1}{\lg e} = 2,303.$$

Нормальний логарифмічний розподіл визначається двома параметрами $x_0 : \sigma_z$. Величина $\lg x_0$ є математичним чеканням випадкової величини Z , а σ_z - її середнє квадратичне відхилення.

Математичне чекання, дисперсія та середнє квадратичне відхилення випадкової величини X дорівнюють:

$$\bar{x} = x_0 \cdot e^{2,651\sigma_z^2}, \quad (4.7)$$

$$D = \bar{x}^2 \left[\left(\frac{\bar{x}}{x_0} \right)^2 - 1 \right], \quad (4.8)$$

$$\sigma = \sqrt{D} = \bar{x} \sqrt{\left(\frac{\bar{x}}{x_0} \right)^2 - 1}. \quad (4.9)$$

Таблиця 4.2 – Характеристики розподілу часових інтервалів у щільних транспортних потоках

№ спостереження	Середня довжина автомобіля l_a , м	Середня швидкість ТП V , км/Г	Середнє значення інтервалу t , с	Дисперсія D , с	Середнє квадратичне відхилення, σ , с	Модальне значення інтервалу t_m , с
1	2	3	4	5	6	7
1	5,3	56	1,28	0,080	0,285	1,10
2	3,2	54	1,49	0,285	0,536	1,21
3	3,5	56	1,64	0,498	0,705	1,30
4	7,6	52	2,45	0,722	0,850	0,93
5	7,0	44	1,36	0,152	0,390	1,20
6	8,0	50	1,22	0,161	0,401	1,05
7	7,2	56,5	1,43	0,392	0,636	1,10
8	12,6	49,4	1,40	0,245	0,495	1,17
9	7,7	50,0	1,33	0,290	0,537	1,10
10	6,5	57	1,71	0,448	0,669	1,40
11	5,3	42	1,37	0,443	0,666	1,00
12	6,5	43	1,49	0,441	0,641	1,15

Кінець таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7
13	7,0	57	1,42	0,171	0,414	1,25
14	8,1	58	1,31	0,337	0,581	1,00
15	6,2	51	1,38	0,190	0,446	1,10
16	7,2	56	1,45	0,220	0,469	1,25
17	5,7	62	1,46	0,306	0,553	1,20
18	7,0	61	2,19	1,797	1,341	1,36
19	5,5	56	1,48	0,446	0,668	1,15
20	7,0	52	1,78	0,724	0,851	1,30
21	4,8	51	1,34	0,155	0,394	1,20
22	5,4	67	2,50	4,920	2,210	1,00
23	7,0	60	1,49	0,586	0,766	1,30
24	5,3	53	2,29	4,190	2,048	1,00
25	5,0	50	2,08	1,472	1,213	1,40
26	7,0	56	2,32	2,428	1,558	1,35
27	5,9	52	3,07	8,486	2,913	1,20
28	6,3	52	1,85	2,330	1,527	0,90
29	9,7	59	1,57	1,195	1,093	0,85
30	7,3	56	1,46	0,504	0,710	1,10

Порівняння емпіричного та теоретичного розподілу проводилося за критерієм Пірсона χ^2 при рівні значимості 0,05.

Збільшення інтенсивності руху приводить до зміни числа інтервалів малої тривалості. Так, збільшення інтенсивності руху з 140 авт/год до 700 авт/год приводить до збільшення числа інтервалів, менших за чотири секунди з 35% до 67%. Зменшується величина середнього квадратичного відхилення: при 100 авт./год - $\sigma = 2,1$ с, а при 650 авт./год - $\sigma = 1,3$ с.

Для оцінки впливу інтенсивності руху на внутрішню структуру транспортного потоку пропонується [70] використовувати коефіцієнт зміни внутрішнього стану транспортного потоку, що являє собою відношення різниці середніх квадратичних відхилень часових інтервалів при різних інтенсивностях руху до різниці модальних значень інтервалів при тих же значеннях інтенсивності і відбиває зсув кривій розподілу інтервалів зі зміною інтенсивності руху:

$$K_{с.с.} = \frac{\sigma_{N_1} - \sigma_{N_2}}{t_{\text{mod}_1} - t_{\text{mod}_2}}, \quad (4.10)$$

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

$t_{\text{mod}_1}, t_{\text{mod}_2}$ – модальні значення інтервалів при тих же інтенсивностях.

4.2 Визначення часових інтервалів при різному складі транспортного потоку

Склад транспортного потоку в значній мірі впливає на параметри розподілу інтервалів. Цей вплив проявляється в двох аспектах: у кількісного співвідношенні автомобілів різних типів у складі транспортного потоку та у сполученні різних типів автомобілів, що створюють пару.

Характер впливу складу транспортного потоку на розподіл часових інтервалів в транспортному потоці в щільному транспортному потоці та в транспортному потоці малої щільності буде різним. Якщо в останньому збільшення числа легкових автомобілів не призводить до значного росту кількості мінімальних інтервалів, то в щільному транспортному потоці, ймовірно, ріст кількості таких інтервалів буде помітнішим. Аналогічним буде і вплив кількості вантажних, великогабаритних і великовантажних автомобілів у складі транспортного потоку. В щільному транспортному потоці це має привести до збільшення середнього значення мінімальних інтервалів. На розподіл мінімальних часових інтервалів в транспортному потоці буде також впливати співвідношення тих або інших сполучень автомобілів. Інтервал до переднього автомобіля буде залежати від типів автомобілів, що створюють пару.

При різномірному складі транспортного потоку середній інтервал слід визначати з урахуванням можливості сполучення автомобілів, що рухаються одне за одним (таблиця 4.2).

Величина мінімального часового інтервалу в значній мірі буде визначатися

швидкістю руху автомобілів, що створюють пару.

З підвищенням швидкості руху величина мінімального часового інтервалу буде зростати.

Залежність «швидкість – щільність» дозволяє отримати залежність часового інтервалу між автомобілями від швидкості з урахуванням результатів досліджень к.т.н. А.М.Пальчика, відповідно до яких дистанція між автомобілями при заторах дорівнює 1 м:

$$\bar{V} = V_0 \ln \frac{q_{\max}}{q}; \quad (4.11)$$

$$\bar{V} = V_0 \ln \frac{(\bar{b} + \bar{L})}{\bar{V} \cdot \bar{t}}; \quad (4.12)$$

$$\bar{t} = \frac{(\bar{b} + \bar{L}) \cdot e^{\frac{\bar{V}}{V_0}}}{\bar{V}}, \quad (4.13)$$

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

$\bar{L}$ – середня довжина автомобіля;

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

$\bar{b}$ – відстань між автомобілями, що зупинилися при заторі;

V_0 – швидкість руху, що відповідає пропускній здатності;

e – основа натурального логарифму.

У реальних умовах руху в щільному транспортному потоці 30 -40% водіїв рухаються з порушенням безпечного інтервалу слідування, тобто спостерігаються небезпечні умови руху через неприпустимо малі часові інтервали в транспортному потоці, що призводить до виникнення таких ДТП, як супутні зіткнення. Таким чином, говорячи про мінімальні часові інтервали у транспортному потоці, потрібно ввести поняття мінімального безпечного інтервалу.

Під безпечним інтервалом слідування розуміють мінімально допустимий часовий інтервал до автомобіля, що рухається попереду. Він визначається як частка від ділення мінімально допустимої відстані до автомобіля, що рухається попереду, на швидкість руху заднього автомобіля.

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

$$V_3 t_p + V_3 t - \frac{j_3 t^2}{2} + l_0 = x_0 + V \cdot t - \frac{j_n t^2}{2}, \quad (4.14)$$

де V_n, V_3 – швидкості переднього та заднього автомобілів;

j_n, j_3 – сповільнення переднього та заднього автомобілів;

t_p – час реакції водія;

x_0 – координата переднього автомобіля;

l_0 – зазор безпеки;

t – час гальмування.

Можуть мати місце такі випадки:

1) Автомобілі однакових типів рухаються з однаковими швидкостями.

Тоді
$$x_0 = V_3 \cdot t_p + l_0. \quad (4.15)$$

Тобто, безпечна дистанція буде уявляти собою суму шляху, що пройдений за час реакції водія та зазору безпеки.

2) Автомобілі різних типів рухаються з однаковими швидкостями.

$$x_0 = V_3 t_p + \frac{j_n \cdot t^2}{2} - \frac{j_3 \cdot t^2}{2} + l_0; \quad (4.16)$$

$$(j_n - j_3) t^2 + V_3 t_p - x_0 + l_0 = 0;$$

$$t = \sqrt{\frac{(x_0 - v_3 t_p - l_0)^2}{j_i - j_3}}; \quad (4.17)$$

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

3) Автомобілі різних типів рухаються з різними швидкостями.

$$\frac{(j_i - j_3)^2}{2} + (V_3 - V_i)t + V_3 t - x_0 + l_0; \quad (4.16)$$

$$t_{1,2} = \frac{-(V_3 - V_i) \pm \sqrt{(V_3 - V_i)^2 - 2(j_i - j_3)(V_3 t_p - x_0 + l_0)}}{j_i - j_3}. \quad (4.17)$$

Рівняння буде мати рішення, якщо:

1) $j_i \neq j_3$ (ця умова задана).

2) $(V_3 - V_i)^2 - 2(j_i - j_3)(V_3 t_p - x_0 + l_0) \geq 0$.

Тоді

$$V_3 t_p - x_0 + l_0 \leq \frac{(V_3 - V_i)^2}{2(j_i - j_3)}; \quad (4.18)$$

$$x_0 \geq V_3 t_p - \frac{(V_3 - V_i)^2}{2(j_i - j_3)} + l_0. \quad (4.19)$$

За даними к.т.н. О.В.Красильнікової [143-146]:

– величина середнього часового інтервалу між автомобілями у залежності від складу транспортного потоку:

$$\bar{t} = \frac{\bar{d} + \bar{L}}{V_0 \ln \left(\frac{\bar{d} + \bar{L}}{\bar{b} + \bar{L}} \right)}; \quad (4.20)$$

– величина середнього мінімального інтервалу у транспортному потоці у залежності від його складу:

$$\bar{t}_{\min} = \frac{\bar{d}_0 + \bar{L}}{V_0}, \quad (4.21)$$

де $\bar{d}$ – середня величина дистанції між автомобілями у транспортному потоці;

$\bar{b}$ – середня відстань між автомобілями при заторі;

$\bar{d}_0$ – середня величина дистанції між автомобілями при швидкості руху V_0

Тоді величина пропускної здатності визначається виразом:

$$A = \frac{3600}{\bar{t}_{\min}} = \frac{3600 \cdot \bar{V}_0}{\bar{d}_0 + \bar{L}}, \quad (4.22)$$

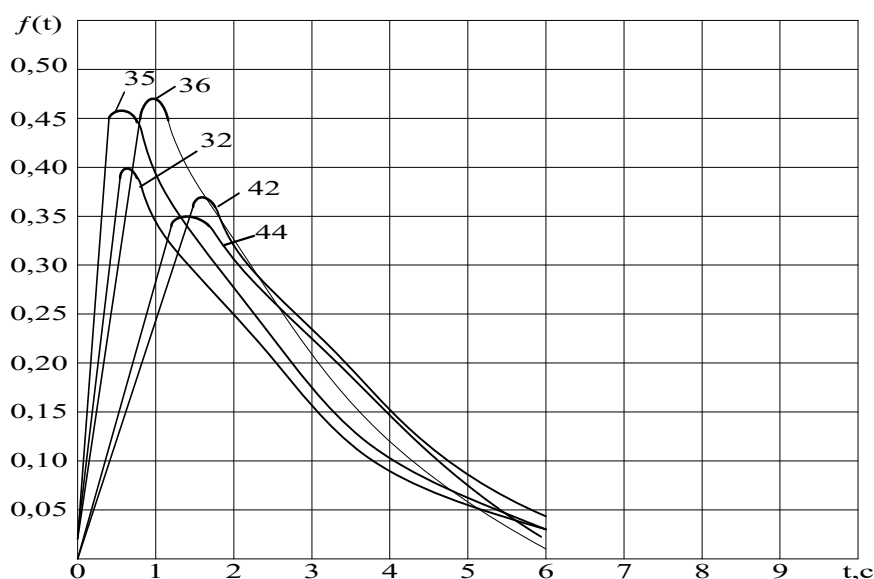
а величина максимальної інтенсивності руху, що відповідає конкретній величині середньої швидкості руху $\bar{V}$, з урахуванням середнього інтервалу між автомобілями визначиться як:

$$A = \frac{3600}{\bar{t}} = \frac{3600 \cdot \ln \left\{ \frac{[\bar{d} = f(\bar{V}; \bar{L}) + \bar{L}]}{\bar{b} + \bar{L}} \right\}}{[\bar{d} = f(\bar{V}; \bar{L})] + \bar{L}}. \quad (4.23)$$

4.3 Статистичне дослідження залежності характеристик розподілу часових інтервалів від складу транспортного потоку

Склад транспортного потоку чинить основний вплив на характеристики розподілу часових інтервалів у щільному транспортному потоці. Особливості руху автомобілів багато смуговою проїзною частиною позначається і на характері розподілу часових інтервалів, що пов'язане, головним чином, з умовами руху на кожній смузі.

Найбільший вплив на характеристики розподілу часових інтервалів виявляє наявність у складі транспортного потоку великої кількості легкових автомобілів або наявність вантажних, великогабаритних та великовантажних автомобілів. При збільшенні у складі транспортного потоку легкових автомобілів з 30% до 67% імовірність появи інтервалів менших за 1,5с збільшується з 0,37 до 0,74. Зменшується середнє і модальне значення інтервалів, крива розподілу інтервалів зміщується вліво.



(на кривих позначений відсоток легкових автомобілів у складі транспортного потоку)

Рисунок 4.1 – Щільності розподілу часових інтервалів у транспортному потоці у залежності від складу

Наявність у складі транспортного потоку вантажних, великогабаритних та великовантажних автомобілів найбільш суттєвим образом впливає на

характеристики розподілу часових інтервалів, якщо кількість цих автомобілів перевищує 20%, то при цьому крива розподілу помітно зміщується вправо: збільшується середнє значення інтервалу; імовірність появи інтервалів 4-5 с збільшується з 0,01 до 0,22 [70] (рис. 4.1). Відсутність у складі транспортного потоку великогабаритних і великовантажних автомобілів веде до значного збільшення інтервалів від 0,6 до 1,5 с [70].

Значення характеристик розподілу часових інтервалів для різного складу транспортного потоку показані у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Значення характеристик розподілу інтервалів для різного складу транспортного потоку

Склад транспортного потоку				Середнє значення інтервалу $\bar{t}$	Модальне значення інтервалу t_m	Імовірність появи інтервалу $\bar{t} < t_m$
легкові, %	вантажні, %	велико-вагові, %	велико-габаритні, %			
30	43	20	7	2,9	1,6	0,33
42	38	12	8	2,7	1,0	0,41
48	42	5	5	2,6	1,5	0,40
60	27	13	-	2,6	1,2	0,40
60	33	-	7	2,5	0,7	0,46
60	27	7	6	2,1	1,1	0,49
66	34	-	-	2,0	1,0	0,52
67	24	-	9	2,2	0,6	0,51
28	22	36	14	2,6	1,7	0,42

Оскільки для поставленої у роботі мети щодо управління рухом на перегоні автомагістралі в залежності від складу транспортного потоку важливим є визначення величин інтервалів слідування між автомобілями різного типу:

I – легковий -легковий; легковий -вантажний; легковий -великогабаритний або великовантажний;

II – вантажний -легковий; вантажний -вантажний; вантажний -великогабаритний або великовантажний;

III – великогабаритний або великовантажний -легковий; великогабаритний або великовантажний -вантажний; великогабаритний або велико-

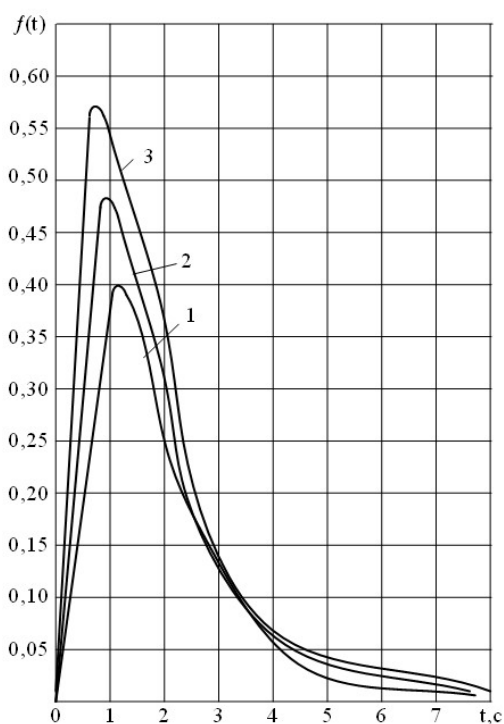
вантажний -великогабаритний або великовантажний. Результати цих спостережень наведені у табл. 4.4.

Як виходить з наведених даних, збільшення габариту або тоннажності задніх автомобілів, що утворюють пару, приводить до збільшення часового інтервалу між ними. Так, по першій групі сполучень легкового автомобіля з іншими типами автомобілів середній інтервал складає 1,98 с.

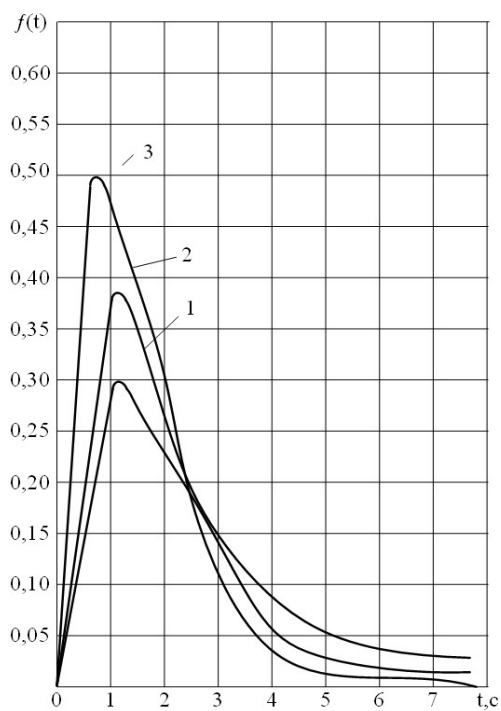
Таблиця 4.4 – Значення характеристик розподілу часових інтервалів для різних сполучень автомобілів

№ групи	Сполучення автомобілів	Середнє значення інтервалу $\bar{t}, c$	Дисперсія D, c^2	Середнє квадратичне відхилення σ, c	Модальне значення інтервалу t_m	Імовірність появи інтервалу $\bar{t} < t_m$
I	Л -Л	2,3	5,282	2,298	0,8	0,40
	Л -В	1,9	2,470	1,572	0,9	0,46
	Л -Вг	1,6	1,312	1,145	0,9	0,52
II	В -Л	3,2	8,867	2,998	1,2	0,36
	В -В	2,6	6,430	2,536	0,9	0,39
	В -Вг	2,8	3,012	1,736	0,7	0,44
III	Вг -Л	3,1	10,589	3,254	1,0	0,35
	Вг -В	2,4	3,293	1,810	1,1	0,41
	Вг -Вг	2,2	3,450	1,858	1,1	0,46

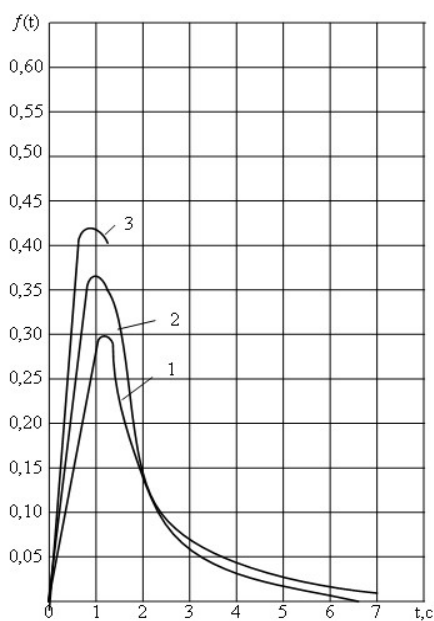
По другій групі сполучень вантажного автомобіля з автомобілями інших типів середній інтервал складає 2,83 с. По третій групі, в якій розглядаються сполучення великогабаритних або великовантажних автомобілів з іншими типами автомобілів складає 2,89 с. Крім того, по мірі збільшення габаритів автомобіля спостерігається зменшення середнього інтервалу. Графік показує, що для пари автомобілів найбільша імовірність появи модального значення часового інтервалу має місце, коли попереду рухається найбільш габаритний автомобіль з розглянутих. При цьому модальні значення відмінні одне від одного незначно як у першій так і у другій групах, або спостерігається зменшення їх значень по мірі збільшення габаритів автомобіля, що рухається попереду.



1 – легковий за легковим
 2 – легковий за вантажним
 3 – легковий за великогабаритним



1 – вантажний за легковим
 2 – вантажний за вантажним
 3 – вантажний за великогабаритним



1 – великогабаритний за легковим
 2 – великогабаритний за вантажним
 3 – великогабаритний за великогабаритним

Рисунок 4.2 – Щільності розподілу часових інтервалів для різних сполучень автомобілів у транспортному потоці (за даними к.т.н. О.В.Красильнікової [70])

4.4 Використання характеристик розподілу часових інтервалів між автомобілями у транспортному потоці

Як показали теоретичні та експериментальні дослідження, розподіл часових інтервалів у транспортному потоці є дуже складним та інформативним показником через те, що є вихідним параметром взаємодії характеристик системи ДУ – ТП.

Доцільність використання цього показника для рішення низки задач при використанні АСУР на автомагістралях обумовлена тим, що у таких системах ведеться постійна фіксація величини часових інтервалів по кожній зі смуг руху, що дає можливість отримання характеристик розподілу.

Однією з областей практичного застосування результатів дослідження є визначення пропускної здатності конкретних типових елементів автомагістралі. В основі методики, що пропонується, на відміну від існуючих, що ґрунтуються на мультиплікативній моделі, полягає використання характеристик розподілу часових інтервалів між автомобілями в транспортному потоці та уявляє собою результат взаємодії всіх факторів, котрі формують величину пропускної здатності у конкретний момент часу й відображає її імовірну природу.

Результати спостережень за транспортними потоками високої щільності показали, що величини інтервалів у них коливаються у достатньо широких межах. Використання мінімального інтервалу приводить до отримання граничного значення пропускної здатності, а існування котрого обмежено 10 – 15 хв, середня швидкість при цьому складає 20 – 25 км/год, аварійність дуже висока. Такий режим руху слід вважати неприпустимим. Величина пропускної здатності у цьому випадку є величиною теоретичною і не може бути використана для практичних цілей.

Другим моментом практичного застосування результатів дослідження є використання характеристик розподілу часових інтервалів між автомобілями для визначення меж зміни режимів транспортного потоку при зміні умов руху.

Оцінка режиму руху транспортного потоку і розробка управляючих

впливів по характеристиках розподілів часових інтервалів уявляються, з одного боку, точнішими, а з другого, більш зручними і нескладними щодо їх реалізації.

В основі методики лежить використання взаємозв'язку інтенсивності, середньої швидкості транспортного потоку та середнього часового інтервалу для різних типів автомобілів та коефіцієнтів зчеплення. На підставі середнього часового інтервалу встановлюється величини максимальних інтенсивностей руху, що відповідає конкретній величині швидкості для даного елементу перегону.

Це дає можливість, маючи поточне значення інтенсивності та середньої швидкості транспортного потоку, проводити постійну оцінку величини резерву інтенсивності руху:

$$R = N_{\max_V} - N_{\text{поточ}_V}, \quad (4.24)$$

де $N_{\max_V}$, $N_{\text{поточ}_V}$ – величини максимальної та поточної інтенсивності руху при швидкості транспортного потоку V .

Така оцінка має особливу суть при рішенні низки критичних ситуацій, що є в основі стратегії управління АСУР [78].

Всі критичні ситуації розділені по групах відповідно до пріоритету у рішенні тієї або іншої критичної ситуації. Особливий інтерес представляє собою перші дві групи критичних ситуацій, пов'язаних з обмеженням швидкості руху на магістральній мережі та з обмеженням надходження автомобілів на магістраль.

I група включає наступні критичні ситуації: наявність ожеледиці, виникнення ДТП, наявність недостатньої видимості, наявність вологого покриття, дорожньо-ремонтні роботи, порушення швидкісних режимів на ділянці контролю.

II група: перепуск спеціальних автомобілів і колон, наявність інтенсивності руху, наближеної до пропускної здатності, перевищення рівня загазованості, перевищення рівня шуму в населеному пункті.

Припустимо, що швидкість руху за якоюсь з критичних ситуацій I групи

обмежена до величини $V_{обм}$. Поточне значення інтенсивності руху за даної швидкості руху $N_{поточ_{обм}}$ порівнюємо зі значенням $N_{max_{V_{обм}}}$, завчасно розраховане за величиною середнього часового інтервалу для даних умов руху. Якщо $N_{поточ_{обм}} < N_{max_{V_{обм}}}$, то це означає, що існує деякий резерв інтенсивності. Якщо $N_{поточ_{обм}} \approx N_{max_{V_{обм}}}$, то це означає перехід до колонного руху, що супроводжується зниженням рівня безпеки руху. Якщо $N_{поточ_{обм}} > N_{max_{V_{обм}}}$, то необхідно обмежити швидкість руху до величини $V'_{обм}$.

Значення величини резерву інтенсивності руху по кожній з перерахованих критичних ситуацій дозволяє підвищити гнучкість управляючих впливів та запобігти неточностям у прийнятті рішення [142, 146 – 149].

Методика визначення пропускної здатності для типових елементів з використанням розподілу часових інтервалів

1. Наявність вихідних даних.

Для типового елемента «перегін між крупними пересіченнями та примиканнями» необхідно мати інформацію щодо поточних значень швидкостей та часових інтервалів між автомобілями, а також величинами середньої швидкості транспортного потоку, середнього мінімального часового інтервалу між автомобілями та складу транспортного потоку кожної зі смуг руху.

2. Визначення величини оптимальної швидкості руху.

Величина оптимальної швидкості руху визначається для різних умов руху, які визначаються складом, середньою швидкістю руху транспортного потоку і станом проїзної частини.

Величина швидкості, що відповідає пропускній здатності, для i -ої групи умов руху визначається за залежністю:

$$V_{0_i} = \frac{\bar{V}_i}{\ln \left(\frac{\bar{t} + \bar{V}/3,6}{\bar{b} + \bar{L}} \right)}, \quad (4.25)$$

де $\bar{V}_i$ – середня швидкість транспортного потоку i -ої групи умов руху;

$\bar{t}$ – середня величина інтервалу слідування;

$\bar{L}$ – середня довжина автомобіля i -ої групи умов руху;

$\bar{b}$ – відстань між автомобілями, що зупинилися.

Середня оптимальна швидкість визначається за формулою:

$$\bar{V}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n V_{0_i}}{n}, \quad (4.26)$$

де n – кількість груп умов руху.

3. Визначення величини пропускної здатності смуги руху.

Величина пропускної здатності смуги руху типового елементу дороги визначається так:

$$A = \frac{3600}{\bar{t}_{\min_i}} = \frac{3600 \cdot V_{0_i}}{\bar{b}_0 + \bar{L}}, \quad (4.27)$$

де V_{0_i} – середня оптимальна швидкість транспортного потоку для даної групи умов руху, м/с;

– для легкових автомобілів, $\bar{L}_л = 5,0$ м:

$$A_л = \frac{3600}{\bar{t}_{\min_л}} = \frac{3600 \cdot V_{0_л}}{0,102 V_{0_л}^{1,46} + 0,81}; \quad (4.28)$$

– для вантажних автомобілів, $\bar{L}_в = 7,0$ м:

$$A_g = \frac{3600}{\bar{t}_{\min_g}} = \frac{3600 \cdot V_{0_g}}{0,103 V_{0_g}^{1,54} + 2,39}; \quad (4.29)$$

— для великовантажних автомобілів, $\bar{L}_{gg} = 10,0$ м:

$$A_{gg} = \frac{3600}{\bar{t}_{\min_{gg}}} = \frac{3600 \cdot V_{0_{gg}}}{0,105 V_{0_{gg}}^{1,62} + 2,36}; \quad (4.30)$$

— для великогабаритних автомобілів, $\bar{L}_{g2} = 12,0$ м:

$$A_{g2} = \frac{3600}{\bar{t}_{\min_{g2}}} = \frac{3600 \cdot V_{0_{g2}}}{0,105 V_{0_{g2}}^{1,65} + 2,40}. \quad (4.31)$$

Для конкретного складу транспортного потоку пропускна здатність типового елемента визначається з урахуванням частки автомобілів кожного типу у складі транспортного потоку:

$$A = \frac{3600}{\bar{T}_{\min}} = \frac{3600 \cdot \bar{V}_0}{b_0 + \bar{L}}, \quad (4.32)$$

де $\bar{V}_0$ - середня швидкість руху транспортного потоку за напрямком;

$\bar{T}_{\min}$ - середній мінімальний інтервал слідування у транспортному потоці;

$\bar{L}$ - середня довжина автомобіля у транспортному потоці перегону.

4. Визначення величини пропускної здатності типового елемента в цілому

Величина пропускної здатності типового елемента у цілому визначається підсумовуванням пропускних здатностей кожної зі смуг руху. Конкретна величина пропускної здатності кожної зі смуг руху визначається з урахуванням складу транспортного потоку по кожній з них.

Методика регулювання дорожнім рухом на перегонах магістралей з використанням характеристик розподілу часових інтервалів між автомобілями в транспортному потоці

I. Наявність вихідних даних.

У якості вихідних даних служать величини поточних, а також середніх швидкостей транспортного потоку, середніх часових інтервалів між автомобілями і складу транспортного потоку кожною зі смуг руху, дані про стан покриття по кожному з типових елементів.

II. Визначення величини середнього часового інтервалу, що відповідає швидкості руху, типу автомобіля та стану проїзної частини.

Величина середнього часового інтервалу, що відповідає швидкості руху (при сталому φ), типу автомобіля визначається так:

$$\bar{t}_{i_v} = \frac{[d_i = f(\bar{V}_i; \bar{L}_i)] + \bar{L}_i}{\bar{V}_{0_i} \ln \left(\frac{[d_i = f(\bar{V}_i; \bar{L}_i)] + \bar{L}_i}{b + \bar{L}_i} \right)}, \quad (4.33)$$

де $[d_i = f(\bar{V}_i; \bar{L}_i)]$ – дистанція між автомобілями даного типу; або обирається з натурних спостережень інтервалів слідування АСУР.

III. Визначення величини максимальної інтенсивності руху, що відповідає швидкості руху та середньому часовому інтервалу між автомобілями.

Величина максимальної інтенсивності руху для всього перегону визначається за формулою:

$$N_{\max_v} = \frac{3600}{\bar{t}_v}, \quad (4.34)$$

$$\text{де } \bar{t}_v = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{t}_{i_v} \cdot n_i)}{n}.$$

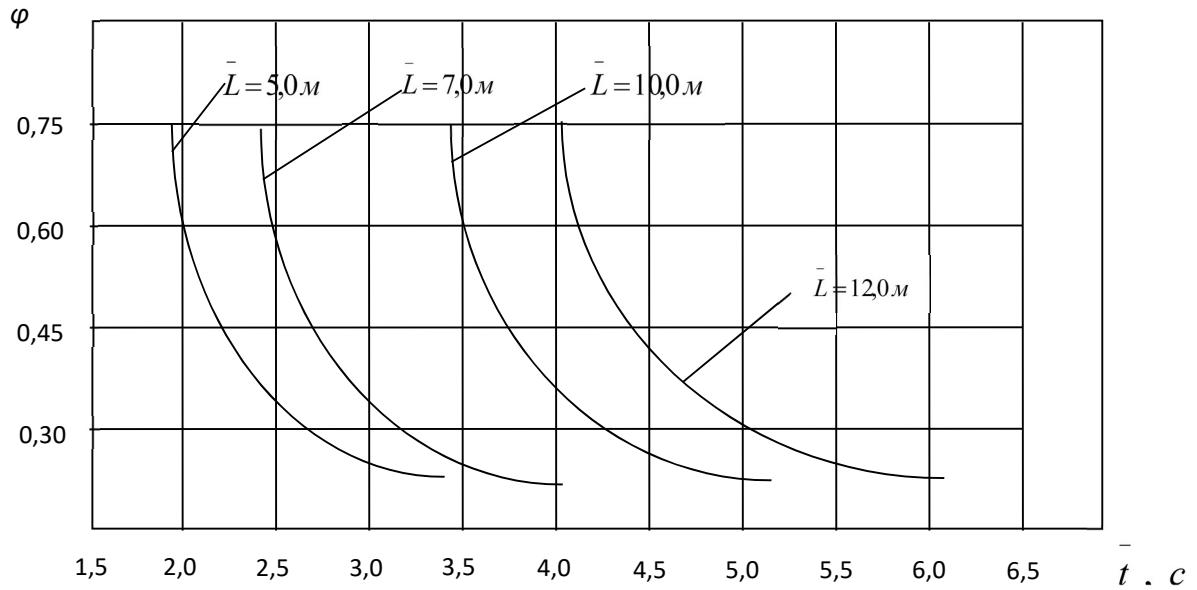


Рисунок 4.3 – Графіки зміни величини $\bar{t}_i$ у залежності від складу транспортного потоку та величини зчеплення (за результатами натурних спостережень)

Величини максимальної інтенсивності руху на смузі руху для кожної групи складу транспортного потоку визначаємо за формулою:

$$N_{\max_i} = \frac{3600}{\bar{t}_{i_v}},$$

де $\bar{t}_{i_v}$ - середня величина інтервалу слідування для i -ої групи складу потоку при швидкості руху V .

Тоді при $\varphi = 0,6$ та оптимальній швидкості руху:

– для легкових автомобілів, $\bar{L}_л = 5,0$ м:

$$N_{\max_л} = \frac{3600}{\bar{t}_л} = \frac{3600}{2,15} = 1674 \text{ авт/год};$$

– для вантажних автомобілів, $\bar{L}_e = 7,0$ м:

$$N_{\max_e} = \frac{3600}{\bar{t}_e} = \frac{3600}{2,76} = 1304 \text{ авт/год};$$

– для великовантажних автомобілів, $\bar{L}_{ee} = 10,0$ м:

$$N_{\max_{ee}} = \frac{3600}{\bar{t}_{ee}} = \frac{3600}{3,6} = 1000 \text{ авт/год};$$

– для великогабаритних автомобілів, $\bar{L}_{e2} = 12,0$ м:

$$N_{\max_{e2}} = \frac{3600}{\bar{t}_{e2}} = \frac{3600}{4,2} = 887 \text{ авт/год}.$$

Розрахунки можна проводити для всіх значень швидкості руху та стану покриття з метою управління рухом у реальному масштабі часу.

IV. Визначення резерву інтенсивності руху для конкретних умов руху на даному типовому елементі.

Знаючи поточне значення інтенсивності руху при даній швидкості транспортного потоку $N_{\text{поточ}_V}$, а також стан проїзної частини і склад транспортного потоку визначаємо величину максимальної інтенсивності при даній швидкості для кожного з типів автомобілів, що є присутнім у складі транспортного потоку. Потім з урахуванням процентного змісту кожного з типів автомобілів у транспортному потоці визначаємо загальну величину максимальної інтенсивності руху по кожній зі смуг руху.

Резерв інтенсивності руху по кожній зі смуг визначитися як різниця між максимальним значенням інтенсивності руху при даній швидкості та її поточним значенням: $R_i = N_{\max_V} - N_{\text{поточ}_V}$.

Загальний резерв інтенсивності руху по всьому типовому елементу визначається як сума резервів по кожній смузі руху.

4.5 Методика управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі з використанням теорії масового обслуговування

В основу методики покладений метод управління транспортними потоками у місцях входу на магістраль та виходу з магістралі при використанні технічних засобів організації дорожнього руху, дорожньої розмітки різних видів та з використанням теорії масового обслуговування.

Використані математичні моделі руху транспортних потоків на елементах системи «Перегін» для забезпечення безпеки дорожнього руху і мінімізації витрат часу для виконання маневрів.

Елемент «вхід потоку на перегін» в системі «Перегін» є найбільш складним як з фізичної точки зору, так і з погляду математичного опису даного процесу.

Вхід потоку на перегін ми розглядаємо як вхід потоку на магістраль.

Вливання другорядного потоку в основний відбувається в зоні *aa-вв*

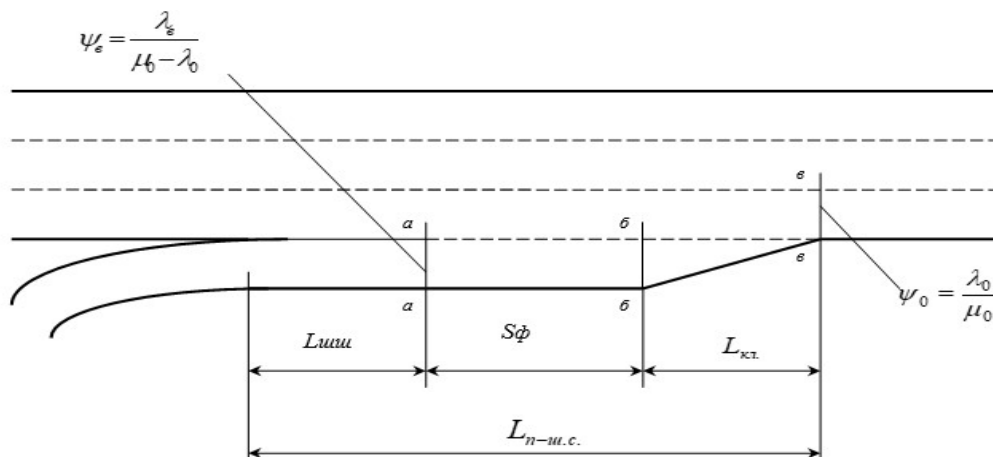


Рисунок 4.4 – Вхід потоку на магістраль

Вхід потоку на магістраль є самостійною системою масового обслуговування. Оскільки будь-яка система масового обслуговування характеризується наявністю потоку вимог або апаратом обслуговування, то необхідно чітко охарактеризувати дану систему.

зона *aa -vv* – поперечний переріз крайньої смуги головної дороги, в якому здійснюється вливання другорядного потоку в основний.

Досліджуємо: що відбувається в черзі з єдиним апаратом обслуговування, коли вхідний потік вимог (автомобілів) розподіляється за законом Пуассона, а інтервали часу обслуговування – за експоненціальним законом. У всіх процесах масового обслуговування визначення закону розподілу імовірності P_n , числа вимоги в системі складає фундаментальний розрахунок, на підставі якого можуть бути виявлені кількісні співвідношення.

При умові розгляду процесу як сталого, імовірність виражається формулою:

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right),$$

$$\text{де } n = 0, 1, 2, 3, \dots n. \quad 0 < \frac{\lambda}{\mu} < 1.$$

$$\text{Підставляючи } \psi = \frac{\lambda}{\mu} \text{ одержимо: } P_n = (\psi)^n (1 - \psi); \quad 0 < \psi < 1.$$

Використовують також зручнішу формулу, яку математики називають рекурентною:

$$P_n = \psi \cdot P_{n-1}; \quad n \geq 1, \quad \text{при } P_0 = 1 - \psi.$$

Імовірність того, що наявне в системі число вимог N менше або дорівнює n , дається формулою:

$$P(N \leq n) = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1 - \psi^{n+1}.$$

Імовірність того, що в системі є число вимог N , більше n , дорівнює:

$$P(N > n) = 1 - P(N \leq n) = 1 - (1 - \psi^{n+1}) = \psi^{n+1}.$$

Середнє число вимог в системі дається формулою:

$$\bar{n} = 0 \cdot P_0 + 1 \cdot P_1 + 1 \cdot P_2 + \dots + n \cdot P_n \dots$$

$$\text{або} \quad \bar{n} = \frac{\psi}{1 - \psi}.$$

Для визначення інтенсивності обслуговування, що відповідає деякому середньому числу $\bar{n}$ вимог в системі, можна використовувати формулу:

$$\psi = \frac{\bar{n}}{1 - \bar{n}}.$$

Випадок I ($N_B + N_{BG} + N_{BT} \leq 0,10 N_3$).

Коефіцієнти використання системи основного і другорядного потоків відповідно будуть дорівнювати

$$\psi_0 = \frac{\lambda_0}{\mu_0}; \quad \psi_{\hat{a}} = \frac{\lambda_{\hat{a}}}{\mu_0 - \lambda_0},$$

де λ_0 та μ_0 - параметри основного транспортного потоку, що має абсолютний пріоритет;

$\lambda_{\hat{a}}$ та $\mu_0 - \lambda_0$ - параметри другорядного потоку.

При цьому необхідно, щоб:

$$\psi_0 + \psi_{\hat{a}} < 1$$

або
$$\frac{\lambda_0}{\mu_0} + \frac{\lambda_{\hat{a}}}{\mu_0 - \lambda_0} < 1,$$

тобто система працює нормально при:

$$\lambda_{\hat{a}} \leq \mu_0 - \lambda_0.$$

Вирішуючи рівність:

$$\frac{\lambda_0}{\mu_0} + \frac{\lambda_1}{\mu_0 - \lambda_0} = 1.$$

Визначаємо необхідну величину пропускнуої здатності крайньої смуги проїзної частини головної дороги на ділянці злиття потоків μ_0 , яка б забезпечувала взаємодію заданих величин обох потоків.

Використовуємо $F(z, u)$ — функцію розподілу імовірності $P_{(n_0)(n_{\hat{a}})}$, що є імовірністю того, що n_0 пріоритетних автомобілів знаходяться в системі одночасно з $n_{\hat{a}}$ автомобілями другорядного потоку:

$$F(z, u) = \sum_{n_0}^{\infty} \sum_{n_{\hat{a}}}^{\infty} P_{(n_0)(n_{\hat{a}})} z^{n_{\hat{a}}} u^{n_0} \quad F(z, u) \text{ є аналітичною функцією від } z \text{ і } u.$$

Розподіл імовірностей випадкових величин n_0 та n_ϵ однозначно визначається її $F(z, u)$ – функцією.

Знаходимо:

$$F(z, u) = \frac{1 - \psi_0 - \psi_\epsilon}{1 - \alpha - z\psi_\epsilon} = \frac{1 - \alpha}{1 - \alpha u},$$

$$\text{де } \lambda = \frac{1}{2\mu_0} \left\{ \mu_0 + \lambda_0 + \lambda_\epsilon (1 - z) - \sqrt{[\mu_0 + \lambda_0 + \lambda_\epsilon (1 - z)]^2 - 4\lambda_0\mu_0} \right\}.$$

Знаючи $F(z, u)$ можна отримати середнє число автомобілів, що знаходяться в черзі, утвореній другорядним потоком, що входить на перегін:

$$\bar{n}_\epsilon = \frac{\partial F}{\partial z} \bigg|_{z=u=1} = \psi_\epsilon \frac{\bar{n}_\epsilon \psi_0 / \psi_\epsilon}{1 - \psi_0 - \psi_\epsilon},$$

$$\text{де } \bar{n}_0 = \frac{\partial F}{\partial u} \bigg|_{z=u=1} = \frac{\psi_0}{1 - \psi_0}.$$

Звідси ж:

$$\frac{\partial^k}{\partial u^k} = F \bigg|_{\substack{z=1 \\ u=1}} = \psi_0^{n_0} (1 - \psi_0)$$

$$\text{та } P_{(n_0)(n_\epsilon)} = \frac{1}{n_0! n_\epsilon!} \cdot \frac{\partial^{n_0+n_\epsilon}}{\partial z^{n_\epsilon} \partial u^{n_0}} \frac{\partial F}{\partial u} \bigg|_{z=u=0}.$$

Тоді довжина «фазової» ділянки визначиться за формулою:

$$\bar{S}_\phi = \bar{V}_0 \cdot \bar{t}_{f_\epsilon} = \bar{V}_0 \frac{\bar{n}_\epsilon}{\mu_0}$$

де $\bar{V}_0$ – середня швидкість руху основного транспортного потоку в місці вливання до нього другорядного;

$$\bar{t}_{f_\epsilon} \text{ – середній час очікування в черзі: } \bar{t}_{f_\epsilon} = \bar{n}_\epsilon / \mu_0.$$

Імовірність очікування можливості вливання в основний потік, величина

якого більша, ніж заданий час $\omega_{\hat{a}}$ дорівнює: $P(> \omega) = \psi_{\epsilon} e^{-\mu_0(1-\psi_0)}$.

Тоді загальна довжина ділянки смуги, закритої смуги руху, з якої потрібно зганяти автомобілі, для входу на перегін складе: $L_{n-ш.с.} = L_{ш.ш.} + \bar{S}_{\phi} + L_{кл}$

де $L_{ш.ш.}$ – довжина швидкісного шлюзу; $L_{\epsilon\epsilon}$ – довжина клину відгону.

Випадок IIa ($N_B + N_{BG} + N_{BT} \leq (0,11-0,50) N_3$). Рух вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів відбувається на відокремленій крайній смузі руху проїзної частини (рис. 4.5). Необхідно забезпечити надходження легкових автомобілів до інших смуг руху проїзної частини.

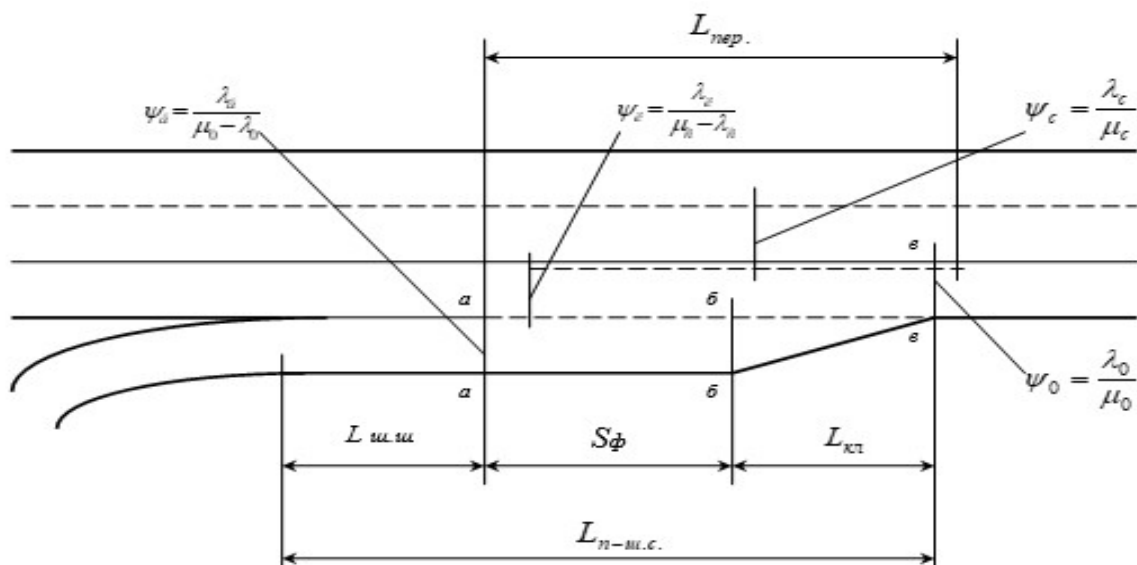


Рисунок 4.5 – Вхід потоку на магістраль

Система масового обслуговування у цьому випадку абсолютно ідентична розглянутій у *випадку I*.

Загальна довжина ділянки переплетення складе:

$$L_{пер.} = \bar{S}_{\phi_2} + L_{кл},$$

де $\bar{S}_{\phi_2}$ – довжина „фазової” ділянки;

$L_{кл}$ – довжина, що дорівнює довжині клину відгону.

Випадок IIб ($N_B + N_{BG} + N_{BT} \leq (0,11-0,50) N_3$) (рисунок 4.6)

Рух вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів відбувається на відокремленій крайній смузі руху проїзної частини.

Необхідно забезпечити надходження легкових автомобілів до інших смуг руху проїзної частини. Система масового обслуговування у цьому випадку абсолютно ідентична розглянутій у *випадку I*.

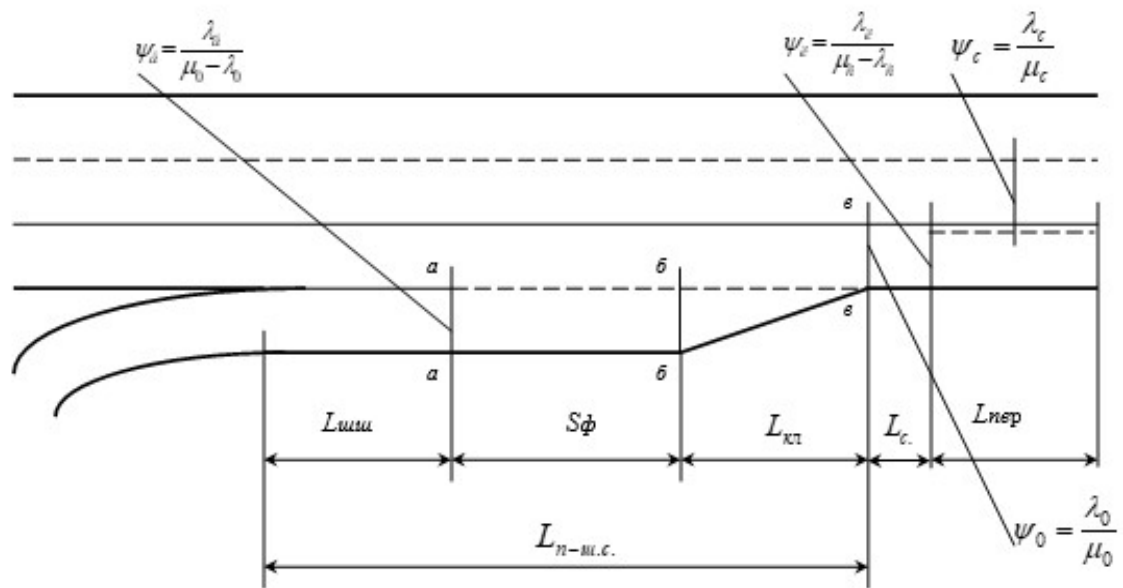


Рисунок 4.6 – Вхід потоку на магістраль

Елемент «вихід потоку з перегону», який є самостійною системою масового обслуговування.

Випадок I. На магістралі смуги руху не розділені суцільною лінією, що означає, що транспортні засоби різних типів рухаються у суцільному потоці, взаємодіють між собою, використовуючи всі смуги руху проїзної частини магістралі. Формування виходу потоку з магістралі при умові:

$(N_B + N_{BG} + N_{BT} \leq 0,10N_3)$ наведено на рис. 4.7.

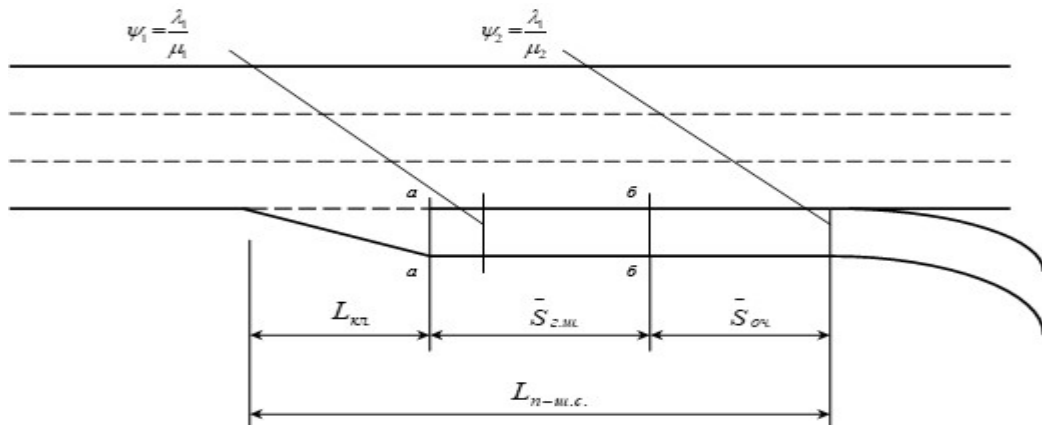


Рисунок 4.7 – Вихід потоку з магістралі (випадок I)

Для визначення інтенсивності обслуговування, відповідної деякому середньому числу $\bar{n}$ вимог в системі, можна використати формулу:

$$\psi = \frac{\bar{n}}{1 - \bar{n}}.$$

При цьому коефіцієнт використання системи на виході $\psi_2 = \frac{\lambda_1}{\mu_2}$, система працюватиме нормально тоді, коли число автомобілів, що надійшло в систему в одиницю часу, дорівнюватиме числу автомобілів, що покидають її в результаті обслуговування.

Середнє число автомобілів в черзі отримуємо таким чином.

Якщо n_1 -число вимог в системі, а γ -в черзі,

$$\gamma = \bar{n} - 1.$$

$$\text{Насправді: } \gamma = \bar{n} - 1 + P_{02} = \frac{\psi_2}{1 - \psi_2} - \psi_2 = \frac{\psi_2^2}{1 - \psi_2}.$$

Апарати обслуговування не завжди бувають зайнятими і що середнє число вимог, які знаходяться в обслуговуванні, дорівнює не 1, а $1 - P_{02}$.

Середній час очікування в черзі (без обліку часу обслуговування) виражається формулою:

$$\bar{t}_{f_1} = \frac{\bar{\gamma}}{\lambda_1} = \frac{1}{\mu_2} \cdot \frac{\psi_2}{1 - \psi_2} = \frac{\bar{n}_1}{\mu_2} \quad)$$

Це співвідношення отримуємо, міркуючи таким чином. При сталому режимі з обслуговування в середньому виходить стільки ж автомобілів, скільки і надходить в нього. Оскільки надходить λ_1 автомобілів в одиницю часу, маємо:

$$\bar{t}_{f_1} = \frac{\bar{\gamma}}{\lambda_1}.$$

Тоді загальна довжина смуги для виходу з перегону дорівнює:

$$L_{n-ш.с.} = L_{кл.} + L_{з.ш.} + S_{оч},$$

де $L_{кл.}$ -довжина клину відгону;

$L_{з.ш.}$ -довжина гальмівного шлюзу;

$S_{оч}$ -довжина ділянки очікування.

Випадок II. Формування входу потоку на перегін при умові

$(N_{в} + N_{вг} + N_{вт} \leq (0,11-0,50) N_3)$ подано на рис. 4.8, для вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів виділена одна (крайня) смуга руху, на останніх смугах рух відбувається рух легкового автомобільного транспорту, причому автомобілі взаємодіють між собою, використовуючи обидві смуги руху (середню і внутрішню).

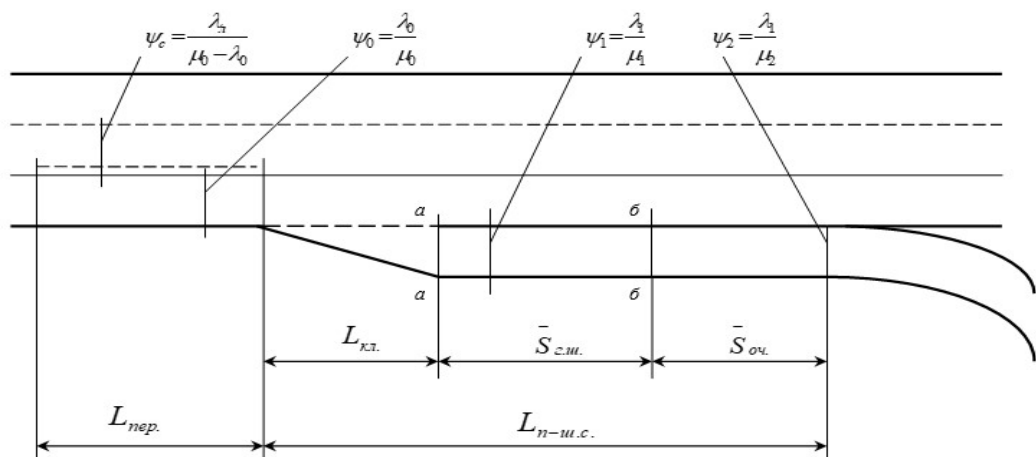


Рисунок 4.8 – Вихід потоку з магістралі (випадок II)

Але для того, щоб легковий транспорт потрапив до крайньої смуги з метою виходу потоку з перегону, необхідно ввести ділянку для переміщення легкового транспорту з середньої смуги на крайню ($L_{\text{пер.}}$), яка розміщується до початку перехідно-швидкісної смуги (рис. 4.8).

Коефіцієнти використання системи основного і другорядного (на середній смузі проїзної частини) відповідно будуть дорівнювати:

$$\psi_0 = \frac{\lambda_0}{\mu_0}; \quad \psi_{\varepsilon} = \frac{\lambda_{\varepsilon}}{\mu_0 - \lambda_0},$$

де λ_0 та μ_0 – параметри основного транспортного потоку, що має абсолютний пріоритет; λ_{ε} та $\mu_0 - \lambda_0$ – параметри другорядного потоку.

$$\text{При цьому необхідно, щоб: } \psi_0 + \psi_{\varepsilon} < 1 \quad \text{або} \quad \frac{\lambda_0}{\mu_0} + \frac{\lambda_{\varepsilon}}{\mu_0 - \lambda_0} < 1,$$

тобто система працює нормально при: $\lambda_{\varepsilon} \leq \mu_0 - \lambda_0$.

Тоді довжина «фазової ділянки» на ділянці переплетення, на якій здійснюється перехід легкового автомобільного транспорту на крайню смугу

руху проїзної частини дорівнює: $\bar{S}_{\phi} = \bar{V}_0 \cdot \bar{t}_{f_1} = \bar{V}_0 \frac{\bar{n}_{\lambda}}{\mu_0}$, де $\bar{V}_0$ – середня

швидкість руху на крайній смузі; $\bar{t}_{f_1}$ – середній час очікування у рухомій черзі:

$$\bar{t}_{f_1} = \frac{\bar{n}_{\lambda}}{\mu_0}, \quad \text{де } \bar{n}_{\lambda} \text{ – середня кількість легкових автомобілів у черзі, оскільки}$$

ділянка переплетення повинна мати таку ж пропускну здатність як крайня смуга проїзної частини головної дороги. Тоді загальна довжина ділянки переплетення

складає: $L_{\text{пер}} = \bar{S}_{\phi} + L_{\text{кл.}}$. Довжина перехідно-швидкісної смуги для виходу з перегону визначається за формулами з випадку I.

Випадок IIIa. Формування виходу потоку з перегону при умові $(N_B + N_{BT} + N_{BT} \leq (0,51 - 0,80) N_3)$ подано на рис. 4.9, тобто для вантажних, великогабаритних та великовантажних транспортних засобів виділені дві крайні смуги руху, а на внутрішній смузі руху відбувається рух легкового автомобільного транспорту.

Але для того, щоб легковий транспорт потрапив до середньої смуги з метою виходу потоку з перегону, необхідно ввести ділянку для переміщення легкового транспорту з внутрішньої смуги на середню ($L_{пер.}$), яка розміщується до початку перехідно-швидкісної смуги (рис. 4.9). Для того, щоб легковий транспорт потрапив до крайньої смуги у складі основного потоку, необхідно ввести ділянку стабілізації потоку (L_c), яка починається після ділянки переплетення і закінчується на початку перехідно-швидкісної смуги. Все як у *випадку II*. Довжина «фазової ділянки» на ділянці переплетення, на якій здійснюється перехід легкового автомобільного транспорту на крайню смугу руху проїзної частини я у *випадку II*.

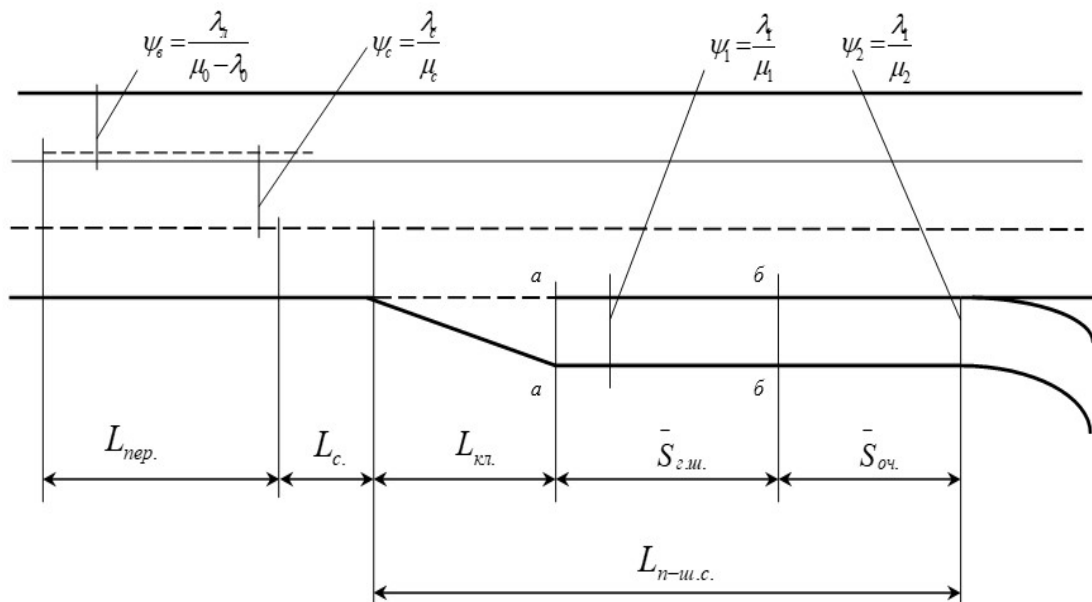


Рисунок 4.9 – Вихід потоку з магістралі (*випадок IIIa*)

Довжина перехідно-швидкісної смуги для виходу з магістралі визначається за формулами з *випадку I*.

4.5 Висновки до розділу

Розроблено методику управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі з використанням теорії масового обслуговування.

За допомогою розробленої методики встановлено, що елемент «вхід потоку на перегін» в системі «Перегін», а саме вхід потоку на магістраль, є найбільш складним як з фізичної точки зору, так і з погляду математичного опису даного процесу. Основною функцією, яку виконує даний елемент, є забезпечення вливання транспортного потоку, що сформувався на підході до магістралі, або другорядного транспортного потоку в основний потік, що рухається зовнішньою смугою проїзної частини перегону головної дороги, а потім, у разі потреби, переміщується на інші смуги.

Для безпечного переміщення транспортного потоку запропоновано ділянку для переміщення транспорту із зовнішньої смуги на середню, а при виході потоку із магістралі для безпечного переміщення із середньої на зовнішню смугу руху, яка закінчується перед початком перехідно-швидкісної смуги. Введення таких ділянок зменшує ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод до 10% та покращує пропускну здатність смуг руху. Критерієм пропускну здатності є часові інтервали і якщо у транспортному потоці відсоток вантажних, великогабаритних та великовантажних автомобілів перевищує 20%, то ймовірність появи інтервалів 4-5 с збільшується з 0,01 до 0,22, а відсутність у складі транспортного потоку великогабаритних і великовантажних автомобілів веде до значного збільшення інтервалів від 0,6 с до 1,5 с.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, що полягає в удосконаленні управління дорожнім рухом на магістральні вулично-дорожній мережі міст за рахунок розробленого методу управління транспортними потоками в місцях входу на магістраль та виходу з магістралі.

Основні наукові та практичні результати полягають в наступному:

1. Виконаний аналіз наукових робіт та існуючих методів оцінки умов руху входу на магістраль та виходу з магістралі, яким встановлено, що у результаті відсутності певних заходів з організації дорожнього руху, зокрема технічних засобів, виникають проблеми із затримкою транспорту у цих місцях, зменшується безпека дорожнього руху, утворюються конфліктні точки. Також досліджені сценарії виникнення заторів в потоці та доведено, що розповсюдження заторів пов'язано з динамічними властивостями транспортного потоку – швидкістю, щільністю, інтенсивністю та дорожніми умовами.

2. Розроблено математичні моделі руху транспортних потоків на елементах системи «Перегін» для забезпечення безпеки дорожнього руху і мінімізації витрат часу для виконання маневрів. Одержано закономірності руху транспортного потоку на перегоні магістралі на основі розроблення алгоритмів його гомогенізації за складом, що дає можливість визначити необхідну кількість смуг руху для різних видів транспортних засобів. Доведено, що мають місце чотири способи управління транспортними потоками на основі гомогенності. Застосування цих способів сприяє підвищенню пропускної здатності і середньої швидкості руху та покращенню безпеки дорожнього руху.

3. Розроблено метод управління транспортними потоками в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі, що відрізняється від існуючих використанням технічних засобів організації дорожнього руху, а саме дорожньої розмітки та теорії масового обслуговування. Розраховано довжину перехідно-швидкісної

смуги, яку потрібно влаштовувати для здійснення безпечних та безперешкодних маневрів. Її довжина повинна становити до 300 м, на відміну від традиційних розрахунків – 110 м, що є недостатнім для уникнення заторів та безпечного розподілу транспортних потоків. Оскільки, при щільності транспортного потоку однієї смуги – 38 авт/км довжина черги сягає до 250 автомобілів, що призводить до виникнення затору.

Перехідно-швидкісна смуга руху із отриманою довжиною та позначена відповідною дорожньою розміткою зменшує кількість конфліктних точок до однієї. Що дозволило зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод (на експериментальній ділянці) на 23 %.

4. Розроблено методику управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст в місцях входу на магістраль і виходу з магістралі з використанням теорії масового обслуговування, використання якої дозволяє збільшити пропускну здатність магістралі, зменшити кількість конфліктних точок та ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод.

5. Результати дисертаційного дослідження знайшли своє відображення при розробленні чотирьох нормативних документів національного рівня і одних норм галузевого рівня.

Результати впроваджені під час розроблення тимчасових схем організації дорожнього руху на вулицях міста Києва Комунальною корпорацією «Київавтодор» та на дорогах загального користування в Київській і Вінницькій областях, а також у навчальний процес в Національному транспортному університеті, а саме при викладанні дисципліни «Технічні засоби управління дорожнім рухом» для студентів спеціальності 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П. Аналіз факторів, що спричиняють ДТП на автомобільних дорогах загального користування та пропозиції по їх ліквідації. *Дороги і мости*. Київ, 2016. Вип. 16. С. 82 -85.
2. Резолюція Генеральної Асамблеї ООН 58/289 від 14.04. 2004 року «Повышение безопасности дорожного движения во всем мире» // База даних ООН. URL: <https://undocs.org/ru/A/RES/58/289>.
3. Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 червня 2017 року N 481-р // База даних Законодавство України / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/481-2017-%D1%80/print>.
4. Перший міжнародний Конгрес з питань реформування системи управління безпеки дорожнього руху, м. Київ. Підсумкова резолюція. 22.06.2017 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ucci.org.ua/media/filemanager/Resolution_END_20.06.17.pdf.
5. Стаття 3 Конституція України (Відомість Верховної Ради України) від 1996 р. N141 // База даних Законодавство України / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>.
6. Про дорожній рух. Закон України 30.06.1993р. N3353-XII редакція від 04.02.2019N 2478-VIII // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12>.
7. Про невідкладні заходи із забезпечення дорожнього руху. Указ Президента України 17.06.2008р №556/2008 // База даних Законодавство України/Верховна рада України. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/556/2008>.
8. Кужель В.П. Оцінка дальності видимості дорожніх об'єктів у темну пору доби при експертизі ДТП за допомогою нечіткої логіки. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харків, 2008. Вип.41. С. 91– 95.

9. Каськів В.І., Вознюк А.Б., Нагребельна Л.П. До питання аудиту безпеки автомобільних доріг України. *Автошляховик України*. 2020. № 1 (261). С. 32-39.
10. Єресов В.І., Григор'єва О.В. Шляхи управління рухом в умовах перевантаження. *Вісник НТУ*. Київ, 2011. Вип. 24(2). С. 153-157.
11. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / за заг. ред. В.П. Поліщука; О.О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В.І. Єресов та ін. – К.: Знання України, 2012. С. 468.
12. Поліщук В.П. Критерии эффективности автоматизированных систем управления движением / В.П. Полищук // *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту*. 2010. № 1(10). С. 92-101.
13. Єресов В.И. Повышение эффективности контроля и управления движением на автомобильных дорогах: дис. канд. тех. наук: 05.22.10, 05.11.16 / Владимир Иванович Ересов. – К.: КАДИ, 1984 С. 189.
14. Поліщук В.П., Кутузов А.Є. До питання управління безпекою руху на автомобільних дорогах загального користування регіону. *Вісник НТУ*. Київ, 2013. Вип. 28. С. 38-385.
15. Капський Д.В. Теоретические основы прогнозирования аварийности на конфликтных объектах. *Дороги і мости*. Київ, 2008. Вип. 8. С.83 -87.
16. Звіт про діяльність від 23.11.2015 ГО «Товариство учасників руху громадська організація» Досвід країн Європи щодо управління безпекою дорожнього руху. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.tur.org.ua/news/dosvid-krayin-ievropi-shchodo-upravlinnya-bezpekoyu-dorozhnogo-ruhu>
17. Собакарь А.О., Холмянський Я.Д., Тараненко С.М. Основи безпеки дорожнього руху. навч.посіб. під редакцією Безчасного В.М. Київ: Знамя. 2007. 312с.
18. Дослідницька організація World life expectancy [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.worldlifeexpectancy.com/world-road-traffic-accidents-report>.

19. Вознюк А.Б., Нагребельна Л.П., Міненко Є.В. Недоліки в дорожніх умовах та їх вплив на виникнення дорожньо-транспортних пригод. *Дороги і мости*. Київ, 2019. Вип. 19 – 20. С.163 – 172.
20. Любарський Р.Є. Проектування міських транспортних систем. -К.: будівельник, 1984. С. 93.
21. Степанчук О.В. Методологічні основи підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст. Проблеми розвитку міського середовища. Вип. 5-6. 2011. С. 230 – 236.
22. EurostatStatisticsExplained [Електронний ресурс] -Режим доступу: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_cars_in_the_EU
23. [Електронний ресурс] -Режим доступу: <https://hmarochos.kiev.ua/2016/04/28/riven-avtomobilizatsiyi-kiyeva-vishhiy-nizh-nyu-yorku/>.
24. Державна служба статистики України [Електронний ресурс] -Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
25. Nahrebelna L., Polishchuk V. Formation of road traffic management principles in the system «Perehin». *World Science*. 2021. Iss. 8(69). P. 4–11. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30082021/7652.
26. Пугачев И.Н. Организация и безопасность движения: Учеб. Пособие / И.Н. Пугачев -Хабаровск: Изд-во Хабар. Гос.тех.ун-та, 2004. С. 233.
27. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управлениями. Москва: Издательство «Транспорт», 1972.
28. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании автомобильных дорог и организации движения. -М: Транспорт, 1977. С. 301.
29. Daganzo, C. F. Macroscopic Relations of Urban Traffic Variables: Bifurcations, Multivaluedness and Instability / C. F. Daganzo, V. Gayah, E. Gonzales // *Transportation Research Part B: Methodological*. -2011. -45(1). -P. 278-288.
30. Daganzo, C. F. Fundamentals of transportation and traffic operations. N.Y. : ElsevierScienceInc., 1997.

31. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: Учебник для студентов вузов. М: Транспорт, 1990. С. 240.
32. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. Москва, Мир, 1966. С. 228.
33. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании автомобильных дорог и организации движения.. М: Транспорт. 1977. С. 304.
34. Сильянов В.В. Домке Э. Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. -3-е изд., стер. -М.:Издательский центр «Академия», 2009. С. 352.
35. Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов: Учеб. Пособие для студентов авто-дорожной спец. Вузов. -М.: Высшая школа. 1985. С. 239.
36. Лобанов Е.М., Сильянов В.В., Ситников Ю.М. Пропускная способность автомобильных дорог. . -М.: Транспорт, 1970. С. 152.
37. [Электронный ресурс] – Режим доступа:<https://wol.jw.org/ru/wol/d/r2/lp-u/102005848#h=1>.
38. Белятинський А.О. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху: монографія / А.О. Белятинський, В.М. Першаков, О.В. Степанчук, Р.В. Кротов. -К.: НАУ, 2015. С. 176.
39. Белятинський А.О. Особливості вибору ефективних методів організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі / А.О. Белятинський, О.В. Степанчук, О.І. Лапенко // Проблеми розвитку міського середовища: наук.-техн. зб. 2013. Вип. 10. С. 123–127.
40. Белятинський А.О. Анализ методики проектирования реконструкции автомобильных дорог на основе теории транспортных потоков / А.О. Белятинський, Н.В. Кужель // Наука -будущее Литвы. Транспорт: сб. докл. 11-й конференции молодых учёных Литвы. -Литва. Вильнюс: Техника, 2008. -С. 120– 125.
41. Белятинський А.О. Особливості прогнозування інтенсивності руху транспорту на вулицях і дорогах населених пунктів / А.О. Белятинський, О. В. Степанчук, О. І. Пилипенко // Вісник Інженерної академії України. -2012. №1. С. 192– 195.

42. Бабков В.Ф. Дорожные условия и режимы движения автомобилей / В.Ф. Бабков, М.Б. Афанасьев, А.П. Васильев. -М. : Транспорт, 1967. – 227 с.
43. Бируля А. К. Влияние интенсивности автомобильного движения на его скорость. / А. К. Бируля // Труды Харьковского автомобильно– дорожного института. 1957. № 19. – С. 17– 21.
44. Васильев А.П. Управление движением на автомобильных дорогах / А.П. Васильев, М.И. Фримштейн. М.: Транспорт, 1979. С. 295.: ил.
13. Вол М. Анализ транспортных систем / М. Вол, Б. Мартин; пер. с англ. - М.: Транспорт, 1981. С. 514.
45. Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения / А.А. Гаврилов. - М.: Транспорт, 1980. С. 189.
46. Lighthill M.H., Whitham G.B. On kinematic waves II: a theory of traffic flow on long, crowded roads. *Proceedings of the Royal Society of London series A*. 1955. Vol. 229. P. 317-345.
47. Lebacque J.P. The Godunov scheme and what it means for first order traffic flow models. In: Lesort J.B. (ed), *Proceedings of the 13th International Symposium of Transportation and Traffic Theory*. Lyon, 1996. P. 647-677.
48. Knight H. New algorithm can dramatically streamline solutions to the «max flow» problem. MIT News. 2014. P. 21– 26.
49. Шутеев Э.И., Белокопытов Д.О., Димитров Д.Ф. Моделирование нелинейных электрических цепей постоянного тока для решения задачи поиска кратчайшего пути. Труды Одесского политехнического университета. Одеса, 2009. Вып. 2 (32). С. 88-91.
50. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков. *Автоматика и телемеханика*. 2003. № 11. С. 3-46.
51. Шелков Ю.Д. Организация дорожного движения в городах: Методическое пособие. Москва: Научно-исследовательский центр ГАИ МВД России, 1995. С. 143.

52. За матеріалами з сайту Nacto.org, [Електронний ресурс] -Режим доступу: <http://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/design-controls/design-speed/>.
53. Jeff Speck, «With fat lanes, traffic engineers kill in the name of safety», <http://greatergreaterwashington.org/post/16693/with-fat-lanes-traffic-engineers-kill-in-the-name-of-safety/>.
54. Красников А.Н. Закономерности распределения интервалов между автомобилями на многополосных автомобильных дорогах / А.Н. Красников // Труды МАДИ. 1975. -Вып. 95. С. 74–83.
55. Красников А.Н. Скорости движения потоков автомобилей на автомагистралях с шестью полосами движения / А.Н. Красников // Проектирование дорог и безопасность движения. -1974. С. 71–75.
56. ГОСТ Р 52398 – 2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования.
57. ДБН В.2.3-5-2018 Вулиці та дороги населених пунктів Київ, 2018. 55 с.
58. Вирожемський В.К. Нагребельна Л.П. Визначення оптимального варіанту ширини смуги руху на автомобільних дорогах. *Автошляховик України*. Київ, 2018. Вип. 2.
59. Беспалов, Д. Методы моделирования транспортных потоков [Электрон. ресурс] / Д. Беспалов // Режим доступу : <https://bespalov.me/2012/07/16/metody-modelirovaniya-transportnyh-potokov/>.
60. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: справочник / В.У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др. -М. : Транспорт, 1981. С. 592.
61. Богданов О.І. Дослідження процесу розподілу руху по смугах багатосмугових міських магістралей / О.І. Богданов, С.В. Роман, С. С. Кизим. К.: КНУБА, 2006. -С. 21– 30.
62. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения: в 2 ч. / Ю.А. Врубель. -Минск: Белорусский фонд безопасности дорожного движения. -1996. Ч. 1. С. 328.

63. Nahrebelna L., Polishchuk V. Use of queuing theory for improvement of traffic management on the main street and road network of cities. *International Academy Journal «Web of Scholar»*. 2020. Iss. 4(46). P. 8–12.

DOI:https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30042020/7039.

64. Електронний ресурс] -Режим доступу:<https://zautra.by/news/news-15287>

65. Врубель Ю.А. Потери в дорожном движении / Ю.А. Врубель. -Мн.: БНТУ, 2003. С. 380.

66. Заклинский А.Д. Управление транспортными потоками при заторах: пособие / А.Д. Заклинский, В.Т. Капитанов. -М. ВНИИБДР МВД СССР, 1980. С. 28.

67. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. С.280.

46. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. -Иркутск: Изд-во ИрГТУ, С. 200-208.

69. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник / за заг. ред. В.П. Поліщука; О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, О.П. Дзюба, В.І. Єресов та ін. -К.: Знання України, 2012. С. 468.

70. Пржибыл П. Телематика на транспорте; пер. с чешского / П. Пржибыл, М. Свитек // под ред. проф. В.В. Сильянова -М.: МАДИ (ГТУ), 2003. С. 540.

71. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения: учеб. для вузов / Я.В. Хомяк. К.: Вища школа, 1986. С. 272.

72. Traffic Signal Timing Manual / P. Koonce [and others] -McLean: US Department of Transportation, 2008. 264 p.

73. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П. Проблеми сучасного міста. Вісник НТУ. Київ, 2019. Вип. 1 (43) С. 136 – 142.

74. Степанчук О.В. Методологічні основи підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст. Проблеми розвитку міського середовища. Вип. 5-6. 2011. С. 230-236.

75. EurostatStatisticsExplained [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_cars_in_the_EU.
76. [Електронний ресурс] -Режим доступу: <https://hmarochos.kiev.ua/2016/04/28/riven-avtomobilizatsiyi-kiyeva-vishhiy-nizh-nyu-yorku/>.
77. Державна служба статистики України [Електронний ресурс] -Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
78. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А. Покращення безпеки дорожнього руху за допомогою автоматизованого управління дорожнім рухом. *Вісник НТУ*. 2021. Випуск 1 (49). DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-233-241.
79. Нагребельна Л.П., Беленчук О.В., Петрашенко О.П. Ефективний підхід виявлення ділянок автомобільних доріг для першочергового планування заходів з безпеки дорожнього руху. *Автошляховик України*. 2019. № 4 (260). С. 52–57.
80. De Latic Piarc. Vers la circulation autamague // *Sci et avniz*. -1971. № 296. С. 836 -843.
81. Codd H.A. Comuter stenerm Autobahnerakehs // *Eur-Verkehs*. -1970. – 18. №4. 258 -259, I, II, IV.
82. La gestion automatisec de la circulation fur le corridor Sud de Paris // *Prot. et circ. Rout*. -1974. -4. -№11. С. 7-10.
83. Bhattacharya P.G. Speed roning and its effects on spot-speed distribution // *Indian Engr*. 1969. -18, № 3,1 -6.
84. Paying off Lok Klaas, Withagen Gijs, Beeckman Fons, Spek Hans, Visser Johann *Traffic Technol. Int*. 2004, Febr-March, С. 66-67. 69-71.
85. Dominguez Edward J. Systematic traffic lane control apparatus with lights. Пат. США кл. 340-36, IGO 08 gI (00) №3593261, заявл. 11.10.68, опубл. 13.07.71.
86. Васильев А.П., Фримштейн М.И. Системы автоматического регулирования автомобильного движения // *Автомобильные дороги*. -1972. № 1. С. 11 -12.
87. Васильев А.П., Фримштейн М.И. Управление движением на автомобильных дорогах -М.: Транспорт, 1979. С. 296.
88. Проектирование сметем управления дорожным движением на основе

отношений наследования свойств Михеев С. В. Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Сб. докл. 6 Международной конференции, Санкт-Петербург, 14 -15 сент., 2004. СПб. Изд-во СПбГАСУ. 2004. С. 241-245.

89. Совершенствование координированного управления движением транспортных потоков высокой интенсивности. Петров Е.А., Рябоконт Ю.А. Дорожно-транспортный комплекс как основа рационального природоиспользования: Материалы Международной научно-технической конференции. Омск, 23-25 ноября, 2004. Кн. 2. Омск: Изд-во СибАДИ, 2005, С. 49 -52.

90. Mosooroits Karl. Motorway Surveillance and control // Traffic Eng. and Contr. -1973. -14. № II. P. 526-528.

91. Proposal for the control of traffic densities in a road network system. Fairbairn Alasdair. Traffic Eng. and Contr. 2005. 46, № 6, С. 221-224.

92. Регулирование движения с помощью ЭВМ // Un «maggazzino» di messaggi conrandati dal computer «Electrificazione» 1972. № 8. -P.421 -422.

93. Способ улучшения качества метода сообщения о наличии проблем в дорожном движении. Verfahren zur Guteverbesserung von Verkehrsstörungsmeldevorfahren: Заявка 10246184 Германия. МПК⁷ G 08 G 1/01, G 08 C 17/02. Bayerische Motoren Werke AG. Bogenberger Klaus, Kates Ronald: Заявл. 02.10.2002; Оpubл. 30.09.2004.

94. Полищук В.П. Проектирование автоматизированных систем управления движением на автомобильных дорогах. // УМК ВО при Минвузе УССР– К.:1990.-54

95. Поліщук В.П. Критерии эффективности автоматизированных систем управления движением / В.П. Полищук // *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту*. 2010 .№1(10). С. 92-101.

96. Пугачев И.Н. Организация и безопасность движения: Учеб. Пособие / И.Н. Пугачев -Хабаровск: Изд-во Хабар. Гос.тех.ун-та, 2004. С. 233.

97. Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. // Транспорт. М.: 1984. С. 287.

98. Нагребельна Л.П. Лінійний аналіз – найкращий метод виявлення небезпечних ділянок доріг. *Автошляховик України*. 2019. № 2 (258). С. 50–56.
99. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управлениями. Москва: Издательство «Транспорт», 1972.
100. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании автомобильных дорог и организации движения. -М: Транспорт, 1977. С. 301.
101. Daganzo, C. F. Macroscopic Relations of Urban Traffic Variables: Bifurcations, Multivaluedness and Instability / C. F. Daganzo, V. Gayah, E. Gonzales // *Transportation Research Part B: Methodological*. -2011. -45(1). P. 278-288.
102. Daganzo, C. F. Fundamentals of transportation and traffic operations. N.Y. : ElsevierScienceInc., 1997.
103. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: Учебник для студентов вузов. М: Транспорт, 1990. С. 240.
- агребельна Л.П. Визначення місць утворення заторів за допомогою гідродинамічної моделі та залежностей транспортного потоку. *Дороги і мости*. Випуск 22 (2020). С. 214–224.
105. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании автомобильных дорог и организации движения. М: Транспорт. 1977. С. 304.
106. Сильянов В.В. Домке Э. Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. 3-е изд., стер. М.:Издательский центр «Академия», 2009. С. 352.
107. Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов: Учеб. Пособие для студентов авто-дорожной спец. Вузов. -М.: Высшая школа. 1985. С. 239.
108. Черепанов В.А. Транспорт в планировке городов: Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. И поп. -М.: Стройгиздат, 1981. -2 116 с.
109. Білятинський О.О., Тодоренко М.Ю., Ткачук М.О. Експериментальні дослідження закономірностей трирядного руху на підході до міст. Авт. дороги і дорожнє буд-во. К.: Будівельник, вип. VI, 1970, С. 3-7.
110. Білятинський О.О. Дослідження руху на дорогах з трирядним рухом.

Авт. дороги і дорожнє буд-во. К.: Будівельник, вип. V, 1969, С. 6 -10.

111. Эвленов Р.Г. Разработка мероприятий по повышению безопасности дорожного движения. Автореферат на соиск. степени канд. техн. наук. М.: 2007, С. 19.

112. Пальчик А.Н. Влияние состава транспортного потока на величину пропускной способности автомобильных дорог. Материалы VI Всесоюзн. конф. «Пути повышения безопасности дорожного движения». Тбилиси. 1987. С. 124-125.

113. Гаврилов А., Мшвидобадзе Б. Определение целевой функции состояний транспортного потока. Организация и безопасность дорожного движения. Сб. ст. Изд. «Сабчота сакартвело». Тбилиси, 1976, С. 104-108.

114. Хазарадзе Г., Мшвидобадзе Б. Обгон, как показатель характера взаимодействия в транспортном потоке. Организация и безопасность дорожного движения. Сб. ст. Изд. «Сабчота сакартвело». Тбилиси, 1976, С. 169-172.

115. Білятинський О.О., Заворицький В.Й., Забишний О.С. Аналітичний опис розподілу автомобілів по ширині проїзної частини дороги. Авт. дороги і дорожнє буд-во. К.: Будівельник, вип. 10, 1972, С. 30 -34.

116. Никурадзе Н.Ш., Гагадзе З.Д. Распределение транспортных потоков по полосам на шестиполосных городских магистральных улицах. Труды НИЦБД МВД ГССР, вып. 3. Тбилиси, 1988, С. 88 -86.

117. Сильянов В.В., Еремин В.М., Крысин С.П. Имитационная модель возникновения конфликтных ситуаций при смене полос движения на городских магистралях. Труды НИЦБД МВД ГССР, вып. 3. Тбилиси, 1988, С. 43 -50.

118. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. -М.: Транспорт, 1972. С. 424.

119. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения. Учебник для ВУЗов // К.: Высшая школа, 1986. С. 270.

120. Пальчик А.Н. О пропускной способности автомобильных дорог // Автодорожник Украины. -К., 1981. № 3. С. 44 -45.

121. Трибунский В.М. Влияние дорожных условий на пропускную способность автомобильных дорог. Дисс. канд. техн. наук // МАДИ. М.: 1971. С. 169.

122. Красников А.Н. Закономерности движения на многополосных автомобильных дорогах. -М.: Транспорт, 1988. С. 111.
123. Planning and dazing of passing lanes for the Trans -Canada Highway in Yahoo National Park / Tnorral John, Thompson Wayne // Can. Civ. Eng. -1990/ – 17, № 1, p. 79-86.
124. Белятынський А.А. Бигич Б.К. Определение пропускной способности в зависимости от местных условий // Автодорожник України. -К., 1965. -№ 1. С. 41.
125. Кероглу Л.А. Исследование пропускной способности автомобильных дорог. -М.: Автотрансиздат, 1963. С. 85.
126. Лобанов Е.М., Сильянов В.В., Ситников Ю.М. Пропускная способность автомобильных дорог. . -М.: Транспорт, 1970. С. 152.
127. Полищук В.П. Режимы движения автомобилей на съездах развязок автомобильных дорог в разных уровнях // Автодорожник України. К., 1969. № 3. С. 10-15.
128. Сильянов В.В. Теоретические основы повышения пропускной способности автомобильных дорог. Дисс. д-ра техн. наук // МАДИ. М.: 1978. С. 447.
129. Хомяк Я.В., Макаренко М.М. Пропускная способность двухполосных дорог при заданных режимах движения // Автодорожник України. К., 1968. № 3. С. 28-30.
130. Кофман А., Крюон Р. Массовое обслуживание. Теория и приложения. Мир. М. 1965. С. 302.
131. Кофман А. Метод и модели исследования операций. Мир. М. 1966. С. 350
132. Нагребельна Л.П., Вибір моделі для дослідження транспортного потоку на вулично-дорожній мережі міст України. Автошляховик України, Київ, 2019. Вип. 3. С. 30-33. DOI: 10.33868/0365-8392-2019-3-259-30-33.
133. Абрамова Л.С. Имитационная модель управления транспортными потоками / Л.С. Абрамова, Н.С. Чернобаев // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. -2009. № 47. С. 93-97.
134. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю

М.: Транспорт, 1972. С. 424.

135. Иносэ Х. Управление дорожным движением; пер. с англ. / Х. Иносэ, Т. Хамада // под ред. М.Я. Блинкина -М.: Транспорт, 1983. С. 248.

136. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения. В двух частях. Часть 2. / Ю.А. Врубель. Минск: Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. С. 306.

137. Абрамова Л.С. Формализация задачи управления транспортными потоками на улично-дорожной сети крупных городов / Л.С. Абрамова, Н.С. Чернобаев, В.В. Ширин // Прикладная радиоэлектроника. 2009. том 8. № 2. С. 188-192.

138. Томашевский В.Н. Имитационный проект автомобильного дорожного движения / В.Н. Томашевский, Д.С. Печенежский // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. -2001. №1. С. 117-122.

139. Патракеев И.М. Моделирование движения пешеходов в городских условиях / И.М. Патракеев, В.Е. Жуков. // Коммунальное хозяйство городов. 2009. - №90. С. 406-412.

140. Завадский Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования / Ю.В. Завадский. М.: Транспорт, 1977. С. 72.

141. Таха Хемди А. Введение в исследование операций / Хемди А. Таха. 7-е изд.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. С. 912.

142. Дзюба А.П. Повышение пропускной способности регулируемых пересечений в одном уровне: дис. канд. техн. наук: 05.23.14 / Александр Петрович Дзюба. К.: КАДИ, 1989. С. 176.

143. Красильникова О.В. Дисертація канд. техн. наук // КАДИ. К.: 1993. С. 176.

144. Полищук В.П., Красильникова О.В. Учет характера вероятности пропускной способности при использовании АСУД на дорогах высоких категорий // Деп. в УкрНДІНТІ, 24.09.90, № 1674 -Ук 90. К. С. 9.

145. Поліщук В.П., Красильнікова О.В. Оцінка стану транспортного потоку в умовах функціонування АСУР. Міжвід. наук.-техн. зб. Вип. 63. -К., НТУ. 2001. С. 354 -357.

146. Поліщук В.П., Красицьківа О.В. Визначення пропускної здатності дороги в умовах функціонування АСУР. Зб. наук. праць «Автомобільний комплекс України в сучасних умовах: проблеми і шляхи розвитку». ПВКП. К., 1998. С. 297-299.
147. Гаврилов Э.В., Саркісян М.В. Психологическое регулирование скоростей движения на автомобильных дорогах. Вестник ХГАДТУ. Х.: 1998. С. 32-35
148. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К., Лановий О.Т., Линник І.Е., Поліщук В.П. Системологія на транспорті. У п'яти книгах. Кн. IV. Організація дорожнього руху. К.: Знання України, 2007. С. 405.
149. Пальчик А.М. Пропускна здатність автомобільних доріг. Міжвід. наук.-техн. зб. Вип. 63. -К., НТУ. 2001. С. 30 -43.
150. Полищук В.П. Проектирование автоматизированных систем управления движением на автомобильных дорогах. // УМК ВО при Минвузе УССР.— К.: 1990. С. 54.

ДОДАТОК А

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ,

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА



УКРАВТОДОР

Служба автомобільних доріг у Вінницькій області

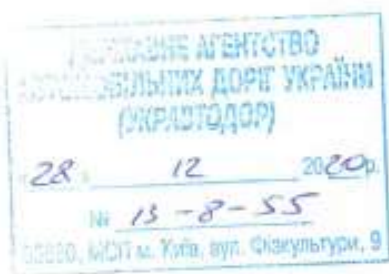
вул. Єрмака 2-а, м. Вінниця 21036,
тел. (0432) 67-13-00, факс (0432) 67-01-92
E-mail: sluzhbadorogvin@ukr.net, vinsad@ukr.net Код ЄДРПОУ 25845655

«15» 09 2020 р. № 2/76**ДОВІДКА**

Цим засвідчуємо, що результати дисертаційної роботи Нагребельної Людмили Павлівни отримали практичне застосування в Службі автомобільних доріг Вінницької області під час виконання робіт з аналізу аварійності, по виявленню аварійно-небезпечних ділянок та ділянок, місць концентрації дорожньо-транспортних пригод з розробленням заходів для зниження кількості дорожньо-транспортних пригод та розроблення проектів/схем організації дорожнього руху на мережі автомобільних доріг загального користування.

Заступник начальника

І.В. Явдошак



ДОВІДКА

впровадження наукових розроблень аспіранта Національного транспортного університету кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху
Нагребельної Людмили Павлівни

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету Нагребельної Людмили Павлівни були впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України при виконанні науково-дослідних робіт за темами:

«Виконати аналіз та переглянути ДСТУ 4159:2006 «Безпека дорожнього руху. Організація дорожнього руху. Умовні позначення на схемах і планах» (п.пл.140) (договір № 97-16 від 19 вересня 2016 року, номер державної реєстрації 0116U007469); «Виконати аналіз та розробити національний стандарт щодо вимог та правил застосування дорожніх огорожень та напрямних пристроїв» (договір № 102-16 від 19 вересня 2016 року, номер державної реєстрації 0116U007473); «Виконати аналіз, переглянути СОУ 45.2-00018112-066:2011 та привести його статус до вимог чинного законодавства» (п.пл.125) (договір № 57-17 від 21 серпня 2017 року, номер державної реєстрації 0117U001944);

За результатами наукових робіт були розроблені:

1. ДСТУ 8752:2017 «Безпека дорожнього руху. Проект організації дорожнього руху. Правила розроблення, побудови, оформлення, вимоги до змісту»;

2. ДСТУ 8751:2017 «Безпека дорожнього руху. Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила використання. Загальні технічні вимоги»;

3. ДСТУ 8894:2019 «Безпека дорожнього руху. Лінійний аналіз аварійності та оцінювання умов безпеки руху на автомобільних дорогах».

Начальник Відділу
інноваційного розвитку
Департаменту технічного забезпечення
Та інноваційного розвитку



О.Ю. Тимошук



ВИКОНАВЧИЙ ОРГАН КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ (КИЇВСЬКА МІСЬКА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ)

ДЕПАРТАМЕНТ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ
КОМУНАЛЬНА КОРПОРАЦІЯ «КИЇВАВТОДОР»
(КК «КИЇВАВТОДОР»)

вул. Петра Болбочана (К. Каменева), 6, м. Київ, 01014, тел. (044)285-03-36
E-mail: reception.kievavtodor@ukr.net, Код ЄДРПОУ 03359026

31.12.2020 № 01-19/9/4415

ДОВІДКА

Результати дисертаційної роботи Нагребельної Людмили Павлівни отримали практичне застосування в комунальній корпорації «Київавтодор» під час виконання робіт з розробленням тимчасових схем організації дорожнього руху на ділянках доріг де проводяться ремонтні роботи, а саме: на вулиці Бойчука на ділянці між вул. Професора Підвисоцького і Військовим проїздом; на Броварському проспекті, поблизу перетину з автомобільною дорогою О-100603 (дорога до с. Зазим'я); на вулиці Вишгородська, на ділянці від пл. Шевченка до вул. Берестецької; на вул. Академіка Білецького від бульвару В. Гавела до вул. Героїв Севастополя; вул. Я. Коласа на ділянці між вул. П. Чаадаєва і вул. Г. Юри; на вул. Алея Героїв Крут.

Також результати роботи отримали практичне застосування при розробленні заходів для удосконалення регулювання транспортними потоками на вулично-дорожній мережі м. Києва.

Заступник генерального директора
з експлуатаційного утримання,
розвитку та функціонування
вулично-дорожньої мережі

Олександр ПАВЛОВСЬКИЙ



УКРАВТОДОР

СЛУЖБА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ У КИЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

вул. Народного ополчення, 11-А, м. Київ, 03151,

тел. (044) 249-86-95, факс (044) 200-04-70

e-mail: kievoad@ukr.net, веб-сайт: <http://kiev.ukravtodor.gov.ua>, код ЄДРПОУ 26345736

31.12.2020 № 06с/4604 на № _____ від _____

ДОВІДКА

Результати дисертаційної роботи Нагребельної Людмили Павлівни отримали практичне застосування в Службі автомобільних доріг Київської області під час виконання робіт з розробленням тимчасових схем організації дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування, а також при розробленні заходів з підвищення рівня безпеки дорожнього руху на мережі автомобільних доріг області.

Заступник начальника
з експлуатаційного утримання

В.П. Дідух



ДОВІДКА

впровадження наукових розроблень аспіранта Національного транспортного університету кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху
Нагребельної Людмили Павлівни

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету Нагребельної Людмили Павлівни були впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України при виконанні науково-дослідної роботи за темою:

«Виконати аналіз та удосконалити нормативні документи з безпеки дорожнього руху шляхом перегляду ДСТУ 3587-97 та ДСТУ 2587:2010» (договір № 85-18 від 16 травня 2018 року, номер державної реєстрації 0116U000737).

За результатами наукової роботи було розроблено ДСТУ 2587:2021 «Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови».

Начальник Відділу
інноваційного розвитку
Департаменту технічного забезпечення
Та інноваційного розвитку



О.Ю. Тимошук

015928



УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

01010, м. Київ, вул.М.Омеляновича-Павленка, 1, т.ф. +38 (044) 280 82 03, т. +38 (044) 280 87 65
 e-mail: general@ntu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070915

07.09.2011 № 2068/11
 на № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи Нагребельної Людмили Павлівни за темою: «Удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст» впроваджено у навчальний процес, а саме при викладенні дисципліни «Технічні засоби управління дорожнім рухом» для студентів спеціальності 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті) освітньо-професійна програма «Інтелектуальні системи управління дорожнім рухом».

Проректор з навчальної роботи НТУ
 кандидат технічних наук, професор

О.К. Гришук

Декан факультету транспортних та
 інформаційних технологій НТУ
 доктор фізико-математичних наук, професор

В.Д. Данчук



СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії

1. 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 / за ред. В.О. Пінчук, Г.С. Прокудін. Дніпро: Пороги, 2021. 536 с. С. 183-209. ISBN 978-617-518-399-1.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав.

2. Nahrebelna L., Polishchuk V. Formation of road traffic management principles in the system «Perehin». *World Science*. 2021. Iss. 8(69). P. 4–11. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30082021/7652.

3. Nahrebelna L., Polishchuk V. Use of queuing theory for improvement of traffic management on the main street and road network of cities. *International Academy Journal «Web of Scholar»*. 2020. Iss. 4(46). P. 8–12. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30042020/7039.

Публікації в наукових фахових виданнях України.

4. Нагребельна Л.П., Кононенко А.О. Створення єдиної системи маршрутного орієнтування в Україні з урахуванням найкращого світового досвіду для підвищення безпеки дорожнього руху. *Автошляховик України*. 2021. № 2. С. 36–45. DOI: 10.33868/0365-8392-2021-2-266-36-45.

5. Нагребельна Л.П., Корчевська А.А. Покращення безпеки дорожнього руху за допомогою автоматизованого управління дорожнім рухом. *Вісник НТУ*. 2021. Випуск 1 (49). DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-233-241.

6. Беленчук О.В., Попович Н.І., Нагребельна Л.П. Основні чинники ризику дорожньо-транспортного травматизму серед пішоходів. *Автошляховик України*. 2020. № 3. С. 43-47. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-263-43-47.
7. Каськів В.І., Вознюк А.Б., Нагребельна Л.П. До питання аудиту безпеки автомобільних доріг України. *Автошляховик України*. 2020. № 1 (261). С. 32-39. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-1-261-32-39.
8. Нагребельна Л.П. Визначення місць утворення заторів за допомогою гідродинамічної моделі та залежностей транспортного потоку. *Дороги і мости*. Випуск 22 (2020). С. 214–224.
DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.214>.
9. Нагребельна Л.П., Беленчук О.В., Петрашенко О.П. Ефективний підхід виявлення ділянок автомобільних доріг для першочергового планування заходів з безпеки дорожнього руху. *Автошляховик України*. 2019. № 4 (260). С. 52–57.
10. Нагребельна Л.П. Вибір моделі для дослідження транспортного потоку на вулично-дорожній мережі міст України. *Автошляховик України*. 2019. № 3 (259), С. 30–33.
11. Нагребельна Л.П. Лінійний аналіз – найкращий метод виявлення небезпечних ділянок доріг. *Автошляховик України*. 2019. № 2 (258). С. 50–56.
12. Вознюк А.Б., Нагребельна Л.П., Міненко Є.В. Недоліки в дорожніх умовах та їх вплив на виникнення ДТП. *Дороги і мости*. 2019. Випуск 19-20. С. 163–172.
13. Нагребельна Л.П., Поліщук В.П. Проблеми сучасного міста. *Вісник НТУ*. 2019. № (1) 43. С. 136-142.
14. Нагребельна Л.П., Беленчук О.В., Кононенко А.О. Підняті пішохідні переходи, як засіб забезпечення безпеки пішоходів. *Автошляховик України*. 2018. №2. С. 47-50.
15. Вирожемський В.К., Нагребельна Л.П. Визначення оптимального варіанту ширини смуги руху на автомобільних дорогах. *Автошляховик України*. 2018. №2, С. 43-46.

16. Бондар Т.В., Нагребельна Л.П., Кононенко А.О., Беленчук О.В., Ольхова М.Ю., Петрашенко О.П. Рейтинг мережі доріг державного значення за даними аварійності 2017 року *Дороги і мости*. 2017. Випуск 17. С. 89–96.

17. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П. Аналіз факторів, що спричиняють ДТП на автомобільних дорогах загального користування та пропозиції по їх ліквідації. *Дороги і мости*. 2016. Випуск 16. С. 82–85.

Публікації апробаційного характеру.

18. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П. До питання про затори на вулично-дорожній мережі міст. *Наукова конференція (Збірник НТУ) Науково-технічний збірник “Вісник Національного транспортного університету”*. С. 291-292.

19. Нагребельна Л.П., Роль дорожніх умов у виникненні ДТП. *16-й Міжнародний форум з будівництва, експлуатації та проектування автомобільних доріг. «Автодорекспо»*.

20. Нагребельна Л.П., Роль дорожніх умов у виникненні ДТП. *Укравтодор. Науково-практичний семінар «Напрямки підвищення безпеки руху на автомобільних дорогах. Особливості зимового утримання автомобільних доріг»*.

21. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П., Возникновения и последствия пробок на дорогах» *Міжнародна ювілейна науково-технічна конференція «Автомобільні дороги: безпека та надійність»*. Збірник доповідей, частина 1, 2018. С. 142-149.

22. Вирожемський В.К., Нагребельна Л.П., Влияние ширины полосы движения на безопасность транспортного потока. *Міжнародна ювілейна науково-технічна конференція «Автомобільні дороги: безпека та надійність»*. Збірник доповідей, частина 1, 2018. С. 42 – 47.

23. Нагребельна Л.П., Кононенко А.О. Анализ ДТП в Украине и основные причины их возникновения» *Міжнародна ювілейна науково-технічна*

конференція «Автомобільні дороги: безпека та надійність. Збірник доповідей, частина 1, 2018. С. 106-115.

24. Кононенко А.О., Нагребельна Л.П. Місця концентрації ДТП на дорогах України. Міжнародна науково–технічна конференція «Гідротехнічне і транспортне будівництво». 2019.

25. Нагребельна Л.П. Умови для ефективного функціонування вулично–дорожньої мережі міст. Збірник тез міжнародної науково–технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво». Одеса. 2019. С. 70-72.

26. Нагребельна Л.П. Фактори, що впливають на безпеку дорожнього руху. Збірник тез міжнародної науково–технічної конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво». Одеса. 2019. С. 73-76.

27. Вирожемський В.К., Нагребельна Л.П., Міненко Є.В., Бідненко Н.А. Новий метод прогнозування виникнення дорожньо-транспортних пригод в Україні. *CETRA 2020 International Conference jn Road and Rail Infrastructure*. <https://master.grad.hr/cetra/ocs/index.php/cetra6/cetra2020/paper/view/1067>.

28. Нагребельна Л.П. Особливості імітаційного моделювання вулично–дорожньої мережі міст» *Всеукраїнська науково–практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» присвячена 120–річниці Національного університету «Запорізька політехніка» м. Запоріжжя, 14-15 квітня.*

29. Нагребельна Л.П., Поліщук В.П. До питання складових транспортного потоку на магістральній вулично–дорожній мережі міст. *II Міжнародна науково–технічна інтернет–конференція у співпраці з фондом INTERMMARIUM «Іноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем», м. Рівне, 15 квітня.*

30. Нагребельна Людмила Павлівна Закономірності утворення заторів. *IX Международная научно–практическая конференция. «TOPICAL ISSUES OF THE DEVELOPMENT OF MODERN SCIENCE».* 6–8 мая 2020 года Софія, Болгарія.

31. Нагребельна Людмила Павлівна Как решить проблему с

возникновением заторов на улично–дорожной сети городов Украины. *IX Международная научно-практическая конференция «DYNAMICS OF THE DEVELOPMENT OF WORLD SCIENCE»* 13–15 мая 2020 года. Ванкувер, Канада.

32. Поліщук В.П., Нагребельна Л.П. Особливості імітаційного моделювання транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міст. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. К.: НТУ, 2020. С. 272.