

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Львівська політехніка»

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Євчук Юрій Юрійович

УДК 656.051

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З**  
**УРАХУВАННЯМ ПРІОРИТЕТУ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**  
Спеціальність 275 – Транспортні технології (за видами)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

Ю.Ю. Євчук

Науковий керівник:

Ройко Юрій Ярославович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка»

Львів – 2025

## АНОТАЦІЯ

*Свчук Ю.Ю.* Обґрунтування режимів світлофорного регулювання з урахуванням пріоритету для громадського транспорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)» – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2025.

Дисертація присвячена вивченню закономірностей у транспортних потоках на магістральних вулицях зі світлофорним регулюванням. В умовах постійного зростання інтенсивності руху, а відтак, і завантаження вулично-дорожньої мережі, зростають також витрати часу на пересування мешканців територією міста. Оскільки задовільнити попит на пересування приватним моторизованим транспортом у містах стає все складнішим завданням, тому велика увага зосереджена на збільшенні привабливості громадського транспорту, яка включає надання йому пріоритету в русі, впроваджуючи нові підходи до облаштування інфраструктури та проектування автоматизованих систем управління рухом. Таке завдання є особливо актуальним для міст зі сформованою вулично-дорожньою мережею, яка має обмежені можливості до розширення.

У роботі вивчаються транспортні та дорожньо-планувальні чинники, а також показники учасників дорожнього руху у різні періоди найбільш інтенсивного руху та їх вплив на надійність роботи магістральної вулично-дорожньої мережі, ефективність світлофорного регулювання.

Методологія дослідження ґрунтується на: теоретичному аналізі різноманітних чинників, які визначають пропускну здатність вулично-дорожньої мережі, умови руху транспортних потоків, зокрема і громадського транспорту, формування у них затримок; масових експериментальних вимірюваннях показників транспортних та пасажирських потоків, тривалості

обслуговування громадського транспорту на зупинкових пунктах; імітаційному моделюванні процесу дорожнього руху за різних показників його учасників та часових параметрів світлофорного регулювання.

У першому розділі проаналізовано основні методологічні напрямки організації дорожнього руху та чинники, які впливають на режими руху потоків. Визначено основи ситуаційного, системного та процесного підходів до управління світлофорною сигналізацією на вулично-дорожній мережі. Тут важливу увагу приділено взаємозв'язку між геометричними параметрами проїзної частини, її адаптації під обсяги транспортних кореспонденцій, які постійно змінюються. Комплексний аналіз різноманітних чинників дозволяє сформулювати підходи щодо перерозподілу вуличного простору під потреби різних груп учасників дорожнього руху задля знаходження такого балансу між попитом (обсяги пересування) та пропозицією (пропускна здатність), який би дозволяв реалізовувати пересування мешканців з найменшими затратами часу. Це дозволяє приймати рішення щодо надання пріоритетів для цих груп учасників дорожнього руху диференційовано і найбільш доцільно по відношенню до міської території, ґрунтуючись на специфіці формування транспортної мережі, функціонального зонування території, закономірностях зміни показників транспортних, пішохідних та пасажирських потоків протягом періоду найбільш інтенсивного руху.

Під час такого комплексного аналізу різноманітних чинників враховано також відомі раціональні підходи до ефективного застосування просторової та часової пріоритизації громадського транспорту, можливості їх поєднання у системах координованого регулювання.

Другий розділ дисертації зосереджений на оцінюванні моделей руху транспортних потоків на магістральній вулично-дорожній мережі та порівнянні адекватності застосування різних методів пріоритету для громадського транспорту. Тут важливо відзначити, що впровадження систем координованого регулювання переважно ґрунтується на застосуванні жорстких циклів світлофорного регулювання, тобто тривалість та почерговість

ввімкнення фаз є чітко визначена. Поряд із цим, у світовій транспортній науці відомі факти обмеженого застосування адаптивних циклів у системах координованого регулювання, тобто надання громадському транспорту часового пріоритету за одночасного просторового пріоритету (з облаштуванням виділених смуг). За таких випадків, ґрунтуючись на результатах транспортних досліджень, застосовують деякі виключення щодо застосування принципів пофазного роз'їзду, розміщення зупинкових пунктів, обмеження умов руху загального транспортного потоку тощо. Головне завдання цих груп методів – мінімізація затрат часу під час масового пересування мешканців громадським транспортом.

У третьому розділі наведено результати одночасних експериментальних досліджень пасажирських потоків на всій мережі громадського транспорту міста Львова та тривалості обслуговування на зупинкових пунктах, зміни затримки руху на підходах до регульованих перехресть за різного способу їх облаштування, а також проведено створення базової імітаційної моделі ділянки магістральної вулиці для визначення тенденцій зміни показників дорожнього руху в умовах світлофорного регулювання.

Відомості про показники пасажирського потоку та їх зміну протягом періоду найбільш інтенсивного руху є важливими у контексті визначення наповнення громадського транспорту та обґрунтування зміни (адаптації) часових параметрів світлофорного регулювання на потреби більшої кількості користувачів транспортної системи.

Оцінка тривалості транспортного обслуговування рухомого складу громадського транспорту на зупинкових пунктах та затримки, пов'язаної з цим процесом, а також розміщення зупинкових пунктів відносно регульованих перехресть, дає можливість управляти стрічною часу у системах координованого регулювання зі значною часткою громадського транспорту.

Імітаційне моделювання дозволяє перевірити закономірності зміни показників у потоках учасників дорожнього руху в умовах, наближених до реальних.

У четвертому розділі проведено імітаційне моделювання зміни середньої та максимальної довжини черги, середньої швидкості руху, затримки транспортних засобів загального транспортного потоку та рухомого складу громадського транспорту під час одночасної зміни інтенсивності руху (покрокове збільшення) та часових параметрів світлофорного регулювання (збільшення частки дозвільного сигналу на координованому напрямку).

Обґрунтування режимів світлофорного регулювання з урахуванням пріоритетів для громадського транспорту, зокрема забезпечення одночасного просторового та часового пріоритету, проведено дослідження зміни розміщення зупинкових пунктів та детекторів транспорту відносно ділянки (прогону) магістральної вулиці, що дасть можливість застосовувати один із таких сценаріїв: видовження дозвільного сигналу в стрічці часу у системі координованого регулювання на вимогу рухомого складу громадського транспорту для всього магістрального напрямку; викликати резервну фазу на вимогу рухомого складу громадського транспорту за умови переповнення його салону пасажирами.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані під час врахування потреби руху громадського транспорту в розрахунках режимів світлофорного регулювання, включаючи адаптивне світлофорне регулювання; уточненні підходів щодо впровадження систем координованого світлофорного регулювання на вулицях з рухом громадського транспорту; застосування методик імітаційного моделювання руху транспортних потоків в урбанізованих просторах з урахуванням взаємодії приватного та громадського транспорту в околі регульованих перехресть.

**Ключові слова:** транспортна система, світлофорне регулювання, громадський транспорт, транспортний потік, пасажирський потік, система координованого регулювання, транспортні дослідження, вулично-дорожня мережа.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

### *Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації*

#### *Статті у фахових виданнях України:*

1. Royko Yu., Yevchuk Yu., Bura R., Velhan A. Minimization of public transport delays at arterial streets with coordinated motion. *Transport Technologies*. 2022. vol. 3, no 1. P. 14–29. URL: <https://doi.org/10.23939/tt2022.01.014>
2. Yevchuk Yu. Speed of urban public transport as a criterion for its prioritization. *Transport Technologies*. 2024. vol. 5, no 2. P. 33–41. URL: <https://doi.org/10.23939/tt2024.02.033>
3. Євчук Ю. Ю. Закономірності зміни часових параметрів світлофорного циклу у системах з координованим управлінням рухом. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті : науковий журнал*. 2024. № 2 (23). С. 81–89. URL: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i23.1529>
4. Євчук Ю. Ю. Закономірності зміни затримки руху громадського транспорту за різних способів його пріоритизації. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2024. Том 35 (74), № 6. С. 264–271. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.2/37>

#### *Статті у інших виданнях:*

1. Royko Yu., Yevchuk Yu., Bura R. Minimization of traffic delay in traffic flows with coordinated control. *Transport Technologies*. 2021. vol. 2, no 2. P. 30–41. URL: <https://doi.org/10.23939/tt2021.02.030>

### *Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*

1. Yevchuk Yu. Evaluation of the introduction of public transport movement priority on the regulated crossroad. Y. Yevchuk, K. Vilshanetska. *7th International youth science forum «Litteris et artibus»*. 2017. С. 279–280. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/40386>

2. Євчук Ю. Переваги та недоліки застосування АСУР для забезпечення пріоритету в русі громадського транспорту. *XXIV Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства»*. 2017. С. 116.

3. Євчук Ю. Застосування зарубіжного досвіду у сфері безпеки дорожнього руху. Ю.Євчук, Я. Корик, С. Плесак, М. Афонін. *XII Міжнародна науково-практична конференція «Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти»*. 2017. С. 88–90. URL: [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/22533/1/ZBIRNYK\\_XII\\_MNPK\\_z\\_BDR\\_DJUI\\_MVS\\_UKRAINoNY\\_17\\_11\\_2017.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/22533/1/ZBIRNYK_XII_MNPK_z_BDR_DJUI_MVS_UKRAINoNY_17_11_2017.pdf)

4. Євчук Ю. Зміна швидкісних характеристик автобусного маршруту у різні періоди доби. Ю. Євчук, С. Плесак, Я. Корик. *III-я Всеукраїнська науково-практична конференція «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні»*. 2018. С. 144–146. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/43568>

5. Ройко Ю. Новий підхід в оцінці обсягів руху в Україні. Ю. Ройко, В. Давосир, Ю. Євчук. *III Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання»*. 2019. С. 99–100.

6. Давосир В. А., Євчук Ю. Ю., Кудима В. М. Оцінка безпеки руху під час проїзду перехресть. *Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства: матеріали XXVI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених, Кременчук, 24–25 квітня 2019 р.* 2019. С. 45–46. URL: [https://apgs.kdu.edu.ua/zbirnik\\_apgs\\_2019.pdf](https://apgs.kdu.edu.ua/zbirnik_apgs_2019.pdf)

7. Ройко Ю. Я., Євчук Ю. Ю., Вельган А. І. Процес утворення та розпаду груп транспортних засобів в системах координованого регулювання. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання : тези доповідей Четвертої Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 25–26 березня 2021 року, Львів*. 2021. С. 23–24. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/56272>

8. Євчук Ю. Ю. Переваги впровадження пріоритету для громадського транспорту за координованого управління рухом. *Транспортні технології та*

*безпека дорожнього руху : збірник тез доповідей Третьої всеукраїнської науково-практичної конференції, 16–17 червня 2022 р., Запоріжжя. 2022. С. 74–77. URL: <https://eir.zp.edu.ua/server/api/core/bitstreams/e5b0829f-0ac0-48bf-add4-b71ce30340b5/content>*

9. Євчук Ю. Ю. Вплив пішохідних потоків на параметри координованого управління рухом. *Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання : тези доповідей V Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 23–24 березня 2023 року, Львів. 2023. С. 53–55.*

10. Євчук Ю. Ю. Втрати часу у транспортних потоках за умови координованого управління ними. *Транспортні технології та безпека дорожнього руху : збірник тез доповідей Четвертої всеукраїнської науково-практичної конференції, 13–14 квітня 2023 р., Запоріжжя. 2023. С. 120–124. URL: <https://eir.zp.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d6b8596a-f884-4d5a-a28c-7cdcf4f8c258/content>*

11. Ройко Ю. Я., Євчук Ю. Ю. Аналіз чинників, які визначають тривалість затримки громадського транспорту під час координованого управління рухом. *Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Луцьк, 30–31 трав. 2024 р. 2024. С. 8992. URL: [https://drive.google.com/file/d/1p1Hh23\\_FLlpqeQGUgnHy-c\\_XStzMUz1b/view](https://drive.google.com/file/d/1p1Hh23_FLlpqeQGUgnHy-c_XStzMUz1b/view)*

12. Royko Yu., Bura R., Hrytsun O., Yevchuk Yu. Prioritization of urban public transport on streets with high pedestrian volumes. *MATEC Web of Conferences. 2024. – Vol. 390 : 3rd International scientific and practical conference «Energy-optimal technologies, logistic and safety on transport» (EOT-2023) Lviv, Ukraine, November 9-10, 2023. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439003013>*

13. Royko Yu., Hrytsun O., Bura R., Yevchuk Yu. Provision of a rational control mode at pedestrian crosswalk. *MATEC Web of Conferences. – 2024. – Vol. 390 : 3rd International scientific and practical conference «Energy-optimal*

*technologies, logistic and safety on transport" (EOT-2023) Lviv, Ukraine, November 9-10, 2023. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202439003011>*

## SUMMARY

*Yevchuk Yu.* Justification of traffic light control modes considering the priority for public transport. – On the rights of manuscript.

Dissertation for the scientific degree of Doctor of Philosophy in the specialty 275 “Transport technologies (by types)” – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2025.

The dissertation is devoted to the study of regularities in traffic flows on arterial streets with traffic lights. With the constant growth of traffic volume, and thus the volume-capacity ratio on the road network, the time spent by residents moving around the city is also increasing. As it is becoming increasingly difficult to meet the demand for private motorized transport in cities, much attention is being focused on increasing the attractiveness of public transport, which includes giving it priority, introducing new approaches to infrastructure arrangement and designing automated traffic control systems. This task is especially relevant for cities with an already formed road network that has limited capacity for expansion.

The research examines transport and road planning factors, as well as indicators of road users during different periods of the most intense traffic and their impact on the reliability of the arterial road network and the efficiency of traffic signal control.

The research methodology is based on: theoretical analysis of various factors that determine the capacity of the road network, traffic conditions, including public transport, and the formation of delays; mass experimental measurements of traffic and passenger flows, the duration of public transport service at stopping points; simulation modeling of the traffic process with different indicators of its participants and time parameters of traffic lights.

The first chapter analyzes the main methodological directions of traffic organization and the factors that affect traffic flows. The basics of situational, system and process approaches to traffic signal control on the road network are defined. Here, special attention is paid to the relationship between the geometric parameters of the roadway, its adaptation to the constantly changing volumes of traffic. A comprehensive analysis of various factors makes it possible to develop approaches to redistributing street space to meet the needs of different groups of road users in order to find a balance between demand (traffic volumes) and supply (capacity) that would allow residents to move around with the least amount of time. It makes it possible to make decisions on prioritizing these groups of road users in a differentiated and most appropriate manner in relation to the urban area, based on the specifics of the transport network, functional zoning of the territory, and patterns of change in traffic, pedestrian and passenger flows during the period of the most intense traffic.

This comprehensive analysis of various factors also takes into account well-known rational approaches to the effective use of spatial and time-base prioritization of public transport, as well as the possibility of combining them in coordinated control systems.

The second chapter of the dissertation focuses on the evaluation of traffic flow models on the arterial road network and comparing the adequacy of different priority methods for public transport. It is important to note here that the implementation of coordinated control systems is mainly based on the use of fixed-time traffic signal control cycles, i.e. the duration and sequence of switching on phases is clearly defined. At the same time, the world's transport science knows about the limited use of adaptive cycles in coordinated control systems, i.e., giving public transport a time-based priority with simultaneous spatial priority (with the arrangement of dedicated lanes). In such cases, based on the results of transport studies, some exceptions are applied to the application of the principles of phase sequence, placement of stopping points, restrictions on the conditions of general traffic flow, etc. The main task of

these groups of methods is to minimize the time spent during the mass movement of residents by public transport.

The third chapter presents the results of simultaneous experimental studies of passenger flows on the entire public transport network of Lviv and the duration of service at stopping points, changes in traffic delays on the approaches to signalized intersections with different ways of their arrangement, as well as the creation of a basic simulation model of a section of an arterial street to determine trends in traffic indicators under traffic signal control.

Information on passenger flow indicators and their change during the period of the most intense traffic is important in the context of determining the occupancy of public transport and justifying the change (adaptation) of the time parameters of traffic lights to meet the needs of largest share of transport system users.

Evaluation of the duration of transport service of public transport rolling stock at stopping points and the delay related to this process, as well as the location of stopping points in relation to signalized intersections, makes it possible to manage the travel time in coordinated control systems with a significant share of public transport.

Simulation modeling allows checking the patterns of changes in traffic flows in conditions close to real ones.

In the fourth chapter, the simulation was carried out including changes in the average and maximum queue length, average traffic speed, delay of vehicles of the general traffic flow and public transport rolling stock during the simultaneous change in traffic volumes (stepwise increase) and time parameters of traffic signal control (increase in the share of the permissive signal in the coordinated direction).

To further substantiate the modes of traffic signal control taking into account the priorities for public transport, in particular, to ensure simultaneous spatial and time-based priority, a study was conducted to change the location of stopping points and transport detectors relative to the section of the arterial street, which will make it possible to apply one of the following scenarios: lengthening the permissive signal in the time tape in the coordinated control system at the request of public transport

rolling stock for the entire arterial direction; call the backup phase at the request of public transport rolling stock in case of overcrowding of its interior with passengers.

The results of the dissertation can be used to take into account the need for public transport in the calculation of traffic control modes, including adaptive traffic control; clarify approaches to the implementation of coordinated traffic control systems on streets with public transport; applying methods of simulation modeling of traffic flows in urbanized spaces, taking into account the interaction of private and public transport in the vicinity of signalized intersections.

**Keywords:** transport system, traffic light control, public transport, traffic flow, passenger flow, coordination control system, transport studies, road network.

## **AUTHOR'S PUBLICATIONS ON THE SUBJECT OF THE THESIS**

***Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published***

*Articles in professional journals of Ukraine:*

1. Royko Yu., Yevchuk Yu., Bura R., Velhan A. Minimization of public transport delays at arterial streets with coordinated motion. *Transport Technologies*. 2022. vol. 3, no 1. P. 14–29. URL: <https://doi.org/10.23939/tt2022.01.014>

2. Yevchuk Yu. Speed of urban public transport as a criterion for its prioritization. *Transport Technologies*. 2024. vol. 5, no 2. P. 33–41. URL: <https://doi.org/10.23939/tt2024.02.033>

3. Yevchuk Yu. Regularities of change of time parameters of the traffic light cycle in systems with coordinated traffic control. *Modern technologies in mechanical engineering and transport : scientific journal*. 2024. No 2 (23). P. 81–89. URL: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i23.1529>

4. Yevchuk Yu. *Patterns of changes in public transport delay by different methods of its prioritization. Scientific notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical sciences*. 2024. Vol. 35 (74), No 6. P. 264–271. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.2/37>

*Articles in other journals:*

1. Royko Yu., Yevchuk Yu., Bura R. Minimization of traffic delay in traffic flows with coordinated control. *Transport Technologies*. 2021. vol. 2, no 2. P. 30–41. URL: <https://doi.org/10.23939/tt2021.02.030>

***Published works confirming the approbation of the dissertation materials***

1. Yevchuk Yu. Evaluation of the introduction of public transport movement priority on the regulated crossroad. Yevchuk Yu., Vilshanetska K. *7th International youth science forum «Litteris et artibus»*. 2017. P. 279–280. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/40386>

2. Yevchuk Yu. Advantages and disadvantages of using ATCS to ensure priority in public transport traffic. *XXIV International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists «Actual problems of society's life»*. 2017. P. 116.

3. Yevchuk Yu. Application of foreign experience in the field of road safety. Yevchuk Yu., Koryk Ya., Plesak S., Afonin M.. *XII International scientific and practical conference «road safety: legal and organizational aspects»*. 2017. P. 88–90. URL: [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/22533/1/ZBIRNYK\\_XII\\_MNPK\\_z\\_BDR\\_DJUI\\_MVS\\_UKRAINoNY\\_17\\_11\\_2017.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/22533/1/ZBIRNYK_XII_MNPK_z_BDR_DJUI_MVS_UKRAINoNY_17_11_2017.pdf)

4. Yevchuk Yu. Changes in the speed characteristics of a bus route in different periods of the day. Yevchuk Yu., Koryk Ya., Plesak S.. *III-rd All-Ukrainian scientific and practical conference «Bus building and passenger transportation in Ukraine»*. 2018. P. 144–146. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/43568>

5. Royko Yu. A new approach to estimating traffic volumes in Ukraine. Royko Yu., Davosyr V., Yevchuk Yu.. *III All-Ukrainian scientific and theoretical conference «Problems with traffic flows and directions of their solution»*. 2019. P. 99–100.

6. Davosyr V., Yevchuk Yu., Kudyma V.. Assessment of traffic safety during the passage of intersections. *Actual problems of society: materials of the XXVI International scientific and practical conference of students, postgraduates and*

young scientists, Kremenchuk, April 24-25, 2019. 2019. P. 45–46. URL: [https://apgs.kdu.edu.ua/zbirnik\\_apgs\\_2019.pdf](https://apgs.kdu.edu.ua/zbirnik_apgs_2019.pdf)

7. Royko Yu., Yevchuk Yu., Velgan A.. The process of formation and disintegration of vehicle groups in coordinated control systems. *Problems with traffic flows and directions of their solution: abstracts of the Fourth All-Ukrainian scientific and theoretical conference, March 25-26, 2021, Lviv*. 2021. P. 23–24. URL: <https://ena.lpnu.ua/handle/ntb/56272>

8. Yevchuk Yu. Advantages of implementing a priority for public transport in coordinated traffic management. *Transport technologies and road safety: collection of abstracts of the Third All-Ukrainian scientific and practical conference, June 16-17, 2022, Zaporizhzhia*. 2022. P. 74–77. URL: <https://eir.zp.edu.ua/server/api/core/bitstreams/e5b0829f-0ac0-48bf-add4-b71ce30340b5/content>

9. Yevchuk Yu. The influence of pedestrian flows on the parameters of coordinated traffic control. *Problems with traffic flows and directions of their solution: abstracts of the V All-Ukrainian scientific and theoretical conference, March 23-24, 2023, Lviv*. 2023. P. 53–55.

10. Yevchuk Yu. Time loss in traffic flows under the condition of coordinated management. *Transport technologies and road safety: collection of abstracts of the Fourth All-Ukrainian scientific and practical conference, April 13-14, 2023, Zaporizhzhia*. 2023. P. 120–124. URL: <https://eir.zp.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d6b8596a-f884-4d5a-a28c-7cdcf4f8c258/content>

11. Royko Yu., Yevchuk Yu. Analysis of factors that determine the duration of public transport delay during coordinated traffic management. *Scientific and applied aspects of the automotive and transport and road industries: materials of the VIII International scientific and practical conference, Lutsk, May 30-31, 2024*. 2024. P. 89–92. URL: [https://drive.google.com/file/d/1p1Hh23\\_FLlpqeQGUgnHy-c\\_XStzMUz1b/view](https://drive.google.com/file/d/1p1Hh23_FLlpqeQGUgnHy-c_XStzMUz1b/view)

12. Royko Yu., Bura R., Hrytsun O., Yevchuk Yu. Prioritization of urban public transport on streets with high pedestrian volumes. *MATEC Web of Conferences*. 2024. – Vol. 390 : 3rd International scientific and practical conference "Energy-optimal technologies, logistic and safety on transport" (EOT-2023) Lviv, Ukraine, November 9-10, 2023. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439003013>

13. Royko Yu., Hrytsun O., Bura R., Yevchuk Yu. Provision of a rational control mode at pedestrian crosswalk. *MATEC Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 390 : 3rd International scientific and practical conference "Energy-optimal technologies, logistic and safety on transport" (EOT-2023) Lviv, Ukraine, November 9-10, 2023. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439003011>

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....                                                                                                                 | 19 |
| ВСТУП.....                                                                                                                                           | 20 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО РЕЖИМІВ<br>СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ<br>ПРІОРИТЕТІВ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ.....               | 26 |
| 1.1. Загальні засади управління рухом транспортних потоків .....                                                                                     | 26 |
| 1.2. Вплив дорожньо-планувальних та транспортних чинників на<br>формування потоків учасників дорожнього руху.....                                    | 30 |
| 1.2.1. Аналіз планувальних особливостей вулично-дорожньої<br>мережі та її адаптація до показників учасників дорожнього<br>руху.....                  | 30 |
| 1.2.2. Оцінка пропускнуої здатності вулично-дорожньої<br>мережі.....                                                                                 | 35 |
| 1.3. Аналіз основних чинників, які обумовлюють режими<br>світлофорного регулювання з урахуванням пріоритизації<br>громадського транспорту.....       | 41 |
| 1.3.1. Аналіз існуючих підходів щодо застосування програм<br>управління світлофорною сигналізацією.....                                              | 41 |
| 1.3.2. Аналіз затримки руху в смугах громадського транспорту<br>залежно від показників руху та часових параметрів світлофорного<br>циклу.....        | 43 |
| 1.3.3. Аналіз втрат часу на виділених смугах залежно від<br>розміщення зупинок громадського транспорту відносно<br>регульованих перехресть.....      | 48 |
| 1.3.4. Аналіз методів оцінювання оптимального розміщення<br>зупинок громадського транспорту відносно регульованих<br>перехресть.....                 | 53 |
| 1.4. Висновки з розділу 1.....                                                                                                                       | 55 |
| РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ<br>РЕЖИМІВ РЕГУЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПРІОРИТЕТУ ДЛЯ<br>ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ.....                   | 57 |
| 2.1. Методика забезпечення стійкості груп транспортних засобів у<br>поточі під час координованого управління рухом на магістральних<br>вулицях ..... | 57 |
| 2.2. Методи надання пріоритету громадському транспорту на<br>магістральних вулицях .....                                                             | 68 |

|                                                                                                                                                                                                         |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.2.1. Порівняння ефективності методів пріоритету для громадського транспорту.....                                                                                                                      | 68         |
| 2.2.2. Методика врахування пасивного пріоритету у системі координованого регулювання.....                                                                                                               | 73         |
| 2.2.3. Методика врахування наповнення салону рухомого складу громадського транспорту під час надання йому пріоритету.....                                                                               | 77         |
| 2.3. Висновки з розділу 2.....                                                                                                                                                                          | 84         |
| <b>РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ ЗА РІЗНИХ РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ.....</b>                                                                                      | <b>86</b>  |
| 3.1. Методика та результати експериментального дослідження показників пасажирських потоків та визначення базових характеристики роботи громадського транспорту.....                                     | 86         |
| 3.2. Дослідження тривалості обслуговування рухомого складу громадського транспорту на зупинкових пунктах .....                                                                                          | 95         |
| 3.2.1. Ситуаційний аналіз виникнення затримки, пов'язаної зі способом облаштування зупинкових пунктів.....                                                                                              | 95         |
| 3.2.2. Дослідження тривалості проїзду регульованих перехресть залежно від способу облаштування зупинкових пунктів.....                                                                                  | 97         |
| 3.2.3. Дослідження тривалості обслуговування громадського транспорту на зупинкових пунктах.....                                                                                                         | 102        |
| 3.3. Створення імітаційної моделі та результати моделювання існуючого стану транспортних потоків на ділянці магістральної вулиці .....                                                                  | 108        |
| 3.4. Висновки з розділу 3.....                                                                                                                                                                          | 120        |
| <b>РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПРІОРИТЕТУ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ .....</b>                                                                                | <b>122</b> |
| 4.1. Результати дослідження зміни показників загального транспортного потоку та громадського транспорту при зміні інтенсивності руху та часових параметрів світлофорного регулювання .....              | 122        |
| 4.2. Обґрунтування раціональних параметрів розміщення зупинкових пунктів на магістральних ділянках вулично-дорожньої мережі в умовах просторової та часової пріоритизації громадського транспорту ..... | 134        |
| 4.3. Висновки з розділу 4.....                                                                                                                                                                          | 142        |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>                                                                                                                                                                                    | <b>143</b> |

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                                                                | 145 |
| ДОДАТКИ.....                                                                                                                                   | 159 |
| Додаток А. Результати експериментальних вимірювань показників<br>пасажирського потоку на маршрутній мережі м. Львова .....                     | 160 |
| Додаток Б. Результати імітаційного моделювання з визначення<br>показників у транспортних потоках в системі координованого<br>регулювання ..... | 166 |
| Додаток В1. Акт про використання результатів дисертаційної роботи<br>у навчальному процесі кафедри транспортних технологій.....                | 174 |
| Додаток В2. Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи<br>у ПП «Інжинірингова компанія «ДорПроектСтандарт»».....                    | 175 |
| Додаток В3. Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи<br>у ТОВ «Ежіс Україна».....                                                 | 176 |

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ТП – транспортний потік

ОДР – організація дорожнього руху

ВДМ – вулично-дорожня мережа

ПП – пішохідний потік

ТЗ – транспортний засіб

АСУДР – автоматизована система управління дорожнім рухом

ГТ – громадський транспорт

ПЧ – проїзна частина

УДР – учасники дорожнього руху

ТС – транспортна система

СФО – світлофорний об'єкт

ДТП – дорожньо-транспортна пригода

СФР – світлофорне регулювання

СФЦ – світлофорний цикл

ІМ – імітаційне моделювання

РП – регульовані перехрестя

ЗП – зупинковий пункт громадського транспорту

СКР – система координованого регулювання

ДТ – детектор транспорту

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Постійне зростання попиту на пересування, обмеження вуличного простору й пропускної здатності у містах з усталеною забудовою, зростання рівня автомобілізації та чисельності міських мешканців в останні десятиліття спричинили збільшення інтенсивності руху, постійні затори на вулично-дорожній мережі та витрати часу на пересування. За таких умов задовільнити потребу мешканців на пересування приватним моторизованим транспортом є практично невирішеним завданням. Поряд із транспортними проблемами, пов'язаними із пересуванням, паркуванням тощо, зростають екологічні та економічні проблеми.

Єдиним способом вирішити таку ситуацію є пріоритизація міського громадського транспорту, який здатний задовільнити потреби мешканців у масових регулярних пересуваннях всією територією міста. Кращі світові наукові дослідження та інженерні практики вказують, що для кожного міста, залежно від конфігурації вулично-дорожньої мережі, розселення мешканців та розміщення пунктів притягання населення, існує своя унікальна матриця кореспонденцій, проте є ряд універсальних методик та методів, які дозволяють частково розв'язувати такі проблеми.

Отже, дослідження особливостей формування транспортних потоків та застосування різноманітних режимів світлофорного регулювання на вулично-дорожній мережі з пріоритизацією для громадського транспорту є актуальним завданням, яке дозволить мінімізувати витрати часу на пересування мешканців.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри транспортних технологій Національного університету «Львівська політехніка». Дисертація виконана в межах наукових напрямків кафедри «Оптимізація автомобільних транспортних систем та підвищення безпеки дорожнього руху» (номер

державної реєстрації 0118U000348, 2018–2022 рр.) «Оптимізація параметрів транспортних систем та підвищення ефективності перевізних процесів» (номер державної реєстрації 0123U100402, 2023–2027 рр.), а також науково-дослідних робіт «Дослідження параметрів транспортних потоків в межах виконання Проекту техніко-економічної експертизи будівництва північної ділянки об'їзної автомобільної дороги міста Львів» (госпдоговір № 783, 2021 рік) та «Дослідження закономірностей використання автоматизованої системи оплати проїзду у громадському транспорті в межах Львівської міської територіальної громади» (госпдоговір № 372, 2024 рік). У роботі частково враховані положення, сформовані у «Транспортній стратегії України на період до 2030 року», схваленій Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. №430-р.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є обґрунтування режимів світлофорного регулювання з урахуванням характеристик транспортних потоків.

Для досягнення мети дослідження сформульовано такі завдання:

- провести теоретичні дослідження з визначення основних показників та чинників, які впливають на закономірності у транспортних потоках та визначають часові параметри й режими світлофорного регулювання;
- провести експериментальні вимірювання показників учасників дорожнього руху та імітаційне моделювання з визначення особливостей транспортного обслуговування громадським транспортом за різних дорожньо-планувальних умов;
- визначити закономірності зміни тривалості пересування в загальному транспортному потоці та громадським транспортом залежно від різних режимів світлофорного регулювання та способу пріоритизації;
- розробити рекомендації щодо вибору режиму світлофорного регулювання у системах з координованим рухом та значною часткою громадського транспорту на магістральних вулицях.

**Об'єкт дослідження** – транспортні потоки на магістральних вулицях регульованого руху.

**Предмет дослідження** – закономірності зміни тривалості пересування транспортних потоків на магістральних вулицях регульованого руху зі значною часткою громадського транспорту залежно від режимів роботи світлофора.

**Методи дослідження** – у межах дисертаційного дослідження застосовувались такі методи: системний аналіз взаємозв'язку між показниками учасників дорожнього руху, часовими параметрами світлофорного регулювання та планувальними характеристиками вулично-дорожньої мережі; експериментальні (натурні) вимірювання під час визначення показників пасажирського потоку, тривалості обслуговування на зупинкових пунктах та інтенсивності і складу транспортного потоку; імітаційного моделювання із використанням програмного продукту PTV VISSIM та математичного моделювання із використанням програмного продукту MATLAB під час визначення закономірностей та прогнозування стану транспортного потоку.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- удосконалено науково-прикладні підходи щодо одночасного застосування просторового та часового пріоритету для громадського транспорту у системах координованого управління рухом;
- набули подальшого розвитку методологічні підходи щодо обґрунтування режимів світлофорного регулювання, виходячи з показників роботи громадського транспорту, який проїжджає ділянку магістральної вулиці з координованим рухом;
- розроблено вимоги щодо розміщення зупинкових пунктів, які ґрунтуються на мінімізації витрат часу під час пересування громадським транспортом у системах координованого регулювання.

### **Практичне значення отриманих результатів:**

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані для врахування потреби руху громадського транспорту в розрахунках режимів світлофорного регулювання, включаючи адаптивне світлофорне регулювання; уточненні підходів щодо впровадження систем координованого світлофорного регулювання на вулицях з рухом громадського транспорту; застосування методик імітаційного моделювання руху транспортних потоків в урбанізованих просторах з урахуванням взаємодії приватного та громадського транспорту в околі регульованих перехресть.

Окремі результати дисертаційного дослідження використовуються під час підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)» спеціалізація 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», які навчаються на першому (бакалаврському) рівні за освітньо-професійною програмою «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» та другому (магістерському) рівні, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Організація і регулювання дорожнього руху».

Окремі результати дисертаційної роботи використовуються у роботі ПП «Інжинірингова компанія «ДорПроектСтандарт»» та ТОВ «Ежіс Україна» під час транспортного моделювання та планування вулично-дорожніх мереж міст.

**Особистий внесок здобувача.** Автором опубліковано у співавторстві одну наукову статтю у фаховому виданні України, 3 одноосібні статті у фахових виданнях України, у співавторстві 1 статтю у інших виданнях, а також 13 тез доповідей на всеукраїнських та міжнародних конференціях. У працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у такому: проведення натурних досліджень показників транспортного потоку та опрацювання їх результатів [119], аналіз літературних джерел щодо координації руху на міських магістральних вулицях регульованого руху та можливості надання пріоритету для руху громадського транспорту, а також

збір первинних даних стану транспортного потоку на ділянці вулично-дорожньої мережі для подальшого внесення їх у транспортну модель [120].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати наукових досліджень доповідалися на: XXIV Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства» (Кременчук, 20–21 квітня 2017 р.), XII Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти» (Кривий Ріг, 17 листопада 2017 р.), 7th International youth science forum «Litteris et artibus» (Львів, 23–25 листопада 2017 р.), III-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні» (Львів, 22–23 лютого 2018 р.), III-й Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв’язання» (Львів, 28–30 березня 2019 р.), XXVI Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства» (Кременчук, 24–25 квітня 2019 р.) IV-й Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв’язання» (Львів, 25–26 березня 2021 р.), Третій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» (Запоріжжя, 16–17 червня 2022 р.); V Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв’язання», (Львів, 23–24 березня 2023 р.); Четвертій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» (Запоріжжя, 13–14 квітня 2023 р.); 3rd International scientific and practical conference «Energy-optimal technologies, logistic and safety on transport» (EOT-2023), MATEC Web of Conferences (Львів, 9–10 листопада 2023 р.); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (Луцьк, 30–31 травня 2024 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 4 наукові праці, з яких 3 у наукових фахових виданнях України, 1 у інших виданнях, а також 13 тез доповідей на наукових конференціях.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 120 найменування і 3 додатків. Основна частина роботи викладена на 118 сторінках. Є 41 рисуноків та 16 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 176 сторінок.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПРІОРИТЕТІВ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

#### 1.1. Загальні засади управління рухом транспортних потоків

В умовах стрімкого розвитку сучасних міст, зростання рівня урбанізації виникають нові та складні завдання забезпечення транспортної рухливості населення, яка б ґрунтувалась на принципах сталого розвитку. Забезпечення такої рухливості досягається у результаті ефективного та безпечного управління транспортними потоками (ТП), яке ґрунтується на основних методичних напрямках організації дорожнього руху (ОДР) [1–4]. Такі напрямки включають: розділення руху у часі та просторі; досягнення високого рівня однорідності ТП; оптимізація швидкості руху на вулично-дорожній мережі (ВДМ); розв’язання проблем організації руху пішохідних потоків (ПП); розв’язання проблем стоянок для транспортних засобів (ТЗ); впровадження автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУДР).

У цій дисертаційній роботі основна увага зосереджена на розробленні раціональних алгоритмів управління дорожнім рухом, яке ґрунтується на принципах оптимізації швидкісного режиму та формування ТП з високим рівнем однорідності. Оптимізація швидкісного режиму забезпечується шляхом впровадження таких заходів: обмеження і контроль швидкісного режиму; заходи із заспокоєння руху; зональні обмеження швидкості руху [5,6]. Формування ТП з високим рівнем однорідності може відбуватися шляхом виділення смуг або вулиць для руху громадського транспорту (ГТ), створення вулиць вантажного руху, відокремлення транзитного руху, спеціалізації смуг руху на проїзній частині (ПЧ) [7]. Найбільш поширеними заходами у містах є облаштування виділених смуг та спеціалізація смуг за напрямками в умовах багатосмуговості (рис. 1.1) [8].

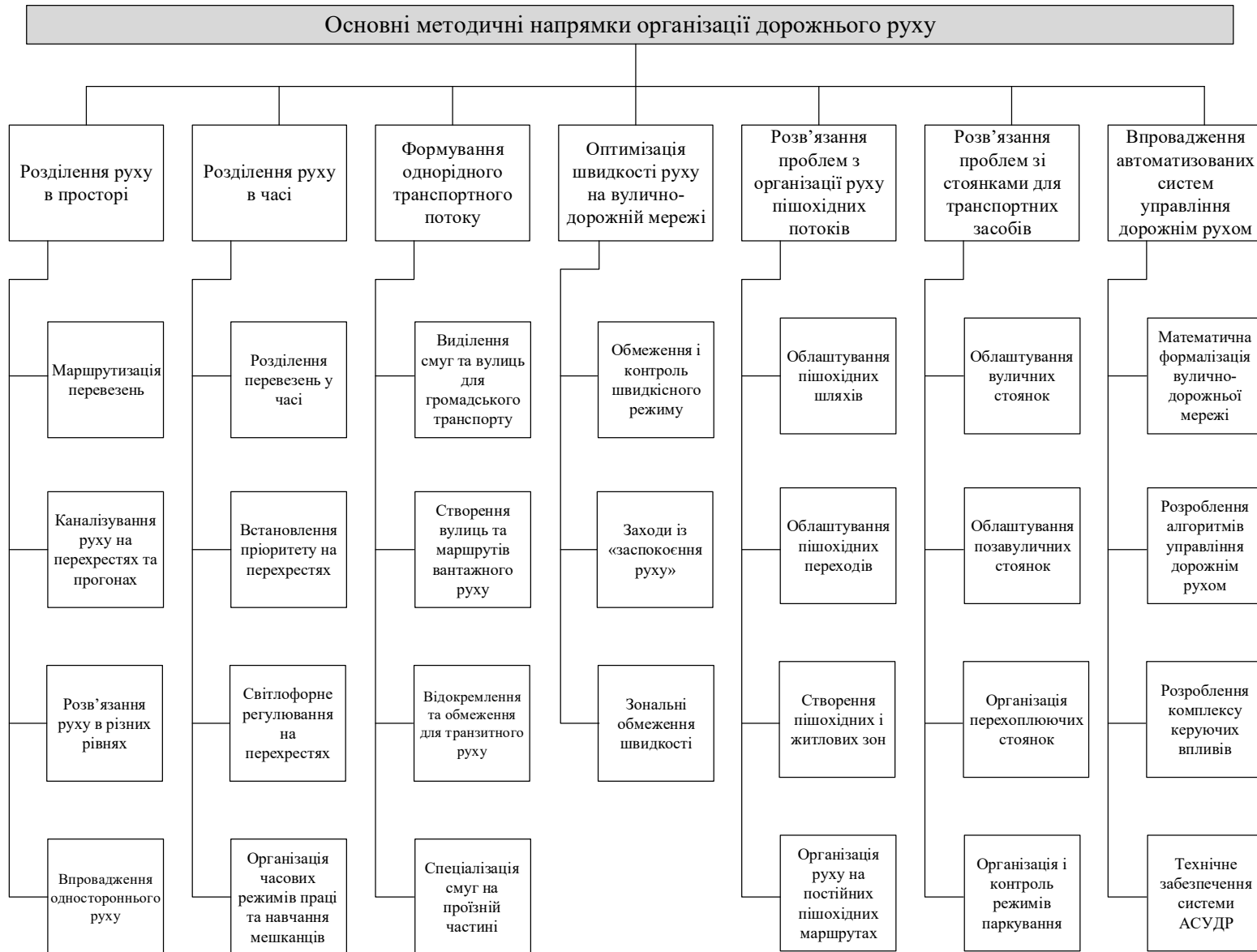


Рис. 1.1. Напрямки діяльності з ОДР [1,3]

Розглядаючи питання, пов'язані з режимами світлофорного регулювання, основну увагу маємо звертати на показники ТП, геометричні елементи ВДМ, наявність та спосіб облаштування засобів організації та регулювання дорожнього руху (рис. 1.2).

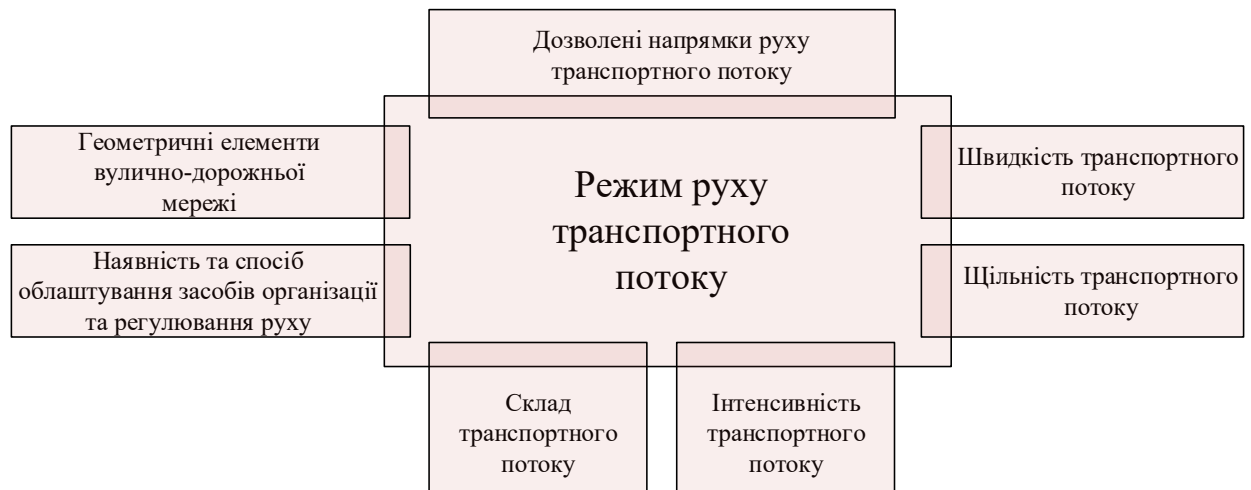


Рис. 1.2. Чинники, які впливають на режим руху транспортного потоку [9–11]

Показники ТП, такі як інтенсивність, склад, швидкість та щільність, є взаємопов'язані, змінні і залежать від періоду доби, погодних умов та поведінки учасників дорожнього руху (УДР). Важливими є також геометричні елементи ВДМ, оскільки від них залежить відстань видимості, можливості спеціалізації вуличного простору для забезпечення руху різних груп його учасників [12,13]. З погляду руху лише ТП, то важливою є кількість смуг руху, оскільки тоді можна досягати повної каналізації, управління за окремими напрямками та кращої ефективності у фазах світлофорного регулювання. За такої умови найголовніше досягти облаштування перехрестя якісними та сучасними технічними засобами організації і регулювання дорожнього руху.

Під час дослідження, аналізу та проектування режимів регулювання важливо розробити підходи до управління потоками УДР. Для цього пропонується ситуаційний, системний та процесний підходи (рис. 1.3). Кожен із них відрізняється масштабами діяльності, кількістю чинників одночасного

впливу, ієрархією та повнотою зв'язків між елементами (підсистемами) транспортної системи (ТС).

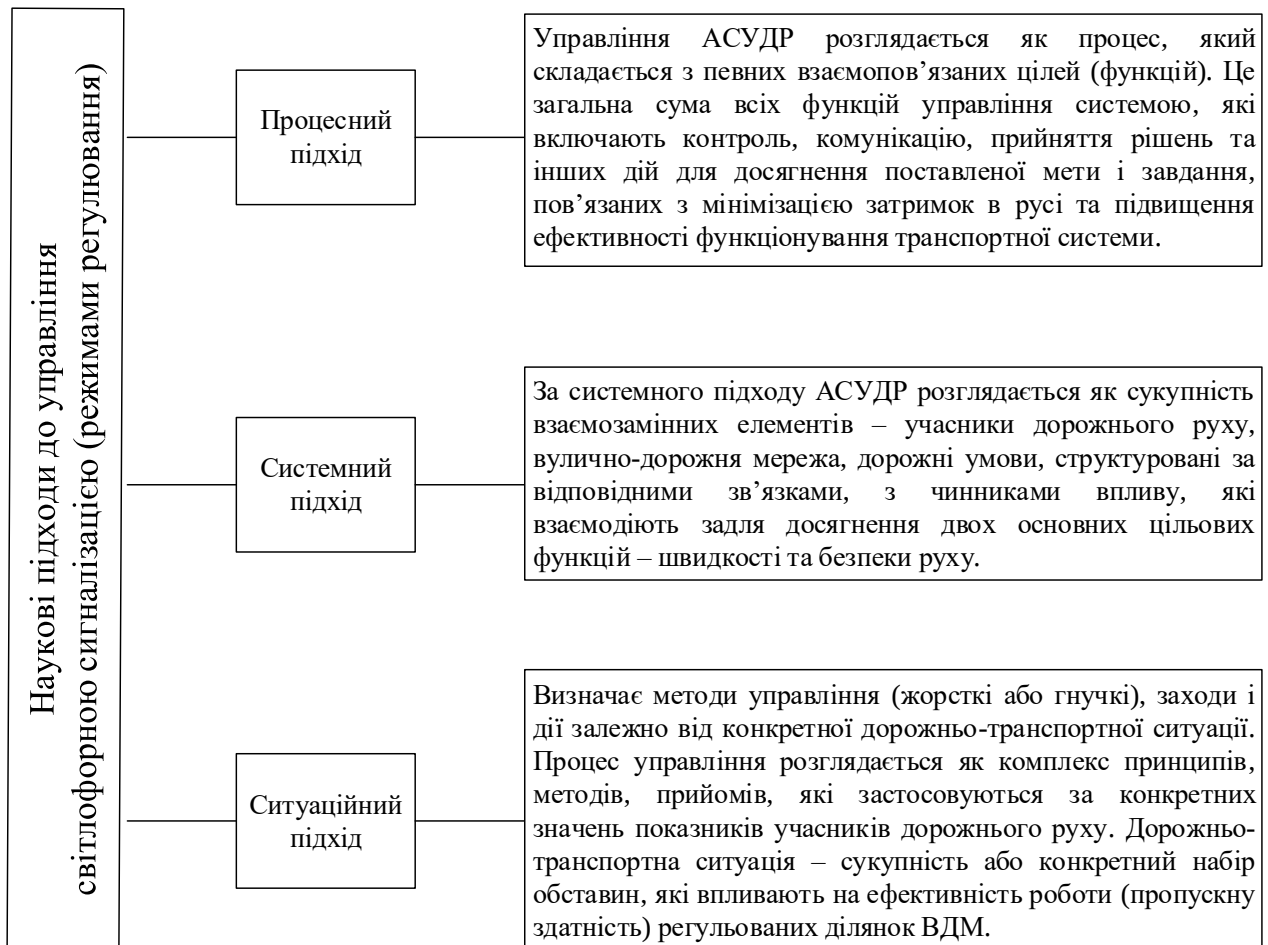


Рис. 1.3. Характеристика підходів до управління світлофорною сигналізацією [1,3,9]

Аналізуючи рис. 1.3, відзначимо, що ситуаційний підхід визначає методи управління локального та (або) зонального масштабу у конкретній дорожньо-транспортній ситуації, яка склалася у певний час або є прогнозованою, виходячи з аналізу «історичних» тенденцій. На цьому рівні режим роботи світлофорного об'єкта (СФО) може бути ізолюваним, тобто послідовність пропуску УДР на перехресті або ж регульованому пішохідному переході не має зв'язку з іншими, як правило, суміжними СФО. Ізолюваність СФО також полягає в тому, що управління тут відбувається на основі однієї або кількох програм, складених з урахуванням показників УДР, планувальних

особливостей ПЧ тощо. У таких випадках застосовується прості АСУДР, а процес управління є мікрорівневим.

Під час системного підходу АСУДР діє як сукупність взаємопов'язаних елементів, СФО пов'язані у мережу, а процес управління постійно змінюється, залежно від показників УДР, дорожніх умов тощо. За нормальних умов АСУДР, як правило, діє автономно, а у разі виникнення надзвичайних дорожньо-транспортних ситуацій (дорожньо-транспортні пригоди (ДТП), стихійні лиха, ремонтні роботи) управління нею здійснюється через відповідні центри керування рухом. За такого підходу працюють алгоритми координованого управління рухом, адаптивного управління рухом (за критеріями найменшої затримки руху, найбільшої довжини черги, пріоритетного пропуску окремих типів ТЗ тощо). У міській ТС такий системний підхід можемо віднести до мезорівня.

Процесний підхід – це такий рівень функціонування ТС, у даному випадку великого міста, за якого має забезпечуватись швидке та ефективне пересування людей, перевезення вантажу за одночасно високих показників безпеки руху. На цьому макрорівні діяльності оцінка ефективності ТС проводиться не лише з погляду зміни показників УДР, але й продуктивності перевізного процесу, раціональності розселення мешканців, розміщення транспортних районів тощо.

## 1.2. Вплив дорожньо-планувальних та транспортних чинників на формування потоків учасників дорожнього руху

### 1.2.1. Аналіз планувальних особливостей вулично-дорожньої мережі та її адаптація до показників учасників дорожнього руху.

У сучасних підходах до проектування сталої міської мобільності відбулась трансформація концептуального мислення з переходом від автомобілецентрованих моделей транспортного планування до людиноцентрованих [14,15]. Це означає, що планування вуличного простору відбувається не лише під пріоритет

переміщення приватними легковими автомобілями всією територією міста, а забезпечення кращих умов для пересування людей диференційовано, залежно від специфіки того чи іншого транспортного району. До прикладу, центральні частини міст мають забезпечувати кращу інфраструктуру для пересування пішки, з використанням засобів мікромобільності та ГТ, середмістя – засоби мікромобільності, ГТ та приватні автомобілі, периферійні райони – приватні автомобілі та ГТ. До того ж, для кожного міста, залежно від специфіки формування й розміщення його функціональних зон та транспортних районів, існує своя, характерна лише для нього, матриця кореспонденцій. Відтак, головним завданням є забезпечення швидкого та безпечного сполучення між різними транспортними районами та місцями притягання мешканців. Найкраще це може забезпечувати ГТ, який здатний переміщати велику кількість мешканців та приїжджих.

Під час побудови матриці кореспонденцій важливо оцінити кількість, розміщення та потенціал (величину попиту) на переміщення, а також специфіку конфігурації ВДМ [13,16]. Розташування доріг чи вулиць, які з'єднують між собою транспортні райони, має ключове значення, оскільки навіть за великого попиту на пересування і, водночас, недостатньої щільності мережі, прогнозовано виникатимуть затори, незалежно від того, який розподіл пересувань за способом притаманний будь-якому урбанізованому простору. На рис. 1.4 наведено збалансований розподіл між структурою руху, як функцією для задоволення потреб користувачів, значущістю землекористування, яке взаємодіє з дорогою або вулицею, та попитом на пересування.

Аналізуючи рис. 1.4, можна виділити 4 типи місць за стратегічним призначенням, виходячи з попиту на пересування, починаючи з внутрішньоквартальних пересувань (найнижчий рівень користування транспортом), пересувань в межах транспортного району, пересувань в межах однієї або суміжних функціональних зон, пересувань в межах цілого міста або агломерації. Кожне з цих пересувань для різних міст та урбанізованих

просторів має свою специфіку, виходячи з містобудівних, дорожньо-планувальних та транспортних чинників, які в свою чергу визначають взаємозв’язок між функціями доступності та мобільності (рухливості населення), що відображено на рис. 1.5.



Рис. 1.4. Характеристика пересувань, виходячи з їх попиту та призначення місць генерації потоків УДР [17–20]

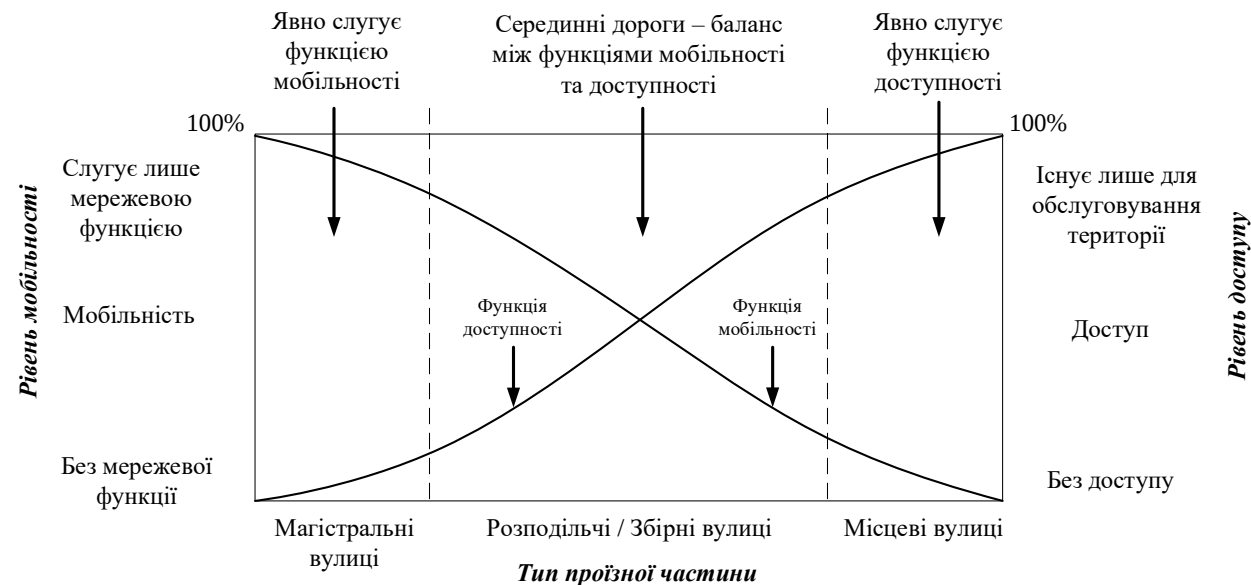


Рис. 1.5. Взаємозв’язок між планувальними особливостями ВДМ, рівнями доступності та мобільності [17,19–22]

У роботах [18,20,21] відзначено, що насправді міські вулиці та дороги у історичних містах часто не відповідають сучасній класифікації ВДМ з погляду показників УДР. На багатьох із них склалася змішана функція руху (мобільності) та доступності, на чому ґрунтуються сучасні практики управління ВДМ та середовищем руху, як відображено на рис. 1.5.

З метою задоволення потреб користувачів міської ВДМ у вітчизняній та закордонній практиці можна виділити такий взаємозв'язок між типом вулиці (дороги), її призначенням та характером руху (табл. 1.1) [23].

Таблиця 1.1

## Характеристика та призначення міської ВДМ

| Тип міської ВДМ     | Характер руху                                                                                             | Призначення                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                   | 2                                                                                                         | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Магістральні дороги | Значний рух без просторових аспектів (перетини в різних рівнях, транзитний ТП, відсутній вплив пішоходів) | <ul style="list-style-type: none"> <li>– обслуговування транзитних ТП (регіонального та міжрегіонального руху безпечним та оперативно ефективним способом);</li> <li>– повний контроль доступу для моторизованого транспорту.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                       |
| Магістральні вулиці | Значний рух з певними просторовими аспектами                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>– призначені для основного міського руху, введення та виведення транзитних потоків у/з міста безпечним та оперативно ефективним способом;</li> <li>– забезпечують прямий доступ вантажного транспорту до промислових та комунально-складських зон;</li> <li>– забезпечують рух ГТ, в тому числі з наданням йому пріоритету;</li> <li>– можуть забезпечувати коридор руху для велосипедистів.</li> </ul> |
|                     | Значний рух зі значними просторовими аспектами                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– забезпечують рух моторизованого транспорту, а через проходження територіями, де значна кількість пішоходів, може передбачатись їх пріоритет;</li> <li>– забезпечують рух більшості маршрутів ГТ;</li> <li>– забезпечують мережу для руху пішоходів та велосипедистів.</li> </ul>                                                                                                                      |

Продовження таблиці 1.1

| 1                                                       | 2                                                | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Розподільчі / збірні вулиці (вулиці районного значення) | Значний рух зі значними просторовими аспектами   | – вулиці, які не підпадають під категорію ні магістральних, ні місцевого значення;<br>– проходить через територію, де є значна кількість пішоходів, та забезпечує доступ транспорту, хоча пріоритет може бути наданий іншим немоторизованим видам пересувань (пішоходи та велосипедисти). Пріоритет може бути фіксованим або змінюватися залежно від часу доби або дня тижня;<br>– забезпечує мережу для руху пішоходів та велосипедистів. |
|                                                         | Незначний рух з певними просторовими аспектами   | – вулиці, які не підпадають під категорію ні магістральних, ні місцевого значення;<br>– розподіляють рух загального ТП та ГТ у межах головних житлових, комерційних та промислових зон;<br>– з'єднують рух між місцевими та магістральними вулицями;<br>– забезпечує мережу для руху пішоходів та велосипедистів.                                                                                                                          |
| Вулиці місцевого значення                               | Незначний рух з певними просторовими аспектами   | забезпечують доступ транспорту до прилеглої території та інших територій у межах місцевості або інших місцевих вулиць.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                         | Незначний рух зі значними просторовими аспектами | вулиці місцевого значення, які забезпечують пріоритет для пішоходів та велосипедистів, вирізняються соціальними та громадськими просторами, а також облаштовані технічними засобами заспокоєння руху.                                                                                                                                                                                                                                      |
| Туристичні маршрути                                     | Незначний рух зі значними просторовими аспектами | забезпечують маршрути до та вздовж місць притягання, які вважаються важливими для місцевих та зовнішніх відвідувачів.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Отже, ВДМ – це мережа шляхів сполучення, яка має забезпечувати зв'язок з усіма транспортними районами та функціональними зонами міста, основою якої є магістральні вулиці. Їх конфігурація визначає геометризовану схему планування, серед яких розрізняють: радіальну; радіально-кільцеву; прямокутну; прямокутно-діагональну; трикутну; гексагональну; комбіновану або змішану; вільну.

1.2.2. Оцінка пропускної здатності вулично-дорожньої мережі. ПЗ міської ВДМ є одним з основних показників, який дозволяє провести комплексну оцінку її транспортно-експлуатаційних якостей. Як відомо, ВДМ – це вулиці (різні за типом), перехрестя (різні за способом облаштування та регулювання руху), пішохідні переходи, що сукупно є її елементами [23].

Одним із показників якості функціонування цих елементів є непродуктивні витрати часу мешканцями за будь-якого способу пересування. Загальні витрати часу є досить великими, а їх мінімізація показує ефективність способу організації руху та збільшення ступеня надійності ВДМ. Для визначення критеріїв, які дозволяють провести оцінку роботи будь-якої ділянки ВДМ, слід проводити масові натурні дослідження та документальне вивчення. Важливим критерієм оцінювання на цей час є тривалість поїздки (пересування) [24–27]. Поряд з дослідженнями рекомендується застосовувати методи імітаційного моделювання (ІМ) з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. Комплекс досліджень та ІМ, яке є його частиною, дозволяє розподілити рух потоків УДР на окремі інтервали. Якщо мова йде про ТП, то оцінюється просування ТЗ від елемента до елемента (до прикладу, від стоп-лінії до стоп-лінії або між мережею стоп-ліній тощо), між зонами та транспортними районами тощо.

Під час комплексного оцінювання ефективності роботи ВДМ рекомендується застосовувати такі характеристики й показники [25,28]:

- 1) вхідна (початкова) кількість ТЗ у мережі (визначається як різниця між кількістю ТЗ на в'їзді у мережу та кількістю ТЗ на виїзді з неї);
- 2) зростання кількості ТЗ у мережі (цей показник фіксується під час в'їзду на ділянку мережі);
- 3) зниження кількості ТЗ у мережі (цей показник фіксується під час виїзду з ділянки мережі);
- 4) кількість ТЗ у мережі (сумарна кількість ТЗ за пунктами 1 та 2 з подальшим відніманням кількості ТЗ за пунктом 3);

5) кількість ТЗ, які використовують мережу (сумарна кількість ТЗ за пунктами 2 та 3 в подальшому розділена на кількість ТЗ за пунктом 4);

6) середня відстань, яку проходять ТЗ (середній пробіг ТЗ, який співставлений з їх кількістю, наведеною в пункті 5);

7) середня затримка на один ТЗ (математичне сподівання значення затримки кожного ТЗ в мережі, співставлене з їх кількістю, наведеною в пункті 5);

8) середня швидкість руху в мережі з урахуванням усіх затримок кожного ТЗ на всіх її елементах.

Враховавши чинники, які визначають попит на пересування, на наступному етапі важливою є оцінка пропускної здатності ВДМ. Така оцінка має враховувати геометричні параметри ПЧ, динамічні особливості ТЗ, погодні умови тощо. Важливо відзначити, що методики розрахунку пропускної здатності є різними для прогонів (залежно від кількості смуг руху) та перехресть (залежно від способу організації і регулювання дорожнього руху). У роботах [1,3,11,29–31] пропускна здатність однієї смуги руху  $P$  визначається через динамічний габарит довжини ТЗ і його розрахункову швидкість з рівності:

$$P = \frac{3600}{L} \cdot V_{mз} , \quad (1.1)$$

де  $V_{mз}$  – розрахункова швидкість руху, м/с;

$L$  – динамічний габарит довжини ТЗ, м.

Динамічний габарит довжини ТЗ визначаємо з рівності [1,3,11,29–31]:

$$L = l_a + t_p \cdot V_{mз} + k_c \cdot V_{mз}^2 + l_0 , \quad (1.2)$$

де  $t_p$  – тривалість реакції водія, с;

$l_a$  – статичний габарит ТЗ (довжина ТЗ), м;

$l_0$  – дистанція безпеки між ТЗ, які зупинилися, м;

$k_z$  – коефіцієнт гальмування, що визначається [1,3,11,29–31]:

$$k_z = \frac{1}{2 \cdot g \cdot (\varphi \pm i)}, \quad (1.3)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\varphi$  – коефіцієнт поздовжнього зчеплення колеса ТЗ з дорожнім покриттям;

$i$  – поздовжній ухил ПЧ.

Через первинні характеристики ТП, а саме швидкість за вільних умов ( $V_0$ ) і максимальну щільність ТП ( $q_{\max}$ ), пропускна здатність ( $P$ ) на прогоні визначається [32–34]:

$$P = \frac{1}{4} \cdot \beta_{np} \cdot V_0 \cdot q_{\max}, \quad (1.4)$$

де  $\beta_{np}$  – коефіцієнт пониження пропускної здатності на прогоні, що визначається з формули [32–34]:

$$\beta_{np} = \left( \frac{V_{0np}}{V_0} \right)^2, \quad (1.5)$$

де  $V_{0np}$  – швидкість руху за вільних умов ТЗ на прогоні з врахуванням сповільнення ТЗ залежно від впливу планувальних особливостей ПЧ, км/год.

Максимальна щільність ТП визначається через довжину розрахункового ТЗ (як правило, легкового авто) [32–34]:

$$q_{\max} = \frac{1000}{\frac{l_a}{k_{36}} + l_0}, \quad (1.6)$$

де  $k_{36}$  – середнє значення коефіцієнта зведення, виходячи зі складу ТП.

Безпосередньо на перехресті пропускна здатність однієї смуги руху ( $P_{cm}$ ) знижується під впливом різних затримок. Втрати часу через затримку враховуються за допомогою уточнюючих коефіцієнтів. Для смуг руху, які обслуговують прямі ТП, та у випадках, коли на перехресті частка поворотних потоків становить до 10 %, пропускну здатність визначають за формулою [32–34]:

$$P_{cm} = \delta \cdot P, \quad (1.7)$$

де  $\delta$  – уточнюючий коефіцієнт, який враховує дорожні умови. Він визначається з рівності [32–34]:

$$\delta = \frac{\frac{l_{np}}{V_p}}{\frac{l_{np}}{V_p} + \left( \frac{V_p}{2 \cdot a} + \frac{V_p}{2 \cdot a_{cn}} + \Delta \right) \cdot P_{(\Delta)}}, \quad (1.8)$$

де  $l_{np}$  – довжина прогону, м;

$a$  – прискорення ТЗ, м/с<sup>2</sup>;

$a_{cn}$  – сповільнення ТЗ, м/с<sup>2</sup>;

$\Delta$  – середня затримка ТЗ перед стоп-лінією на регульованому перехресті (РП);

$P_{(\Delta)}$  – ймовірність затримки перед стоп-лінією.

$$\Delta = \frac{t_{заб} + 2 \cdot t_{np}}{2}, \quad (1.9)$$

$$P_{(\Delta)} = \frac{t_{заб}}{T_{\text{ц}}} = \frac{t_{заб}}{t_o + 2 \cdot t_{np} + t_{заб}}, \quad (1.10)$$

де  $T_{\text{ц}}$  – тривалість світлофорного циклу (СФЦ), с;

$t_o$ ,  $t_{np}$ ,  $t_{заб}$  – тривалість, відповідно, основного (зеленого сигналу), проміжного тактів і заборонного (червоного сигналу), с.

Уточнюючий коефіцієнт  $\beta_n$ , який враховує загальне пониження швидкості руху ТЗ під час проїзду РП, розраховують за формулою [32–34]:

$$\beta_n = \left( \frac{V_{0n}}{V_0} \right)^2, \quad (1.11)$$

де  $V_{0n}$  – середня швидкість проїзду РП, км/год.

Виходячи з ймовірності проїзду ТЗ на основний такт світлофора  $P_{(\Delta o)}$  для РП [32–34]:

$$P_{(\Delta o)} = 1 - \frac{t_{заб}}{T_{\text{ц}}}, \quad (1.12)$$

пропускна здатність смуги руху на РП ( $P_{cm}$ ) може бути визначена так [32–34]:

$$P_{cm} = \frac{1}{4} \cdot P_{(\Delta o)} \cdot \beta_n \cdot q_{\max}, \quad (1.13)$$

Інша методика розрахунку пропускної здатності смуги руху на перехресті враховує інтервали руху між ТЗ та швидкість проїзду ними РП [32–34]:

$$P_{cm} = \frac{3600}{\Delta t} \cdot \frac{\left(t_o - \frac{V_{cm}}{2 \cdot a}\right)}{T_{\psi}}, \quad (1.14)$$

де  $\Delta t$  – інтервал між ТЗ, які проїжджають стоп-лінію, с;

$V_{cm}$  – середня швидкість у смузі руху під час проїзду РП, м/с.

За багатосмугової ПЧ кожна із смуг має різну пропускну здатність, що залежить від дорожніх умов та інтенсивності і складу ТП. Як правило, для різних ТЗ пропускну здатність смуги руху є різною в умовах безперервного і регульованого руху [32–34].

Пропускна здатність багатосмугової ПЧ визначається сумуванням пропускних здатностей всіх смуг [32–34]:

$$P = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot P_i, \quad (1.15)$$

де  $\beta_i$  – коефіцієнт зниження пропускну здатності для відповідної смуги;

$P_i$  – пропускна здатність окремої смуги руху.

На прогонах міської ВДМ ефективність використання ПЧ залежить від способу ОДР. У випадку безперервного руху всіма смугами, найбільш завантаженою, як правило, є крайня права смуга за умови відсутності паркування, але таке явище спостерігається не часто. За умови дозволеного паркування ТП зміщується у бік осі ПЧ, тим самим перевантажуючи середні смуги. У разі недостатньої кількості смуг, особливо на поворотних напрямках, спостерігається різке падіння ПЗ та утворення черг або так званих «тягучок», коли швидкість групи ТЗ прямує до 0. Через це в районі перехрестя необхідні додаткові смуги руху. Оптимальним рішенням може бути наявність трьох смуг руху (по одній для кожного напрямку), проте ефективність розширення

ПЧ не завжди виправдана, оскільки визначається інтенсивністю руху на прилеглих підходах.

Отже, ПЗ вулиці визначається найменшою ПЗ перехрещень, які до неї примикають, особливо тих, які в одному рівні. За умови, якщо результати досліджень або розрахунків обґрунтовують доцільність більшої кількості смуг на підходах до перехресть, то ПЧ потребує реконструкції.

### 1.3. Аналіз основних чинників, які обумовлюють режими світлофорного регулювання з урахуванням пріоритизації громадського транспорту

1.3.1. Аналіз існуючих підходів щодо застосування програм управління світлофорною сигналізацією. Збільшення рівня автомобілізації, недостатній розвиток транспортної інфраструктури, різноманіття конфігурацій ВДМ, утворення черг на перехрестях та пішохідних переходах, постійна зміна показників транспортної рухливості населення – всі ці чинники обумовлюють необхідність розосередження ТП у часі та просторі. Це обґрунтовує висновок, що під час управління рухом у сучасному місті неможливо обійтись без використання СФО, що дозволить підвищити рівень безпеки для усіх УДР, а також структурувати групи ТЗ та пішоходів задля більш впорядкованого пропуску через ділянки ВДМ.

Облаштування СФО на локальному перехресті є індивідуальним завданням. Рішення щодо режиму роботи світлофорних груп приймаються на основі врахування низки чинників [1,35–40]: конкретних геометричних параметрів ПЧ (кількості смуг руху, радіусів заокруглення, наявності поздовжнього ухилу тощо), інтенсивності руху транспортних та пішохідних потоків, частки вантажного руху та ГТ, швидкісного режиму на підходах до перехрестя або пішохідного переходу тощо. Окрім цього, значний вплив на режим роботи СФО має щільність ВДМ, яка обумовлює відстань між суміжними СФО. Складним завданням є забезпечення ефективного керування дорожнім рухом, приймаючи окремі локальні рішення. У зв'язку з цим, постає

необхідність створення системи координації, які складаються із мережі послідовних СФО, особливо на магістральних вулицях. У вітчизняній інженерній практиці є ряд нормативних документів, якими регламентовано критерії введення світлофорного регулювання (СФР) та принципи пофазного роз'їзду ТЗ [41], вимоги до ВДМ залежно від показників ТП [23,42]. Так, норматив [41] регламентує впровадження СФР, виходячи з показників інтенсивності руху транспортних і пішохідних потоків, кількості смуг руху та ДТП.

Перелічені умови введення СФР та облаштування СФО є досить загальними. Ключовим питанням залишається врахування інтенсивності руху ГТ, надання йому пріоритетів, нерівномірності руху його учасників, особливо в умовах перевантаженості ВДМ приватними ТЗ.

Принципи сталої міської мобільності передбачають комфортне пересування мешканців територією міста на значні відстані у великих обсягах, які може забезпечити виключно ГТ.

Не зважаючи на те, що регламенти з уведення СФР не передбачають окремих алгоритмів врахування специфічних особливостей руху ГТ, нормативами [23,42] визначено певні особливості щодо облаштування зупинок маршрутного транспорту, виділення спеціальних смуг для його руху за різного дорожньо-транспортного планування. Все це впливає на режим руху ТП, закономірності зміни його показників, утворення черг, а, відтак, і на часові параметри СФР. До прикладу, щодо зупинок ГТ, то їх розміщення може бути таким: після проїзду перехрестя (маршрутний транспорт за виключенням трамвая); до перехрестя (для трамваїв); з облаштуванням заїзної «кишені», так і без неї. Поряд з цим, спосіб облаштування зупинок ГТ має вплив на рух інших УДР залежно від планувальних особливостей перехрестя, інтенсивності руху самого ГТ та способу пропуску ГТ ділянками ВДМ, що відображено у дослідженнях [25,43,44]. Під способом пропуску ГТ ділянками ВДМ розуміється облаштування спеціальних виділених смуг на всій протяжності маршруту або окремих вулицях, або перед перехрестями. Так, зазначеними

нормативами передбачено, що виділена смуга для ГТ обов'язково облаштовується за кількості смуг не менше ніж три в одному напрямку. Також відзначається, що на житлових вулицях за відповідного обґрунтування дозволяється впроваджувати виділені смуги. Проте, не наведено жодних умов, за яких таке рішення буде обґрунтованим. Відповідно до цього, за будь-яких умов руху на міських магістралях при певній кількості смуг завжди необхідно передбачати просторовий пріоритет для руху ГТ, незважаючи на жодні показники УДР, наявність або відсутність СФО та відстані між ними, швидкість руху тощо. Такі рішення часто можуть лише нашкодити та створити значні транспортні затримки.

1.3.2. Аналіз затримки руху в смугах громадського транспорту залежно від показників руху та часових параметрів світлофорного циклу. Як відзначалось раніше, перехрестя є важливим елементом будь-якої виділеної смуги для ГТ. Невдало сплановане перехрестя або неефективно (з погляду рівня завантаження) розраховані фази на СФО можуть значно знизити ПЗ маршрутної мережі. Рішення щодо оптимізації роботи системи РП може значно підвищити її ефективність. Мета проектування мережі РП з урахуванням виділених смуг для ГТ полягає в тому, щоб [7,45–48]:

- мінімізувати затримки на виділених смугах для ГТ;
- підвищити безпеку руху і покращити доступність пішоходів до зупинок ГТ;
- мінімізувати затримки для загального ТП.

На виділених смугах з невеликою кількістю рухомого складу ГТ, відносно невеликою кількістю пасажирів і великою кількістю перехресть, СФР може бути однією з основних причин виникнення затримок у маршрутній мережі. Під час проектування виділених смуг для ГТ часто значна увага приділяється зменшенню тривалості затримки сигналу і ґрунтується на різноманітності способів пріоритизації.

З метою уникнення цих загальних проблем мережі, різні методики використовують такі підходи для розв'язання локальних проблем на перехрестях [25,49–52]:

1. Визначення існуючих місць накопичення ТЗ і пошук вирішення з використанням стандартних практик проектування.
2. Спрощення маршрутної мережі та структури виділених смуг для ГТ.
3. Управління світлофорними сигналами на основі розрахунку прогнозованої затримки в новій маршрутній мережі.
4. Застосування максимальних обмежень кількості поворотів ТЗ загального ТП на виділених смугах для ГТ.
5. Обґрунтування рішень щодо організації поворотного руху на виділених смугах для ГТ за умови, коли обмеження поворотів є нерациональним або їх неможливо уникнути, виходячи з планувальних особливостей ВДМ.
6. Оптимізація розташування зупинок ГТ.
7. Оптимізація проектування перехресть та пішохідних переходів і розрахунок фаз СФР.
8. Визначення способу пріоритизації ГТ за критеріями мінімізації витрат часу на переміщення ВДМ всіма її користувачами.

Після визначення базової структури маршрутної мережі, необхідне бачення ймовірної зміни транспортної рухливості на ній. Для цього слід провести ґрунтовний аналіз, щоб визначити, чи або як утворюватимуться затримки на виділеній смузі для ГТ за умови збереження існуючих фаз регулювання на перехресті та розподілу ТЗ загального ТП вздовж цієї виділеної смуги. Також необхідно проаналізувати кожне перехрестя з виділеними смугами для ГТ.

Загальна затримка на всіх СФО мережі, де є виділені смуги для ГТ, пов'язана з двома окремими явищами. Перше, затримка, спричинена сигналами світлофора – це проста затримка, яка виникає через значну кількість ТЗ, які використовують виділену смугу для ГТ (рухомий склад ГТ та ТЗ

загального ТП, які здійснюють повороти), що пов'язано з пропускнуою здатністю перехрестя. Друге, затримки можуть виникати у зв'язку з тимчасовим скупченням ГТ. З використанням рівняння (1.16) розраховується загальна затримка, спричинена сигналом світлофора на основі цих двох чинників [53–57].

$$T_{\Delta} = \bar{t}_{\Delta} + t_{oc} , \quad (1.16)$$

де  $\bar{t}_{\Delta}$  – середня затримка одного ТЗ ГТ на світлофорі (середня кількість часу, яка необхідна ГТ для перетину перехрестя), с;

$t_{oc}$  – затримка очікування (довільна черга, що виникає на світлофорах унаслідок того, що ГТ прибуває не через рівні інтервали часу, а по кілька одразу), с.

Якщо у системі вже враховано право пріоритетного проїзду ГТ уздовж певного коридору, а під час проектування фаз обмежено повороти, тоді ГТ на виділеній смузі отримають перевагу від більшої (лише для них) тривалості дозвільного сигналу. Після такої ПЗ РП для ГТ стане дуже високою (часто понад 200 од/год), що перевищує необхідний рівень для більшості виділених смуг.

Середня затримка одного ТЗ ГТ ( $\bar{t}_{\Delta}$ ) – це функція тривалості часу, пов'язаної з дією заборонного сигналу і рівня затору в межах виділеної смуги для ГТ (1.17) [53–57].

$$\bar{t}_{\Delta} = t_{зоб} / (2 \cdot T_{\eta} \cdot (1 - N_{ГТ} / P_{ГТ})) , \quad (1.17)$$

де  $N_{ГТ}$  – інтенсивність ГТ на виділеній смузі, од/год;

$P_{ГТ}$  – ПЗ виділеної смуги для ГТ, од/год.

Величина  $P_{ГТ}$  у цій методиці – це константа, яка під час практичних розрахунків ПЗ визначається залежно від типу ГТ.

Розрахунок тривалості затримки від очікування дозвільного сигналу в черзі відбувається за такою рівністю [53–57]:

$$t_{оч} = [(X_{авт} - x) / (1 - X_{авт})] / P_{ГТ} , \quad (1.18)$$

де  $X_{авт}$  – показник заповнення виділеної смуги для ГТ на стоп-лінії перед СФО;

$x$  – рівень завантаження смуги ГТ;

Показник заповнення виділеної смуги для ГТ на стоп-лінії перед СФО розраховується з рівності [53–57]:

$$X_{авт} = (N_{ГТ} / P_{ГТ}) / (1 - t_{заб} / T_{ц}) , \quad (1.19)$$

Величина рівня скупчення ТЗ ГТ буде визначальним чинником під час визначення тривалості будь-якої можливої затримки, пов'язаної з очікуванням в черзі. Тут методика [53] передбачає три чітких можливих варіанти:

а) якщо  $x < 0,5$ , то  $t_{оч}$  дорівнює 0 і затримки, пов'язаної з очікуванням в черзі немає;

б) якщо  $0,5 < x < 1,0$ , то затримка, пов'язана з очікуванням в черзі визначається:  $t_{оч} = [(X_{авт} - 0,5) / (1 - X_{авт})] / N_{ГТ}$ ;

в) якщо  $x > 1,0$ , то на виділеній смузі для ГТ буде затор.

На рисунку 1.6 наведено результати моделювання залежно від тривалості заборонного сигналу на СФО для виділеної смуги таких показників: середньої затримки одного ТЗ ГТ у виділеній смузі перед стоп-лінією,  $\bar{t}_{\Delta}$ , (рис. 1.6, а); тривалості очікування, пов'язаної з величиною черги

на виділеній смузі,  $X_{авт}$ , (рис. 1.6, б); загальної затримки на виділеній смузі,  $T_{\Delta}$ , (рис. 1.6, в); рівень завантаження смуги ГТ,  $x$ , (рис. 1.6, г).

Моделювання проводилося за таких початкових параметрів: однорядна виділена смуга для ГТ у напрямку; тривалість СФЦ – 80 с; інтенсивність руху ГТ на виділеній смузі – 200 фактичних од/год.

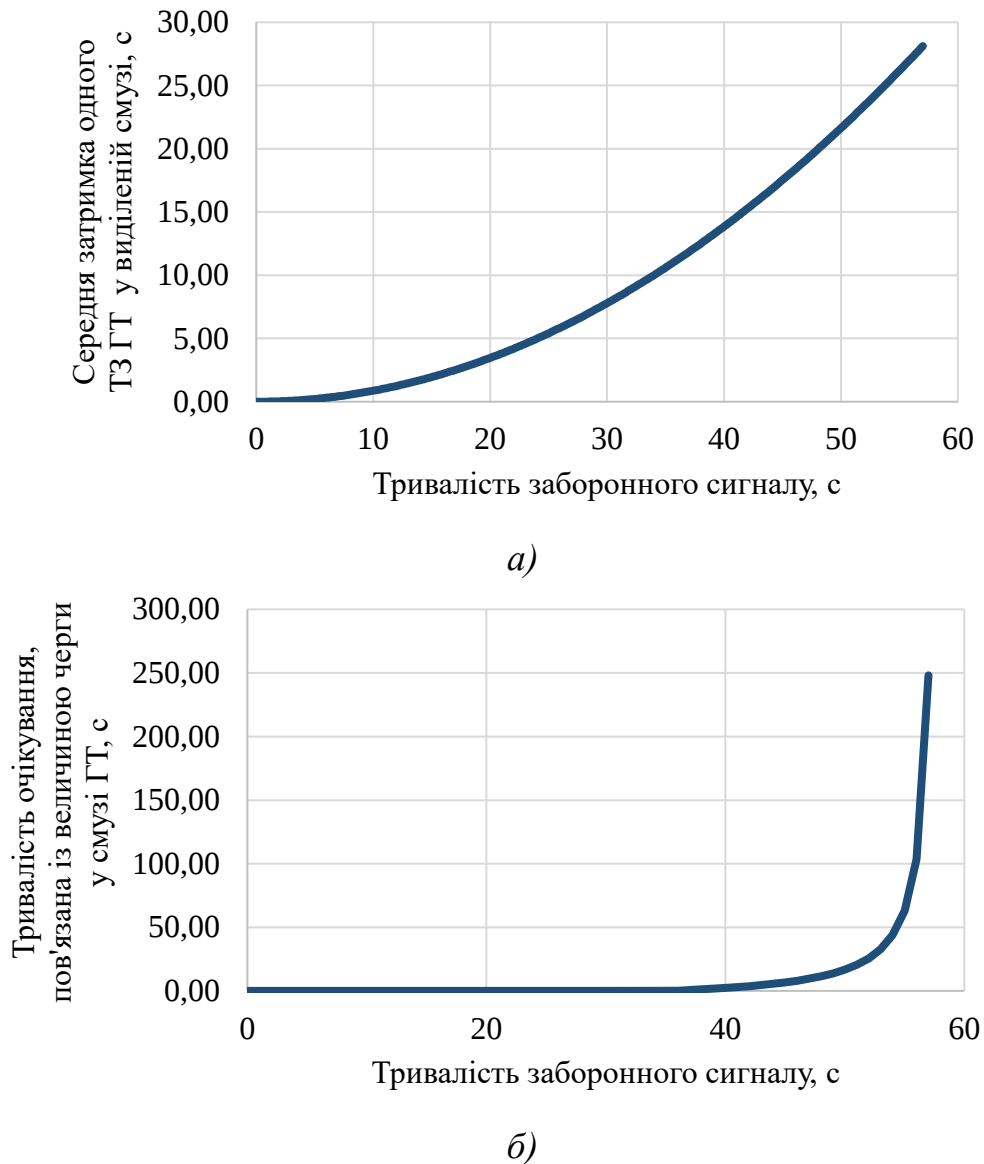
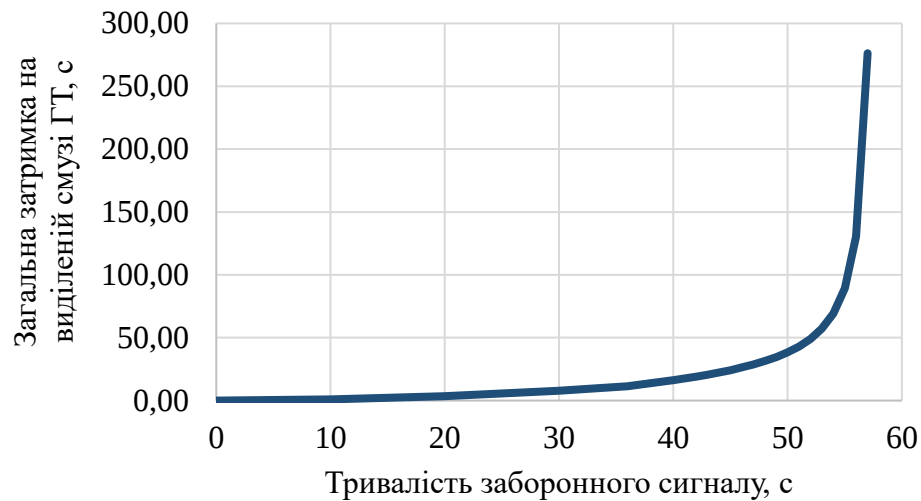
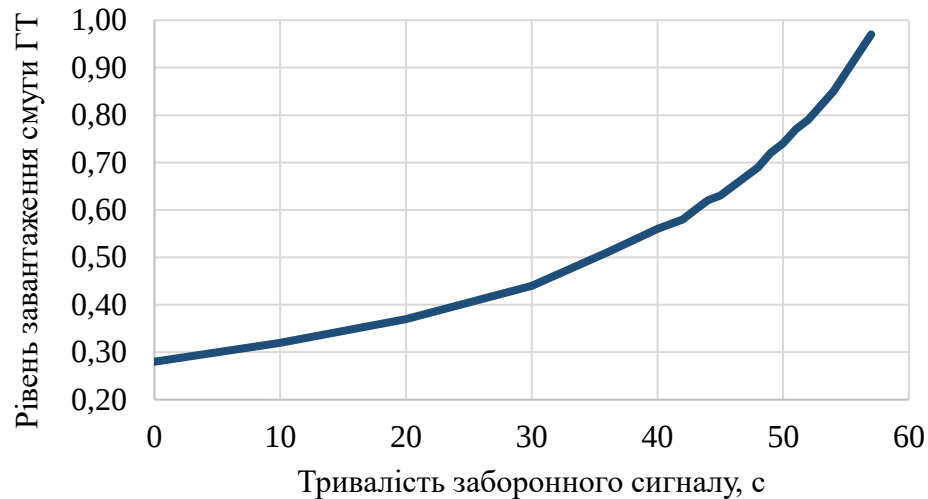


Рис. 1.6. Результати моделювання середньої затримки одного ТЗ ГТ у виділеній смузі перед стоп-лінією (а), тривалості очікування, пов'язаної з величиною черги на виділеній смузі (б), загальної затримки на виділеній смузі (в), рівня завантаження смуги ГТ (г) залежно від тривалості заборонного сигналу на СФО для виділеної смуги [53]



6)



2)

Продовження рис. 1.6

Отже, затримка на РП залежить від частки заборонного сигналу на напрямку у структурі СФЦ. Якщо така частка більша ази 0,65, то загальна затримка є такою, яка обґрунтовує доцільність або збільшення частки дозвільного сигналу, або перепроєктування перехрестя шляхом облаштування додаткової виділеної смуги на підході до нього.

1.3.3. Аналіз втрат часу на виділених смугах залежно від розміщення зупинок громадського транспорту відносно регульованих перехресть. З метою точної та якісної оцінки взаємного впливу між РП та зупинкою ГТ, яка знаходиться на підході до нього, доцільно проводити мікромодельювання перехрестя. Деталізоване мікромодельювання потребує точних верифікованих

початкових даних, отриманих за допомогою повністю відкаліброваної моделі. Виходячи з цього, на початковому етапі слід провести ґрунтовні базові розрахунки для того, щоб зробити приблизну оцінку можливих проблем на ділянці «перехрестя–зупинка». Під час цього проводять дослідження для аналізу зміни часу, впродовж якого зупинки заблоковані ГТ залежно від їх розташування відносно перехрестя, а також з метою визначення рівня завантаженості місця зупинки.

Перерозподіл часу між зупинковим пунктом (ЗП) і перехрестям залежить від співвідношення між тривалістю заборонного сигналу і середньою тривалістю перебування ГТ на ЗП та визначається з рівності (1.20) [53–57].

$$k_{zn} = t_{заб} / t_{zn} , \quad (1.20)$$

де  $k_{zn}$  – співвідношення між тривалістю заборонного сигналу і середньою тривалістю перебування ГТ на ЗП;

$t_{zn}$  – середня тривалість перебування ГТ на ЗП, с.

Як правило, зі збільшенням  $k_{zn}$  або збільшення тривалості заборонного сигналу, тим більший ризик збільшення загальної затримки на виділеній смузі.

Як зазначено у дослідженні [53,54], сукупність нормального і додаткового заповнення ЗП, яке виникає внаслідок впливу СФР, допомагає визначити ступінь заповнення виділених смуг. Доцільним є проектування виділених смуг з рівнем заповнення ЗП нижче 0,4, що означає її фактичне заповнення лише 40 % часу. Рівність (1.21) показує, як рівень завантаженості ЗП змінюється від різного співвідношення ( $k_{zn}$ ) тривалості заборонного сигналу до тривалості посадки-висадки пасажирів [53–57].

$$y_{zn_0} = x_{zn} \cdot T_u / (T_u - t_{zn} \cdot k_{zn}) , \quad (1.21)$$

де  $y_{zn_0}$  – заповнення ЗП, яке виникає внаслідок звичайного завантаження виділеної смуги та впливу світлофора, коли дистанція між ЗП та РП дорівнює «0»;

$x_{zn}$  – звичайна завантаженість ЗП без впливу світлофора.

У рівності (1.21) складова  $T_u / (T_u - t_{zn})$  показує співвідношення між тривалістю СФЦ та середньою тривалістю перебування ГТ на ЗП.

Середня тривалість перебування ГТ на ЗП визначається з рівності (1.22) [53–57].

$$t_{zn} = x_{zn} / N_{ГТ} \cdot 3600 , \quad (1.22)$$

До прикладу, якщо  $x_{zn}$  постійно дорівнює 0,35, то отримуємо такий результат [53–57]:

$$t_{zn} = 0,35 / N_{ГТ} \cdot 3600 , \quad (1.23)$$

Величина  $k_{zn}$  показує, що загальне завантаження виділеної смуги для ГТ залежить не лише від співвідношення між тривалістю СФЦ та тривалістю простою ГТ на ЗП, а й від співвідношення між тривалістю заборонного сигналу ( $t_{заб}$ ) і середньою тривалістю простою ГТ на ЗП ( $t_{zn}$ ). Точне співвідношення між тривалістю простою ГТ на ЗП, тривалістю СФЦ та тривалістю заборонного сигналу змінюватиметься залежно від того, наскільки коротшою або довшою буде середня тривалість простою ГТ на ЗП ( $t_{zn}$ ) під час заборонного сигналу ( $t_{заб}$ ).

Деякі ризики щодо формування додаткової затримки виникають, коли тривалість простою ГТ на ЗП є коротшою за тривалість заборонного сигналу або ж ці показники є рівними. Таких ризиків не виникає, якщо тривалість заборонного сигналу є дуже короткою. З іншого погляду, заповнення ЗП, за

умови її розташування поруч із РП, буде збільшуватися у відношенні до середньої тривалості, коли тривалість процесу посадки-висадки пасажирів збігається з тривалістю дозвільного сигналу.

За умови, якщо тривалість простою ГТ на ЗП коротша за тривалість заборонного сигналу, то, у крайньому випадку, ЗП може працювати лише під час дозвільного сигналу.

Таким чином, якщо [53–57]:

$$t_{zn} < t_{заб}, \quad (1.24)$$

то:

$$y_{zn_0} = x_{zn} \cdot T_{\text{ц}} / (T_{\text{ц}} - t_{заб} + T_o), \quad (1.25)$$

де  $T_o$  – середня тривалість часу, коли посадка-висадка пасажирів співпадає із заборонним сигналом світлофора;

$$x_{zn} = 0,35.$$

Якщо тривалість простою ГТ на ЗП є меншою за тривалість заборонного сигналу, то ступінь взаємовпливу «світлофор-зупинка» на заповнення виділеної смуги можна оцінити, припустивши, що половина тривалості часу, необхідного для посадки-висадки пасажирів, припадає на дозвільний сигнал. Таке припущення має відносну точність, проте показує можливий ризик заповнення виділеної смуги і може бути записане таким чином [53–57]:

$$T_o = 0,5 \cdot t_{zn}, \quad (1.26)$$

де 0,5 – імовірність того, що тривалість посадки-висадки пасажирів співпадає з тривалістю заборонного сигналу.

У такому разі, під час розрахунку заповнення ЗП, враховуючи вплив світлофора, можна використовувати рівність [53–57]:

$$y_{zn} = x_{zn} \cdot T_{\text{ц}} / [T_{\text{ц}} - t_{\text{заб}} + (0,5 \cdot t_{zn})], \quad (1.27)$$

Оскільки  $k_{zn} = t_{\text{заб}} / t_{zn}$ , тоді  $t_{\text{заб}} = t_{zn} \cdot k_{zn}$ , тому рівність (1.27) набуде вигляду [53–57]:

$$y_{zn} = x_{zn} \cdot T_{\text{ц}} / [T_{\text{ц}} - (t_{zn} \cdot k_{zn}) + (0,5 \cdot t_{zn})], \quad (1.28)$$

Таким чином, якщо посадка-висадка пасажирів половину тривалості часу співпадає із заборонним сигналом, а половину із дозвільним сигналом, то рівність (1.28) набуде вигляду [53–57]:

$$y_{zn} = x_{zn} \cdot T_{\text{ц}} / [T_{\text{ц}} - t_{zn} \cdot (k_{zn} - 0,5)], \quad (1.29)$$

На основі емпіричних досліджень доцільно припустити, що за умови, якщо тривалість простою ГТ на ЗП більша або дорівнює тривалості заборонного сигналу, рівність для розрахунку загального заповнення виділеної смуги необхідно змінити задля кращого відображення нижчого рівня взаємного впливу «світлофор-зупинка». Наведена нижче емпірична рівність загалом показує передбачуваний рівень такого взаємного впливу.

Якщо  $t_{zn} \geq t_{\text{заб}}$ , тоді [53–57]:

$$y_{zn} = x_{zn} \cdot T_{\text{ц}} / [T_{\text{ц}} - t_{zn} \cdot (k_{zn} / 2)], \quad (1.30)$$

Оскільки  $k_{zn} = t_{\text{заб}} / t_{zn}$ , то [53–57]:

$$y_{zn} = x_{zn} \cdot T_{\text{ц}} / [T_{\text{ц}} - t_{\text{заб}} / 2 \cdot t_{zn}], \quad (1.31)$$

1.3.4. Аналіз методів оцінювання оптимального розміщення зупинок громадського транспорту відносно регульованих перехресть. Під час оптимізації розташування ЗП ГТ з урахуванням пішохідної досяжності, розміщення місць генерації пасажирських потоків тощо, цілком можливо, що в межах виділеної смуги для ГТ деякі ЗП будуть розміщені між перехрестями, деякі – на перехрестях, а деякі – біля ключових об’єктів. Важливо знайти компромісне рішення між тривалістю для переходу пішоходів і тривалістю руху транспорту. ЗП не обов’язково мають бути розташовані між перехрестями, проте найважливіше – вони б мали бути на певній віддалі від перехресть, щоб уникнути конфліктів та суттєвого взаємного впливу.

Розташування ЗП між перехрестями не є єдиним варіантом уникнення взаємного впливу між ними (ЗП) і перехрестями. Розташування між перехрестями може бути найкращим оптимальним варіантом, враховуючи розташування місць генерації та притягання мешканців і схем руху ПП.

За будь-якого випадку важливо розрахувати мінімальну відстань, при якій спостерігатиметься найменший взаємний вплив між самими ТЗ на виділених смугах для ГТ на ЗП і загальним ТП на РП. Найпростіше таку мінімальну відстань можна визначити, порахувавши, скільки місця займають ТЗ ГТ на виділеній смузі, які вишикувалися в чергу. У разі невеликого обсягу перевезень виділеними смугами, ТЗ ГТ, які вишикувалися у чергу, не становитимуть жодних проблем. У разі значного обсягу перевезень, важливо взяти до уваги можливі черги ГТ перед РП і на ЗП (1.32) [53–57].

$$L_{zn} > n_{ГТ} \cdot L_{oГТ} , \quad (1.32)$$

де  $L_{zn}$  – відстань від ЗП ГТ до стоп-лінії СФО, м;

$n_{ГТ}$  – можлива кількість ТЗ ГТ в черзі на заборонний сигнал світлофора, од;

$L_{oГТ}$  – середня довжина ділянки виділеної смуги, яку займає один ТЗ ГТ, м.

Пізніше для отримання кількості ТЗ ГТ, які очікують на стоп-лінії біля СФО на виділеній смузі розраховують з рівності (1.33) [53–57].

$$n_{ГТ} = t_{забГТ} \cdot N_{ГТ} / (1 - (N_{ГТ} / P_{ГТ})) / 3600 , \quad (1.33)$$

де  $t_{забГТ}$  – тривалість заборонного сигналу світлофора на виділеній смузі, с.

Іноді РП розташовані настільки близько одне відносно одного, що досить важко знайти оптимальне рішення щодо розміщення ЗП. У таких випадках необхідно визначити, наскільки важливим тут є розташування ЗП. Якщо таке розташування є важливим та обґрунтованим, то економію часу пішоходів у результаті розташування ЗП поблизу об'єкта притягання необхідно порівняти з можливими затримками на виділеній смузі для ГТ унаслідок його близькості до РП. Якщо ж важливих об'єктів притягання немає, то ЗП краще не облаштовувати. ТЗ загального ТП, найімовірніше, встигнуть проїхати обидва перехрестя за результатами синхронізації СФЦ, однак це не спрацює для ГТ на виділеній смузі, якщо між такими перехрестями буде розміщено ЗП, оскільки ГТ проїде перше перехрестя на дозвільний сигнал світлофора і зупиниться на ЗП для посадки-висадки пасажирів. Коли ТЗ ГТ відновить рух у напрямку другого перехрестя, то сигнал світлофора, найімовірніше, вже зміниться на заборонний. Таким чином, ця конфігурація може спричинити суттєві затримки для пасажирів ГТ.

Навіть для ТЗ загального ТП при нормальних умовах руху два, розташованих недалеко одне від одного, РП можуть виникати проблеми, оскільки ТЗ, які зупинені на заборонний сигнал на першому перехресті, займатимуть всю довжину прогону і, таким чином, ТЗ другого перехрестя не зможуть туди в'їхати під час дозвільного сигналу. Рівність (1.34) дозволяє розрахувати таку відстань, за якої виникає описана «проблемна» ситуація [53–57].

$$D_{1-2} = 3 \cdot \text{Max}(t_{o1}, t_{o2}) , \quad (1.34)$$

де  $D_{1-2}$  – відстань між першим і другим РП, м;

$t_{o1}$  – тривалість дозвільного сигналу для кожної фази у напрямку синхронізації на РП 1, с;

$t_{o2}$  – тривалість дозвільного сигналу для кожної фази у напрямку синхронізації на РП 2, с.

Визначення величини взаємного впливу «світлофор-зупинка» є важливим завданням для тих магістральних ділянок ВДМ, які прокладені у транспортних районах з її високою щільністю. З одного боку, розміщені близько один до одного СФО легше координувати, а з іншого – існують суттєві проблеми з пропуском поворотних ТЗ, особливо коли такі повороти здійснюються з виділених смуг для ГТ і, тим самим, зменшують їх ефективність в системах координації та одночасної пріоритизації.

#### 1.4. Висновки з розділу

1. Основними чинниками, які впливають на режим руху транспортного потоку є: інтенсивність, швидкість, щільність та склад потоку, а також геометричні параметри елементів вулично-дорожньої мережі та схема організації дорожнього руху на ній. Цими режимами можна управляти на основі трьох підходів: ситуаційному (мікрорівень – залежно від оперативної дорожньо-транспортної ситуації на конкретному елементі вулично-дорожньої мережі), системному (мезорівень – за сукупністю взаємозамінних та водночас взаємопов'язаних елементів), процесному (макрорівень – формування взаємопов'язаних цілей щодо управління транспортною системою).

2. Для оцінювання рівня ефективності роботи вулично-дорожньої мережі та її елементів є тривалість поїздки (пересування), яка найперше визначається пропускною здатністю цієї мережі та провізною здатністю

транспортних засобів. Для нерегульованих ділянок пропускна здатність визначається інтенсивністю руху транспортних потоків на головному та другорядному напрямках, а також показниками руху пішоходів, а для регульованих ділянок – часовими параметрами світлофорного регулювання.

3. Затримки в русі транспортних засобів на регульованих перехрестях, які спричинені часовими параметрами світлофорного регулювання, в основному зумовлені співвідношенням тривалості дозвільного та заборонного сигналів. Для будь якого напрямку у фазі регулювання критичними є значення частки заборонного сигналу 0,65 та більше від тривалості циклу регулювання. Особливий вплив таке значення частки заборонного сигналу має для затримок громадського транспорту, який окрім нерівномірного прибуття до регульованих перехресть також має затримки на зупинкових пунктах, які здебільшого розміщені на підходах до цих перехресть.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЖИМІВ РЕГУЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПРІОРИТЕТУ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

#### 2.1. Методика забезпечення стійкості груп транспортних засобів у потоці під час координованого управління рухом на магістральних вулицях

Основним завданням СФР на перехрестях є надання періодичного часового пріоритету УДР, розділяючи конфліктуючі напрямки та групи (транспортні та пішохідні потоки) між собою. Це зумовлює певну періодичність та формує характерні закономірності в русі ТЗ і пішоходів на перехрестях і прогонах ВДМ.

Характер прибуття ТЗ до РП має визначальне значення під час визначення раціональних режимів СФР. Проектуючи РП на магістральних вулицях регульованого руху, необхідно враховувати рівень взаємозв'язку між суміжними перехрестями. Дослідники [1,3,58–62] розрізняють два, відмінні між собою, принципи управління СФР на РП: ізольоване або локальне та системне або координоване. Під час ізольованого управління вважається, що характер прибуття ТЗ до РП є випадковим, оскільки вплив попереднього (суміжного) РП, яке розміщене на значній відстані від нього, є незначний. За таких умов не вдається узгоджувати часові параметри СФР, виходячи з параметрів ТП. Для цього розроблено метод визначення ступеня локальності перехрестя. Відповідно до нього, РП можна вважати ізольованим (виходячи з параметрів ТП), якщо виконується нерівність [6]:

$$l_{np} > \frac{V_{ex}^2 - 9 \cdot \sigma_{V_{ex}}^2}{6 \cdot \sigma_{V_{ex}}} \cdot t_{заб_{сум}} , \quad (2.1)$$

де  $l_{np}$  – довжина прогону (відстань між суміжними перехрестями), м;

$V_{вх}$  – вхідна швидкість (швидкість на підході до РП), м/с;

$\sigma_{V_{вх}}$  – середнє квадратичне відхилення вхідної швидкості, м/с;

$t_{заб_{сум}}$  – тривалість заборонного сигналу на попередньому суміжному перехресті, с.

Координованим СФР вважають таке управління дорожнім рухом, за якого часові параметри СФЦ на всіх РП ВДМ взаємопов'язані між собою. При цьому (переважно на одній вулиці), ряд СФО поєднується в певну систему, яка називається системою координованого регулювання (СКР). Метою СКР є забезпечення безупинного руху груп ТЗ у напрямку координації [6,60,61]. Вважається, що ТЗ підходять до певного РП періодичними групами, які формуються на попередньому суміжному перехресті, тобто всі РП мають синхронізовані СФЦ, проектування яких відбувається з урахуванням показників ТП. Суть СКР полягає у визначенні такої рекомендованої швидкості руху між суміжними стоп-лініями, за якої група ТЗ підходила до наступного перехрестя у момент ввімкнення дозвільного сигналу світлофора і проходила з такою ж швидкістю усі РП СКР.

Під час впровадження СКР важливо вивчити чинники, які впливають на формування та розпад груп ТЗ. Як відомо, група формується на стоп-лінії під час ввімкненого заборонного сигналу. Після ввімкнення дозвільного сигналу розпочинається роз'їзд групи. У міру неоднорідності (за складом) ТП під час руху ділянкою така група починає розпадатись. На цей процес в основному впливають техніко-експлуатаційні характеристики ТЗ. Виходячи із цього, важливо проаналізувати, яким чином в процесі руху розпадається група ТЗ на ділянках вулиць за неоднакової відстані між стоп-лініями з метою подальшого збалансованого розподілу дорожнього простору, про що описано у роботах [1,3,6,62,63]. Результатом цих досліджень є визначення граничних значень довжини прогону (відстані між суміжними стоп-лініями), на якому інтервал часу між групами не перевищує середнього інтервалу між ТЗ у групі. Це

означає, що ТП набуває характерної стійкості за певних параметрів прогону (170 – 1200 м), що забезпечує йому сталий рух.

Результатом дослідження [65] є те, що «стійкість» груп ТЗ забезпечується за умови досягнення однакових фазових зсувів з урахуванням особливостей та показників ТП. До особливостей та показників ТП тут відносять нерівномірність руху, швидкість, випередження та обгони, а також вплив складу потоку та дорожніх умов. На відміну від роботи [64], у роботі [65] дослідження проводиться на ВДМ зі значною щільністю. Залежно від відстані між суміжними РП (найточніше – їх стоп-лініями) під впливом процесу «дифузії» у ТП (обгони, випередження, зміна смуги руху) періодичний характер його руху поступово змінюється і через 600–800 м єдина група, яка «увійшла» в СКР, практично руйнується, а у ТП з'являються мікрогрупи ТЗ, які близькі між собою за динамічними показниками.

Керування стійкістю груп є досить складним завданням також з причини того, що щільність ВДМ є різною навіть в одних і тих же транспортних районах (функціональних зонах), а, відповідно, відстані між суміжними РП також відрізняються. Виходячи з цього, на суміжних РП (стоп-лініях) необхідно забезпечувати зсув фаз, тобто ввімкнення дозвільного сигналу за напрямком руху з деяким зміщенням у часі.

Зсувом фаз у СКР займалися дослідники у роботах [66–69], який вони проаналізували із використанням графоаналітичного методу. Його суть полягає у побудові графіку руху групи ТЗ в системі координат «час – відстань». Для цього будувались «стрічки часу» для прямого та зустрічного напрямків руху, в яких аналізували перетворення на трьох стадіях: утворення групи ТЗ під час роз'їзду черги від стоп-лінії на першому РП; розпад групи під час її руху прогоном; формування групи на підході до наступного РП у випадку дії заборонного сигналу або за наявності на шляху руху черги ТЗ, які в'їхали на магістраль з другорядних напрямків першого РП і вимушено зупинились на заборонний сигнал. У роботі [66] стверджується, що під час руху ділянкою магістральної вулиці за різних значень довжини черги, яка

перешкоджає руху у «стрічці часу», відбувається зміна миттєвого значення інтенсивності ТП. За такого випадку виникає зона, у якій водії змушені знижувати швидкість аж до повної зупинки. Такі зони є «вузькими місцями», де суттєво знижується ПЗ. Виходячи із викладеного у роботі [66], суттєвий вплив на ефективність СКР за критерієм мінімізації затримки руху має інтенсивність ТП не лише за головним (координованим) напрямком, але й за другорядним.

У більшості відомих досліджень під час оцінювання ефективності СКР основна увага зосереджується на планувальних особливостях ПЧ, зокрема її геометрії. Поряд із цим, важливим також є врахування випадкового характеру ТП. Одночасного врахування і геометрії, і поведінки ТЗ можна досягти із використанням ІМ. У таких моделях, що відображено у роботі [67], враховується реальна випадковість процесів на ВДМ міста. Це відображається через відповідні поведінкові моделі. Окремої уваги заслуговує застосування моделей Вебстера та Відермана, які ґрунтуються на поведінці ТЗ, випадковості прибуття їх до РП, що має враховуватись у СКР [68,69]. Тут визначено тривалості СФЦ із врахуванням геометричного принципу розрахунку зсуву фаз для всіх СФО, які утворюють СКР. Усі перелічені методики акцентують увагу на застосуванні жорстких алгоритмів управління, які, на відміну від адаптивних, створюють можливість змінювати розподіл часу циклу між різними фазами, а також їх порядок відповідно до реальної дорожньо-транспортної ситуації [70].

Враховуючи, що досягти однакової кількості ТЗ, які прибувають до кожного наступного РП, на практиці вдається рідко, то найточнішим буде припущення, що вхідний ТП на РП матиме пуассонівський (випадковий) характер [71]. Це наслідок взаємодії значної кількості подій. Автори [71] стверджують, що складання планів координації на основі безпосереднього завдання оцінювання довжини групи ТЗ у СКР вимагає оцінювання ймовірності виникнення неповної групи за різних умов, оскільки така подія означає зниження ефективності використання тривалості СФЦ на всіх РП

координованої ділянки, а наявні методи організації координованої роботи СФО, як і методи оцінювання довжини черги на ізолюваних РП, не забезпечують цього процесу.

Значної уваги під час складання графіків координації слід приділяти дослідженням швидкості та інтенсивності дорожнього руху. Одні дослідники акцентують увагу на миттєвих значення швидкості руху [72]. Тут із використанням цього показника обґрунтовуються режими руху. У цьому дослідженні використовуються GPS треки, які облаштовано у ТЗ. За такою методикою вдається визначити градієнт швидкості на різних ділянках ВДМ. Інші дослідники [73–75] значну увагу зосереджують на показнику інтенсивності та «дифузії» групи ТЗ. Розглянемо детальніше суть цього процесу.

За відомих значень відстані між суміжними стоп-лініями (надалі – довжина прогону) ( $l_{np}$ ) та швидкості руху у СКР ( $V_{СКР}$ ), можна стверджувати, що ТЗ, який розпочав рух на початку дозвільного сигналу з  $i$ -го РП, під’їде до  $(i+1)$ -го РП через інтервал часу  $t_{zc} = \frac{l_{np}}{V_{СКР}}$  (рис. 2.1) в момент початку дії дозвільного сигналу на ньому, тобто на стоп-лініях суміжних РП дозвільний сигнал ввімкнеться зі зміщенням у часі, яке рівне  $t_{zc}$ . На рис. 2.1 траєкторії руху ТЗ, які рухаються зі сталою швидкістю у СКР, є прямими, і нахилені до осі  $t$  (час) під кутом  $\alpha$ , тангенс якого дорівнює швидкості координації  $tg\alpha = V_{СКР}$ . Такти, позначені дозвільними сигналами, відповідають основним тактам у напрямку координації (головний магістральний напрямок), а такти, позначені заборонними сигналами – відповідають основним тактам для руху на другорядних напрямках. З рис. 2.1 видно, що ТЗ, дотримуючись швидкості  $V_{СКР}$ , пройдуть всі РП без зупинки.

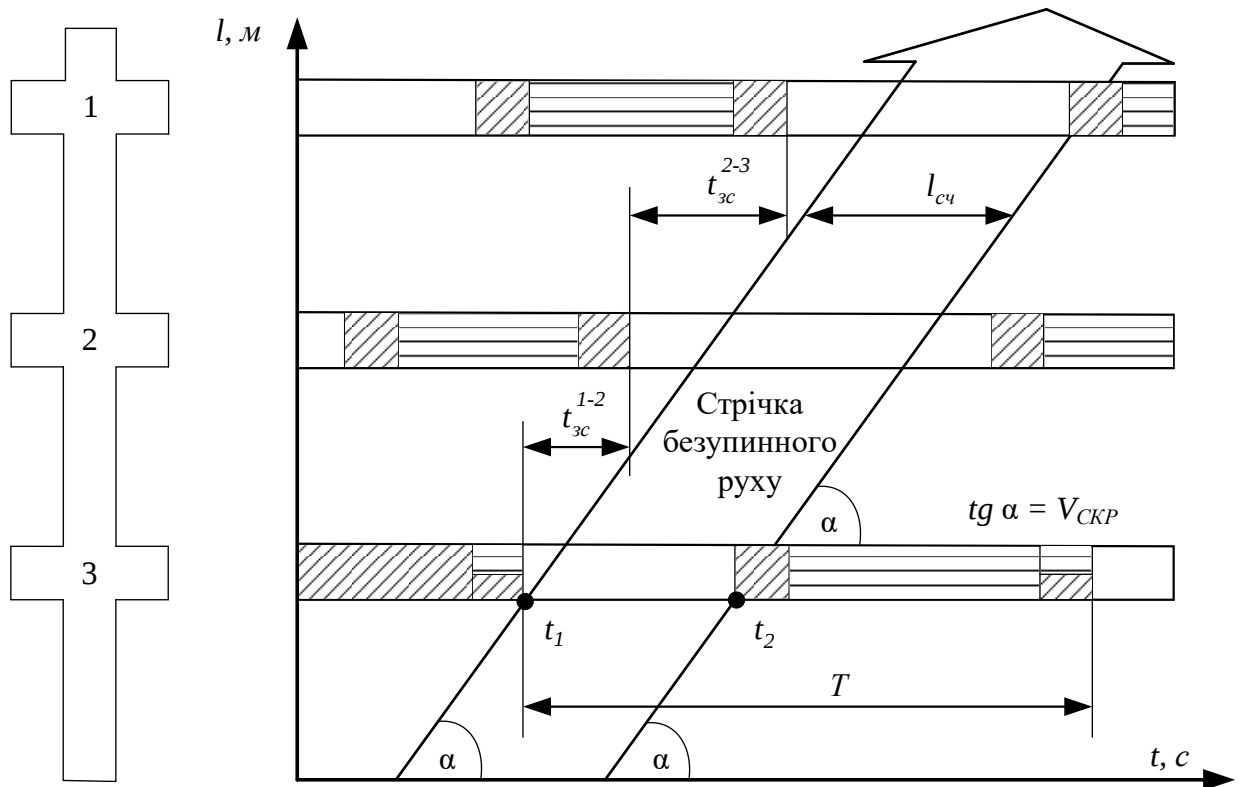


Рис. 2.1. Відображення стрічки часу та зсуву фаз у СКР [6,72,73]

На графіках координації період часу, протягом якого групі ТЗ гарантується безупинний проїзд з розрахунковою (на практиці – рекомендованою) швидкістю через всі перехрестя, називається стрічкою часу, яка характеризується шириною  $l_{сч}$ , що вимірюється в секундах, та кутом нахилу, який відображає швидкість руху.

Забезпечення СКР на мережі перехресть вимагає дотримання двох основних умов, якими визначається стійкість цієї системи: на всіх РП СКР цикли СФР мають бути однаковими або кратними; на всіх суміжних РП повинен існувати такий зсув фаз, який не змінюється між циклами.

Чітких нормативних критеріїв впровадження СКР, як це передбачено для впровадження СФР у документі [41], немає, проте за результатами аналізу фахової літератури, їх можна звести до таких:

1. Наявність не менше двох смуг для руху в кожному напрямку. Це пов'язано з необхідністю безупинного руху ТЗ з розрахунковою швидкістю і їх своєчасне прибуття до наступного РП. Затримка ТЗ на шляху порушить

процес координації, оскільки збільшення тривалості руху між суміжними стоп-лініями спричинить прибуття окремих ТЗ або групи на наступне РП із запізненням (ввімкнеться заборонний сигнал). За вузької ПЧ вірогідність затримки зростає, оскільки можливий ускладнений об'їзд перешкод (паркування, ЗП ГТ тощо).

2. Забезпечення однакового або кратного циклу СФР на всіх РП, що входять у СКР. Така умова забезпечує необхідну періодичність та синхронізацію зміни часової тривалості сигналів, збереження розрахованого зсуву фаз за напрямком координації.

3. Показник транзитності (за напрямком руху) ТП має становити не менше 70%. Це обмеження означає перевагу на магістралі, де введено СКР, потоків прямого напрямку, оскільки інтенсивні поворотні ТП погіршують ефективність СКР, що пов'язано з необхідністю забезпечення їм окремих фаз і тактів під час з'їзду з координованого напрямку.

4. Відстань між суміжними РП не повинна перевищувати 800 м, що пов'язано зі стійкістю груп ТЗ. За результатами теоретичних досліджень [76] визначено, що найкраща координація досягається за умови, коли відстань між суміжними РП знаходиться в межах 100–300 м.

5. Особливості дорожньо-планувальних умов (ширина ПЧ), показники ТП, часові параметри СФР (оптимальна тривалість СФЦ, тривалість основних тактів для транспорту та пішоходів) на РП у СКР є близькими.

Чинники, які негативно впливають на ефективність функціонування СКР: недостатня ПЗ ПЧ; відсутність заборони паркування; багатофазні СФЦ на РП, що характерно для складних (з погляду планування) перехресть; значна частка поворотних ТП; висока щільність ВДМ, що характерно для історичних міст з радіально-кільцевою конфігурацією ВДМ; висока неоднорідність ТП, що спричиняє розмах вибірки швидкостей руху.

Розглядаючи процес руху групи ТЗ, яка сформувалась на випуску з перехрестя, відзначимо графічно (рис. 2.2) процес її деформації, зокрема зміну довжини та щільності.

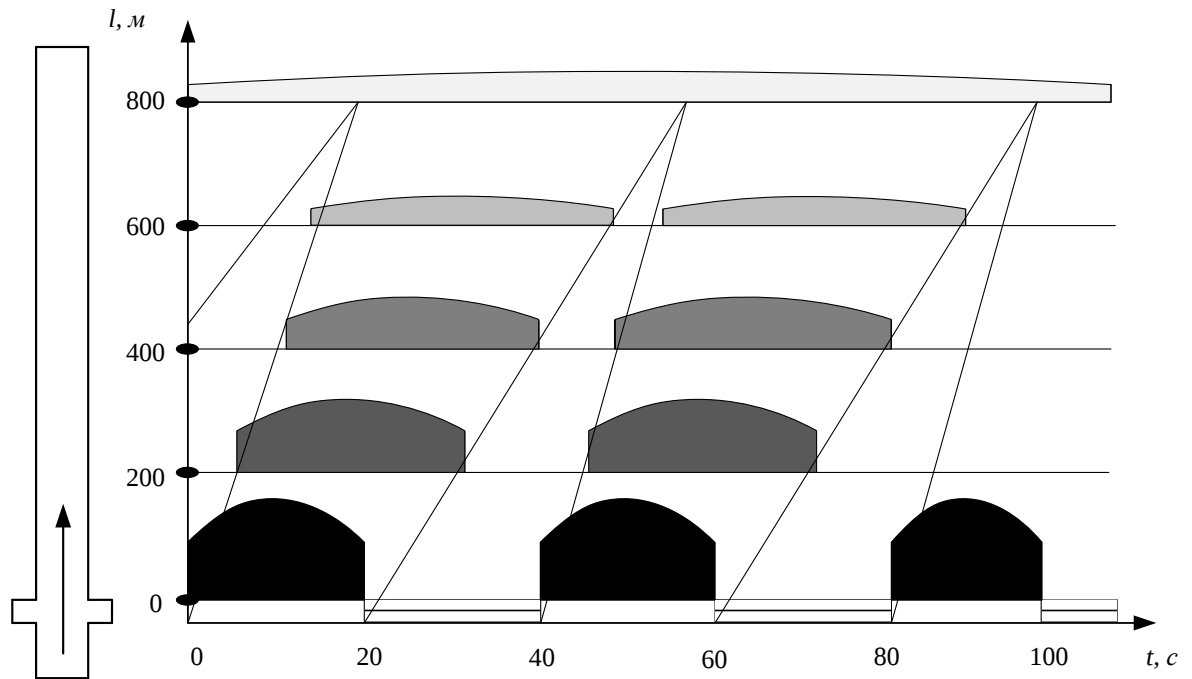


Рис. 2.2. Процес розпаду групи ТЗ залежно від відстані між суміжними стоп-лініями [6]

Виходячи з того, що більшість СКР не враховує процес розпаду груп ТЗ у ТП, то таке явище слід вважати негативним з погляду ефективності. Обґрунтовуючи доцільність введення СКР, у більшості досліджень зважають на середнє квадратичне відхилення швидкості потоку  $\sigma_{V_{СКР}}$ , яка одночасно відображає вплив: дорожніх умов, складу ТП, показників інших УДР тощо на ефективність регулювання.

У роботах [1,3,6,77], за відомих значень середньої швидкості ТЗ на прогоні в СКР ( $\bar{V}_{СКР}$ ) та  $\sigma_{V_{СКР}}$ , можна визначити таку довжину цього прогону, за якої забезпечується ефективність координації [6].

$$l_{np} < \frac{t_{заб_{сум}}}{6 \cdot \sigma_{V_{СКР}}} \cdot \left( \overline{V_{СКР}^2} - 9\sigma_{V_{СКР}}^2 \right), \quad (2.2)$$

Під час аналізу схем пофазного роз'їзду ТЗ на РП у СКР найкращі результати досягаються за двофазних схем, віднесенні лівих та правих поворотів, а також на магістральних вулицях з одностороннім рухом.

Під час розрахунку оптимальних СФЦ на перехрестях СКР є відмінності від ізолюваних РП. За умови, коли інтенсивність руху ТП менше за 600 од/год на смугу, то  $T_u$  розраховується з рівності (2.3), а за вищих значень інтенсивності руху – з рівності (2.4), виходячи з умови 90-% завантаження від ПЗ [1,3,6,77].

$$T_u = \frac{1,5 \cdot \sum_{i=1}^n (t_{np} - 1) + 5}{1 - Y}, \quad (2.3)$$

$$T_u = \frac{0,9 \sum_{i=1}^n (t_{np} - 1) + 5}{0,9 - Y}, \quad (2.4)$$

де  $Y$  – сума фазових коефіцієнтів.

Таке твердження є справедливе, оскільки під'їзд щільних груп ТЗ підвищує ступінь насичення фаз у СКР, на відміну від ізолюваних РП.

РП з максимальною розрахунковою тривалістю СФЦ називається ключовим, а, виходячи з умов стійкості роботи СКР, тривалість СФЦ ключового РП приймається визначальною для решти РП у напрямку координації.

На інших РП, які, очевидно, є менш завантаженими, тривалість СФЦ буде надлишковою та неоптимальною.

Тривалість основних часових параметрів СФЦ у СКР розраховується з таких рівностей:

– тривалість основного такту ( $t_{o_{СКР}}$ ) [1,3,6,77]:

$$t_{o_{СКР}} = \frac{y_{i_{СКР}}}{Y} \cdot \left( T_u - \sum_{i=1}^n (t_{np} - 1) \right) \quad (2.5)$$

де  $y_{i_{СКР}}$  – розрахунковий фазовий коефіцієнт для транзитних (прямих) ТП у СКР;

– тривалість основного такту на другорядному напрямку для неключових перехресть ( $t_{o_{dp.min}}$ ) [1,3,6,77]:

$$t_{o_{dp.min}} = \frac{y_{dp} \cdot T_{\varphi}}{Y} - 1, \quad (2.6)$$

де  $y_{dp}$  – розрахунковий фазовий коефіцієнт для другорядного напрямку неключових перехресть;

– максимальна тривалість дозвільного сигналу на неключових перехрестях у напрямку координації ( $t_{o_{dp.max}}$ ) [1,3,6,77]:

$$t_{o_{dp.max}} = T_{\varphi} - \left( t_{o_{dp.min}} + t_{\partial\partial\partial} + \sum_{i=1}^n t_{np_i} \right), \quad (2.7)$$

де  $t_{\partial\partial\partial}$  – тривалість основного такту у третій фазі (при двофазному циклі ця величина дорівнює нулю).

Отже, тривалість основного такту на ключовому РП є мінімальною, а надлишок сигналу на неключових РП використовується для максимізації ширини стрічки часу.

Незалежно від методологічних підходів, проаналізовані тут методики ґрунтуються на підвищенні ефективності функціонування АСУДР, що підтверджується роботами [13–15]. Різниця між цими підходами полягає у тому, як враховуються відмінності між ділянками ВДМ, які досліджуються (конфігурація, специфіка розміщення відносно території міста тощо), характер зміни показників ТП, дорожні умови тощо.

Виходячи з цього аналізу, визначено, що існуючі теоретичні та практичні підходи щодо управління ТП засобами СФР потребують постійного

удосконалення, суть якого полягає в одночасному врахуванні великої кількості дорожньо-планувальних, транспортних та містобудівних чинників. В умовах СКР важливим аспектом є побудова таких алгоритмів керування, які б задовольняли високий рівень надійності ТС. Під надійністю ТС тут розуміємо забезпечення безупинного проїзду групи ТЗ через всі стоп-лінії СКР. Таке завдання можна досягти, управляючи одночасно тривалістю дозвільного сигналу на СФО та швидкістю руху, оскільки управляти інтенсивністю руху, як похідною від попиту на пересування, досить складно. Враховуючи, що у СКР застосовуються жорсткі алгоритми керування, які зав'язані і залежні від «ведучого» (ключового) перехрестя, то необхідно визначити таку межу прийнятних значень тривалості дозвільного сигналу на координованому напрямку залежно від інтенсивності та складу руху, яка матиме найменший вплив на балансування тривалості фаз, які утворюють СФЦ на кожному із перехресть системи. При цьому, одночасне управління швидкістю руху має передбачати встановлення такого її значення, за якого досягатиметься найменший розпад групи ТЗ під час проходження нею (групою) всіх стоп-ліній координованого напрямку. Тобто, забезпечення мінімального рівня «дифузії» у ТП, враховуючи його інтенсивність та склад. Рациональне співвідношення цих показників дозволить мінімізувати затримки на магістральних вулицях, не порушуючи вимог критеріїв до введення координованого управління.

Поряд з цим, актуальним є завдання врахування такої швидкості руху ГТ у СКР, враховуючи наявність у нього регламентованих зупинок, пов'язаних із посадкою та висадкою пасажирів, за якої йому забезпечуватиметься проїзд у стрічках часу з мінімальними затримками на стоп-лініях перехресть, об'єднаних у систему.

## 2.2. Методи надання пріоритету громадському транспорту на магістральних вулицях

2.2.1. Порівняльний аналіз методів пріоритету для громадського транспорту. Пріоритет для ГТ влаштовують для підвищення надійності та швидкості його руху. Надання пріоритету для ГТ – це набір заходів для надання переваги йому у русі перед загальним ТП. До заходів щодо надання пріоритету ГТ відносять [78–81]:

- облаштування виділеної смуги для руху ГТ;
- покращення організації та регулювання дорожнього руху на окремих ділянках (перехрестя, ЗП тощо) ПЧ;
- надання пріоритету під час проїзду СФО (створення окремих фаз і тактів; продовження в часі тривалості дозвільного сигналу; передчасне ввімкнення дозвільного сигналу тощо);
- експлуатаційні покращення (наявність різних систем підтвердження оплати проїзду; центрів керування рухом тощо);
- допоміжні заходи (створення зон заспокоєння руху) для підтримки пріоритету ГТ.

У роботах [82–86] розрізняють пріоритет на ділянках ВДМ між перехрестями та пріоритет на самих перехрестях. Щодо ділянок між перехрестями, то тут існують різні види смуг для ГТ – у суміжному та протилежному напрямках до руху загального ТП, а також динамічна смуга, яка за допомогою керованих дорожніх знаків регламентує загальному ТП забезпечити проїзд ГТ при його наближенні. Щодо перехресть, то тут основними є такі види пріоритету:

- окремі фази для ГТ на СФО;
- спеціальні виділені смуги для обходу черг, облаштовані на перехрестях;
- поширення ПЧ перед РП.

Серед основних видів пріоритету на СФО виділяють активний та пасивний пріоритети [82–86]. Активний пріоритет включає продовження дозвільного сигналу, попереднє ввімкнення дозвільного сигналу, вставлення фази для ГТ посеред заборонного сигналу на суміжному напрямку тощо (рис. 2.3).

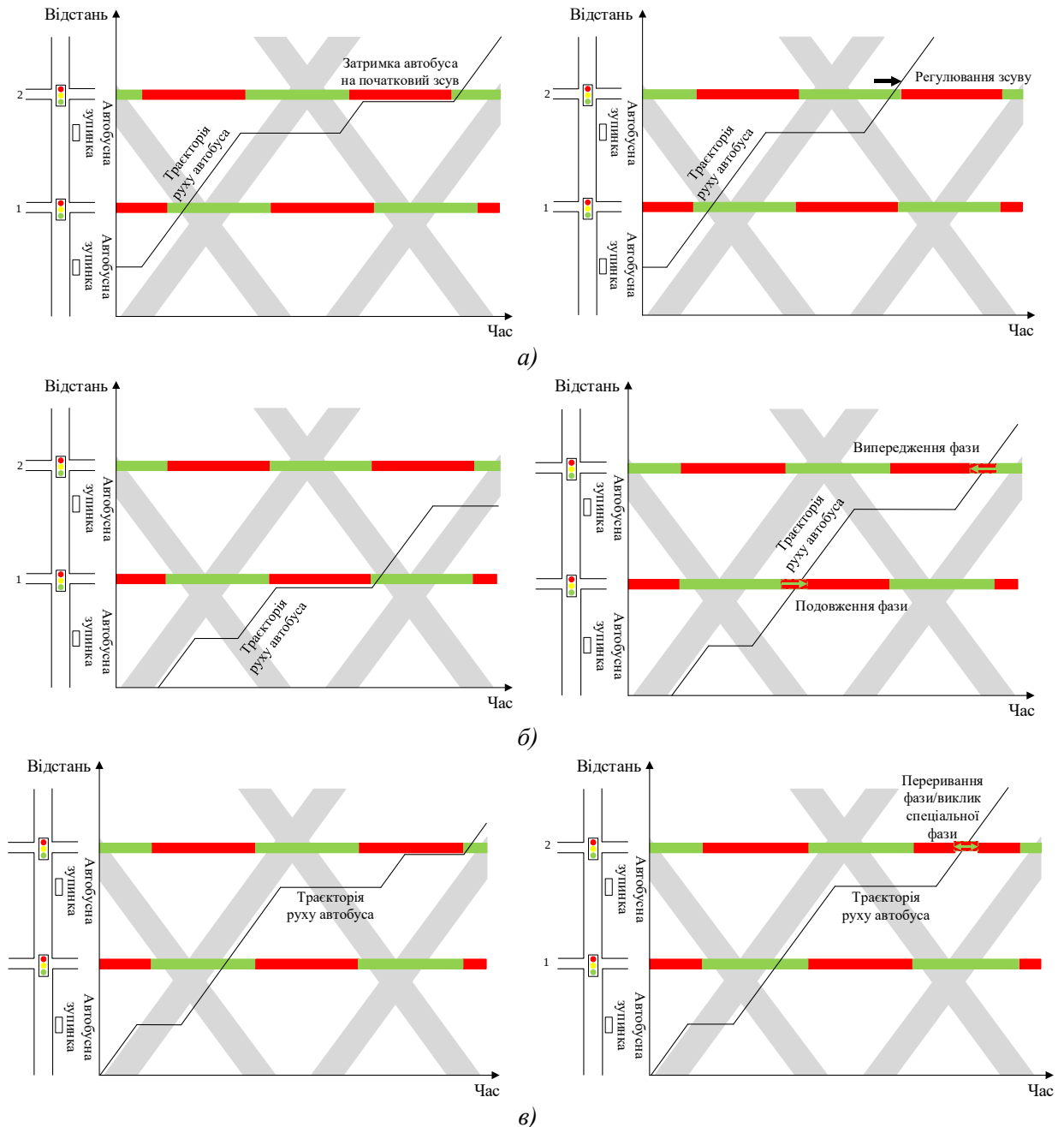


Рис. 2.3. Візуалізація методів впровадження часового пріоритету на РП:  
а) пасивний пріоритет (координація сигналів на СФО з врахуванням простою на ЗП); б) активний пріоритет (продовження дозвільного сигналу або скорочення заборонного сигналу на СФО); в) активний пріоритет (облаштування додаткової фази) [82]

Продовження у часі дозвільного сигналу є найпоширенішим способом надання пріоритету ГТ на СФО. Він працює таким чином: коли ГТ під'їжджає до РП під час ввімкненого дозвільного сигналу, проте у нього (ГТ) немає достатньо часу, щоб покинути зону перехрестя за час цього сигналу, то ГТ надають додатковий час для безупинного проїзду (рис. 2.3, б). Аналогічно працює і скорочення заборонного сигналу – при під'їзді ГТ до СФО йому раніше вмикається дозвільний сигнал. Таким чином, час простою ГТ на СФО є практично відсутнім.

Щодо вставлення окремої фази (рис. 2.3, в), то тут мається на увазі таке рішення: якщо при під'їзді до СФО для ГТ ввімкнений заборонний сигнал світлофора, тоді передбачається ввімкнення йому дозвільного сигналу такої тривалості, щоб рухомий склад ГТ встигнув покинути зону перехрестя, а після цього світлофор знову перемикається на заборонний сигнал. Тут може бути такий варіант пофазного роз'їзду, коли заборонний сигнал ввімкнений у всіх фазах для загального ТП, а дозвільний діє лише в одному напрямку (шляхом введення окремого такту), де є пріоритет для ГТ.

В свою чергу, пасивний пріоритет передбачає координацію сигналів світлофора вздовж маршруту ГТ (СКР з урахуванням пасивного пріоритету), додатковий час дозвільного сигналу світлофора для ГТ (використання концепції затримки на одну особу замість затримки на один ТЗ), а також скорочення тривалості СФЦ з врахуванням експлуатаційних характеристик (наприклад, середній час посадки-висадки пасажирів) (рис. 2.3, а). Найпростіший варіант – це влаштування СКР з урахуванням тривалості простою ГТ на ЗП.

Класифікацію методів пріоритету, розглянуту авторами [87–90], наведено на рис. 2.4. Тут зазначено, що пасивний пріоритет не є класично пріоритетом для ГТ, а є оптимізацією часових параметрів СФЦ для всього ТП вздовж маршрутів руху ГТ.

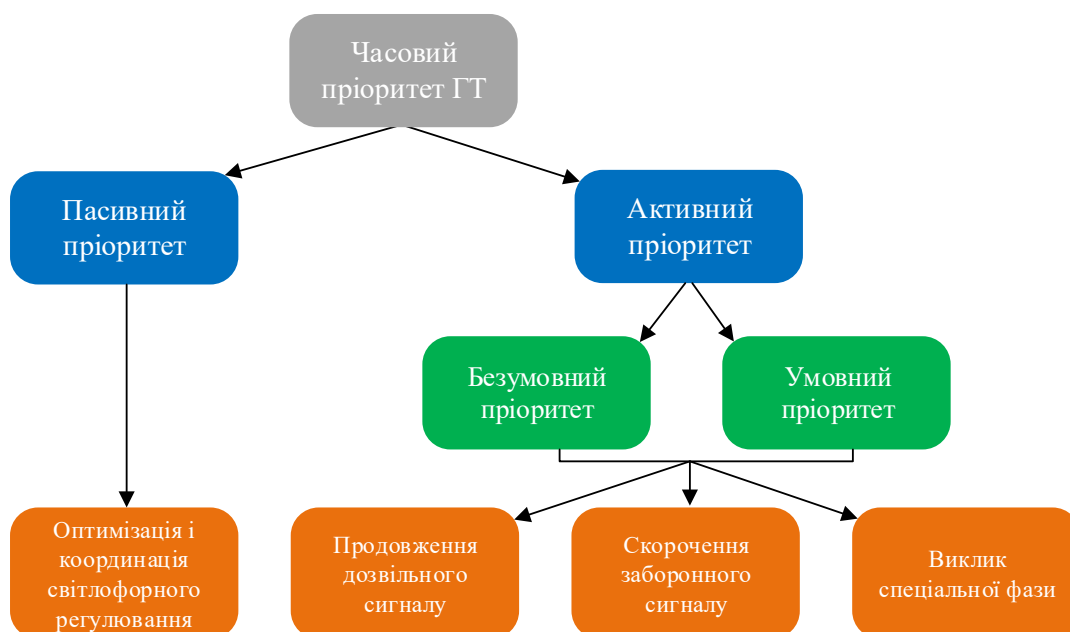


Рис. 2.4. Класифікація методів пріоритету для ГТ [87–90]

Активний пріоритет автори [87–90] поділяють на безумовний та умовний. Різниця між ними полягає у тому, що умовний пріоритет надається ГТ у певних випадках (найпоширенішим із них є відставання ГТ від встановленого графіка руху), в той час як безумовний означає, що ГТ надаватиметься пріоритет в русі на всіх СФО за будь яких умов.

Порівняння ефективності впровадження цих двох видів активного пріоритету наводять автори [82] у вигляді діаграми (рис. 2.5). Як бачимо, різниця у значеннях затримки в русі для загального ТП збільшується при збільшенні інтенсивності його руху, що є закономірним. Проте, при умовному пріоритеті для ГТ затримки для загального ТП є значного меншими у порівнянні з безумовним пріоритетом. Що ж до самого ГТ, то знову ж таки, закономірно безумовний пріоритет є для нього ефективнішим, проте, зважаючи на загальний ефект для ТП, застосування умовного пріоритету є доцільнішим. Тут також слід відзначити, що затримка для загального ТП залежатиме від кількості смуг, які йому виділяються, та кількості і тривалості фаз у СФЦ.

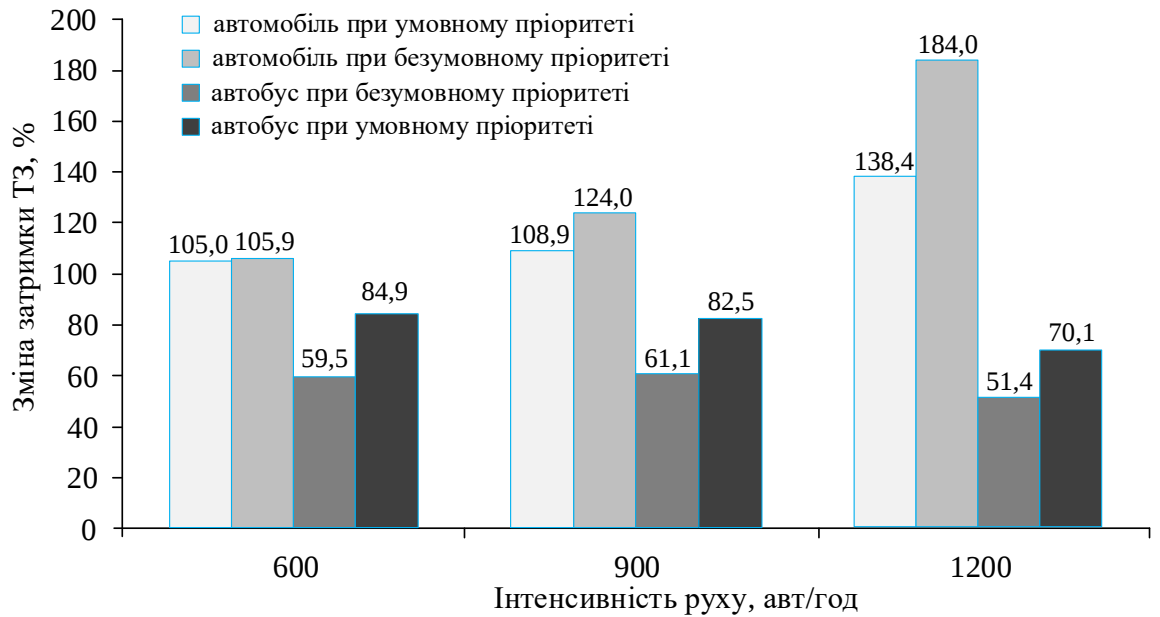


Рис. 2.5. Вплив умовного та безумовного пріоритету на затримки в русі ТЗ загального ТП та ГТ [82]

У роботах [78–80] виділяють три підходи щодо надання пріоритету ГТ:

– індивідуальний підхід – застосування заходів щодо надання пріоритету ГТ у певних місцях. Тут прикладом може бути заборона поворотів на перехресті у місцях, де такі повороти загального ТП є причиною затримки ГТ, або ж облаштування поширень перед перехрестями для проїзду ГТ, або окремих тактів і фаз;

– маршрутний підхід – застосування комплексного набору планувальних та регуляторних заходів щодо надання пріоритету на певних маршрутах (в тому числі на магістральній ВДМ, де впроваджено СКР);

– мережевий підхід – застосування комплексного набору планувальних та регуляторних заходів щодо надання пріоритету на всій мережі ГТ. Застосування мережевого підходу забезпечує кращі результати, ніж маршрутний або індивідуальний підходи, оскільки сприяє зменшенню затримок та підвищенню рівня зручності руху ГТ.

Класифікація лінійних та локальних видів пріоритету, проведена авторами [91], наведена у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

## Різновиди локального та лінійного пріоритетів [91]

| Локальні види пріоритету<br>(на перехрестях)                                                                            | Лінійні види пріоритету<br>(на ділянках між перехрестями)                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Попередній пропуск ГТ                                                                                                   | Виділена смуга для ГТ у спільному напрямку з загальним ТП                                            |
| Часовий пріоритет на СФО                                                                                                | Виділена смуга для ГТ у протилежному напрямку з загальним ТП                                         |
| Смуга для обходу черг ТЗ загального ТП                                                                                  | Реверсивна виділена смуга для ГТ                                                                     |
| Смуга та фаза, призначені лише для лівого повороту ГТ                                                                   | Встановлення світлофора на ділянці між перехрестями для пріоритетного пропуску ГТ через вузькі місця |
| Встановлення попереднього світлофора (проміжної стоп-лінії) для забезпечення пріоритетного пропуску ГТ через перехрестя | Смуга для ГТ, яка також може використовуватися для ТЗ з повністю наповненими салонами пасажирів      |

2.2.2. Методика врахування пасивного пріоритету у системі координованого регулювання. Як зазначено у дослідженнях [92–96], пасивний пріоритет для ГТ влаштовують для покращення руху вздовж його маршрутів шляхом збільшення тривалості дозвільного сигналу у напрямку його руху. У працях [97–100] запропоновано координувати надання пасивного пріоритету для ГТ з урахуванням його прибуття на ЗП. Результати досліджень показали зменшення часу в дорозі на 10%. Разом з тим, було встановлено, що для такого методу необхідне збільшення інтервалів руху ГТ (збільшення частоти руху збільшувало час в дорозі), зменшення інтенсивності руху загального ТП, а також зменшення довжини самого маршруту ГТ (оскільки зі збільшенням протяжності маршруту ГТ збільшувався накопичувальний ефект чинника невизначеності від зміни швидкості руху ГТ, нерівномірності прибуття пасажирів до ЗП, а також тривалості посадки-висадки пасажирів).

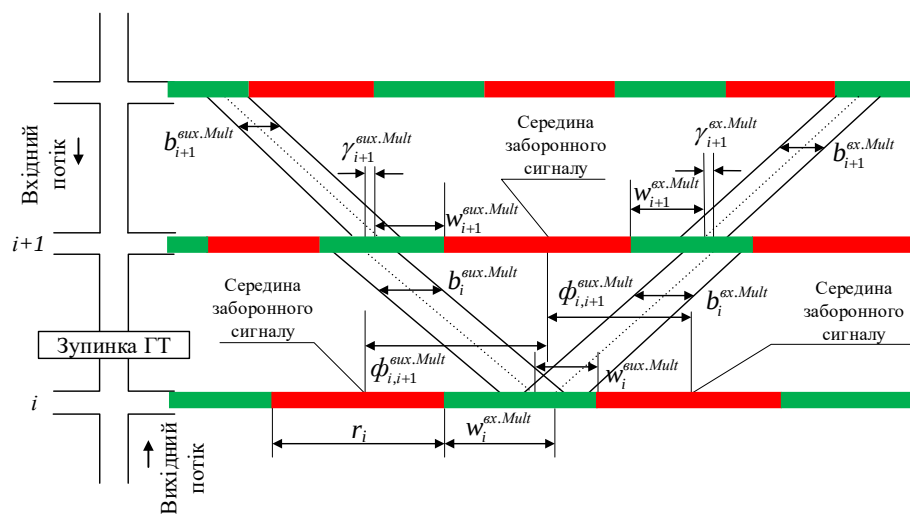
На противагу, у роботах [101–104] вказано, що пасивний пріоритет для ГТ працює найкраще в умовах, коли ГТ має високу частоту руху та коротку тривалість посадки-висадки пасажирів. Найбільшим недоліком такої системи автори називають відсутність гнучкості управління нею, що є характерним для маршрутного і мережевого підходів.

Автор [82] відзначає, що пасивний пріоритет найкраще працює в умовах незначної змінності інтенсивності руху ТП, детермінованого часу простою на ЗП, а також точних даних про час прибуття ГТ.

У роботах [105–107] зазначається, що варіантами пасивного пріоритету можуть бути влаштування кількох фаз для ГТ протягом одного СФЦ для частішого пропуску ГТ через СФО, обмеження кількості ТЗ загального ТП, які можуть виїхати на перехрестя за один раз (в одній фазі), а також влаштування СКР з прив'язкою до швидкості руху ГТ, а не загального ТП.

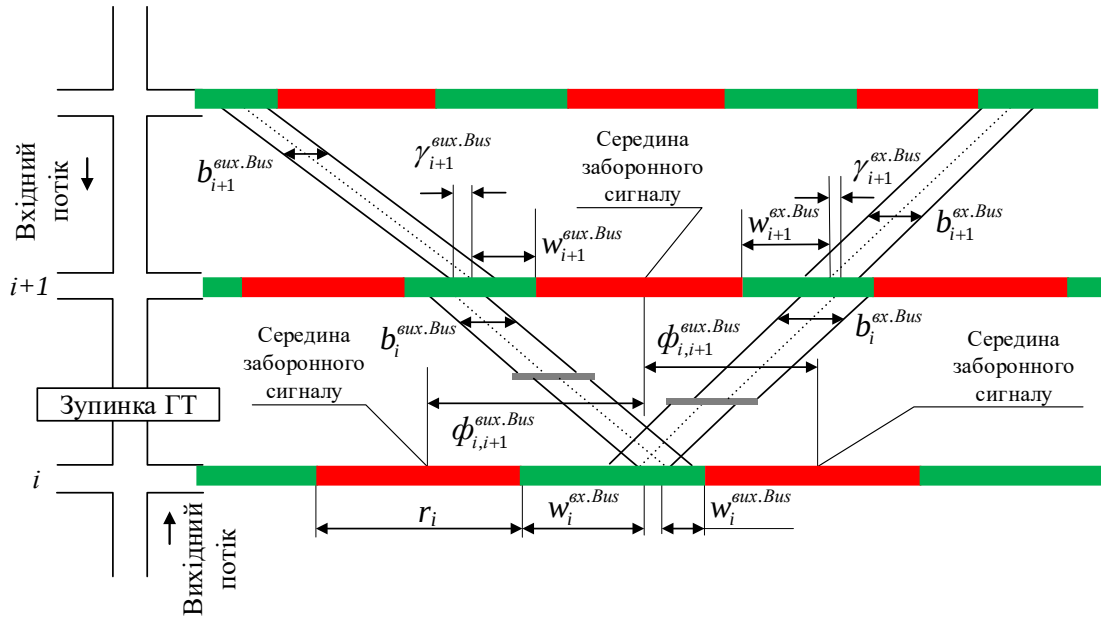
Автори [108–109] вказують, що пасивний пріоритет найкраще застосовувати у тих маршрутних мережах, де розклад прибуття ГТ є передбачуваним, а тривалість їздки, посадки-висадки пасажирів та час відправлення ГТ є чітко прогнозованим. Також, при такому способі надання пріоритету важливо аналізувати умови руху загального ТП для уникнення утворення значних затримок у ньому.

Щодо методики впровадження пасивного пріоритету у випадках координації світлофорних сигналів, то автори [110–113] виділяють стратегію, названу MULTIBAND, а точніше її модифікацію – USBAND. Класична стратегія є СКР (рис. 2.6, а), в той час як модифікована включає тривалість простою ГТ на ЗП (рис. 2.6, б).



a)

Рис. 2.6. Порівняння стрічок часу у класичній моделі СКР MULTIBAND (а) та моделі USBAND, яка враховує тривалість простою ГТ на ЗП (б) [110]



б)

Продовження рис. 2.6

Метою моделі BUSBAND є максимізація сумарної зваженої стрічки часу для ГТ в обох напрямках, яка має наступний вираз [110–113]:

$$\max \sum_{i=1}^{n-1} \left( v_i^{ex.Bus} b_i^{ex.Bus} + v_i^{ex.Bus} b_i^{ex.Bus} \right), \quad (2.8)$$

де  $v_i^{ex.Bus}$  та  $v_i^{ex.Bus}$  – частота прибуття ГТ на перехрестя  $i$  у вхідному та вихідному напрямках моделі BUSBAND відповідно;

$b_i^{ex.Bus}$  та  $b_i^{ex.Bus}$  – ширина стрічки часу вхідної та вихідної смуг між перехрестями  $i$  та  $i+1$  (відносно тривалості СФЦ).

$n$  – кількість перехресть у системі.

Разом з тим, застосовується ряд обмежень [110–113]:

$$0,5b_i^{ex.Bus} \leq w_i^{ex.Bus} \leq 1 - r_i - 0,5b_i^{ex.Bus}, \quad (2.9)$$

$$0,5b_i^{ex.Bus} \leq w_{i+1}^{ex.Bus} \leq 1 - r_{i+1} - 0,5b_i^{ex.Bus}, \quad (2.10)$$

$$0,5b_i^{ex.Bus} \leq w_i^{ex.Bus} \leq 1 - r_i - 0,5b_i^{ex.Bus}, \quad (2.11)$$

$$0,5b_i^{ex.Bus} \leq w_{i+1}^{ex.Bus} \leq 1 - r_{i+1} - 0,5b_i^{ex.Bus}, \quad (2.12)$$

де  $w_i^{ex.Bus}$  – тривалість часу від лівого краю дозвільного сигналу до центру стрічки часу вхідної смуги, яка називається часом зсуву від початку ввімкнення дозвільного сигналу до центру стрічки (відносно тривалості СФЦ);

$w_i^{ex.Bus}$  – тривалість часу від центру стрічки часу вихідної смуги до правого краю дозвільного сигналу (відносно тривалості СФЦ);

$r_i$  – частка заборонного сигналу на перехресті  $i$  (відносно тривалості СФЦ).

Слід зазначити, що всі змінні в цій моделі є невід’ємними.

Враховуючи тривалість СФЦ, варто звернути увагу на те, що загальний час у дорозі для ГТ на маршруті з наявними ЗП складатиметься з часу в дорозі між СФО та тривалості простою ГТ на ЗП. Виходячи з цього, зсув у часі між сусідніми СФО можна виразити так [110–113]:

$$\phi_{i,i+1}^{ex.Bus} = \frac{r_i}{2} + w_i^{ex.Bus} + t_{i,i+1}^{ex.Bus} + dt_{i,i+1}^{ex.Bus} - \gamma_{i+1}^{ex.Bus} - w_{i+1}^{ex.Bus} - \frac{r_{i+1}}{2} \quad (2.13)$$

$$\phi_{i,i+1}^{ex.Bus} = \frac{r_i}{2} + w_i^{ex.Bus} + t_{i,i+1}^{ex.Bus} + dt_{i,i+1}^{ex.Bus} - \gamma_{i+1}^{ex.Bus} - w_{i+1}^{ex.Bus} - \frac{r_{i+1}}{2}, \quad (2.14)$$

де  $\phi_{i,i+1}^{ex.Bus}$  ( $\phi_{i,i+1}^{ex.Bus}$ ) – тривалість часу від центру заборонного сигналу на перехресті  $i$  до центру заборонного сигналу на перехресті  $i+1$  для вхідних (вихідних) потоків (відносно тривалості СФЦ);

$t_{i,i+1}^{ex.Bus}$  ( $t_{i,i+1}^{ex.Bus}$ ) – тривалість руху ГТ від перехрестя  $i$  до перехрестя  $i+1$  у вхідному (вихідному) напрямку (відносно тривалості СФЦ);

$dt_{i,i+1}^{ex.Bus}$  ( $dt_{i,i+1}^{ex.Bus}$ ) – тривалість простою ГТ на ЗП, який оцінюється на основі історичних (масив статистичних даних) відомостей (відносно тривалості СФЦ). Якщо між двома перехрестями немає ЗП ГТ, то  $dt_{i,i+1}^{ex.Bus}$  та  $dt_{i,i+1}^{ex.Bus}$  повинні дорівнювати нулю;

$\gamma_{i+1}^{ex.Bus}$  ( $\gamma_{i+1}^{mux.Bus}$ ) – початкова тривалість очікування в черзі для ГТ у вхідному (вихідному) напрямку (відносно тривалості СФЦ).

Виходячи з визначення зсуву між СФО, наведеного на рис. 2.6,б, можна виразити загальне обмеження кількості циклів наступним чином [110–113]:

$$m_{i,i+1}^{Bus} = \phi_{i,i+1}^{ex.Bus} + \phi_{i,i+1}^{mux.Bus} \quad (2.15)$$

де  $m_{i,i+1}^B$  – відповідна ціла змінна (тобто кількість циклів).

2.2.3. Методика врахування наповнення салону рухомого складу громадського транспорту під час надання йому пріоритету. Серед основних параметрів, які необхідно враховувати під час надання пріоритету ГТ, автори [101,103,104] виділяють такі:

- місцезнаходження рухомого складу ГТ відносно РП;
- фактична швидкість рухомого складу ГТ, який є у зоні дії детектора;
- інтенсивність руху ТП на підходах до РП;
- кількість пасажирів у салоні ГТ;
- часові параметри відхилення ГТ від встановленого графіка його руху;
- значення величини енергоспоживання рухомого складу ГТ;
- значення викидів шкідливих речовин рухомих складом ГТ;
- тривалість очікування ГТ на ЗП.

Надання пріоритету ГТ на основі кількості пасажирів у салоні є складним питанням, оскільки інколи ефективно не надавати пріоритету ГТ взагалі (коли салон практично порожній), або надати пріоритет іншому автобусу (трамваю, тролейбусу) на конфліктуючому напрямку, який (рухомий склад) більш завантажений.

У роботах [105–107] автори враховували величину затримки ГТ та кількість пасажирів у його салоні для можливості надання йому пріоритету на СФО. Затримки та наповненість салону рухомого складу ГТ були поділені на рівні. Залежно від цього, ГТ надавалася різна тривалість дозвільного сигналу

на світлофорі. Рівнів було 5 – А, В, С, D, Е, де А – найвищий рівень затримки (більше 420 с), Е – найнижчий рівень затримки (менше 59 с). Кожен з цих рівнів мав різні ступені наповненості салону – від 1 до 5, де 1 – найбільш заповнений салон (46 пасажирів і більше), 5 – найменш заповнений (5 пасажирів і менше). Таким чином, ця комбінація передбачає можливість надання 25 різних рівнів пріоритету. Якщо ж на різних підходах до одного СФО було два або більше автобуси, то пріоритет надавався тому, в кого вищий рівень затримки, або ж, якщо рівень затримки однаковий – у кого заповненіший салон. Автори зазначають, що числове значення визначення рівнів затримки та наповненості салонів ГТ можна змінювати, виходячи з чисельності парку рухомого складу та умов руху на різних маршрутних мережах, де може бути застосований такий спосіб надання пріоритету. Тут також зазначається, що найкращого результату можна досягти, якщо влаштувати пріоритет на всій маршрутній мережі ГТ (мережевий підхід).

Автори [114–117] пропонують метод, який враховує розклад руху ГТ та кількість пасажирів на його борту. При цьому, у дослідженнях пріоритет ГТ надається лише у тому випадку, коли перевага від нього буде вищою, ніж негативні наслідки від затримок на другорядних напрямках. Коли ГТ порожній, або в ньому знаходиться мала кількість пасажирів, то надання пріоритету є недоцільним, оскільки затримка на одного пасажирів може бути більшою на другорядному напрямку.

Першою метою запропонованого методу є мінімізація середньої затримки з розрахунку на одну особу на перехресті. Математична модель цього методу описана рівняннями (2.16) – (2.20) [114]:

$$\psi = \min \left[ \sum (D_{T3} \cdot NP_{T3}) + \sum (D_{IT} \cdot NP_{IT}) \right], \quad (2.16)$$

за умов:

$$t_{o_{\min}} < t_{o_{\Gamma T}} < t_{o_{\max}}, \quad (26)$$

$$D_{T3} = d_{T\Pi} \cdot t_{\text{заб}}, \quad (27)$$

$$D_{\Gamma T} = \alpha \cdot d_{\Gamma T_{\text{др}}} \cdot t_{\text{заб}_{\Gamma T}}, \quad (28)$$

$$d_{T\Pi} = d_1 + d_2 + d_3, \quad (29)$$

де  $D_{T3}$  – затримка легкового ТЗ, с;

$NP_{T3}$  – кількість пасажирів у легковому ТЗ;

$D_{\Gamma T}$  – затримка ГТ у СФЦ на напрямку, де забезпечується часовий пріоритет, с;

$NP_{\Gamma T}$  – кількість пасажирів на борту ГТ на напрямку, де забезпечується часовий пріоритет;

$t_{o_{\min}}$  – мінімальна тривалість дозвільного сигналу, с;

$t_{o_{\max}}$  – максимальна тривалість дозвільного сигналу, с;

$t_{o_{\Gamma T}}$  – тривалість дозвільного сигналу за умови забезпечення часового пріоритету для ГТ, с;

$d_{T\Pi}$  – загальна затримка ТП, с;

$d_{\Gamma T_{\text{др}}}$  – затримка ГТ у СФЦ на другорядному напрямку, с;

$t_{\text{заб}_{\Gamma T}}$  – тривалість заборонного сигналу за умови забезпечення часового пріоритету для ГТ, с;

$d_1$  – середня затримка одного ТЗ за умови рівномірного прибуття до стоп-лінії, с;

$d_2$  – середня затримка одного ТЗ за умови випадкового (стохастичного) прибуття до стоп-лінії, с;

$d_3$  – середня затримка для ТЗ, які не встигли перетнути стоп-лінію у попередньому СФЦ, с.

Під час розрахунку затримки для ГТ використовується коефіцієнт  $\alpha$ , який враховує відставання ГТ від графіка руху. Відповідно, якщо ГТ рухається

за розкладом,  $\alpha$  становитиме 1, якщо затримка ГТ відносно графіка руху є меншою за 10 хв, то  $\alpha = 1,5$ , якщо більше, ніж на 10 хвилин, то  $\alpha = 2,0$ .

Важливим моментом для роботи запропонованого методу є визначення загальної затримки на перехресті. Її подано у вигляді рівнянь (2.21) – (2.23), де через  $\sum$  ми позначаємо всі ТЗ в кожному циклі для кожного перехрестя [114].

$$D_i = D_z + D_{\partial p}, \quad (2.21)$$

$$D_z = \left[ \sum (D_{T3} \cdot NP_{T3}) + \sum (D_{ГТ} \cdot NP_{ГТ}) \right], \quad (2.22)$$

$$D_{\partial p} = \sum D_{T3_{\partial p}} \cdot NP_{T3_{\partial p}}, \quad (2.23)$$

де  $D_i$  – загальна затримка на перехресті, с;

$D_z$  – затримка на головному напрямку, с;

$D_{\partial p}$  – затримка на другорядному напрямку, с;

$D_{T3_{\partial p}}$  – затримка на один автомобіль на другорядному напрямку, с;

$NP_{T3_{\partial p}}$  – кількість пасажирів на другорядному напрямку.

Якщо рівняння (2.22) та (2.23) будуть тотожними, це означатиме, що затримка на перехресті розподілена рівномірно. Тоді можна враховувати недотримання графіка руху ГТ.

У випадку ГТ, який прибув за розкладом, рівняння (2.22) та (2.23) вказують мінімальну кількість пасажирів, які отримають пріоритет ( $NP_{ГТ_{\min}}$ ). Це значення можна розрахувати так [114]:

$$NP_{ГТ_{\min}} = \frac{\left( \sum D_{T3_{\partial p}} \cdot NP_{T3_{\partial p}} \right) - \sum (D_{T3} \cdot NP_{T3})}{\sum D_{T3_{\partial p}}}, \quad (2.24)$$

де  $NP_{ГТ_{\min}}$  – мінімальна необхідна кількість пасажирів на борту для отримання пріоритету у випадку, якщо ГТ відстає від графіку руху.

За умови, коли ГТ відстає від графіка руху, то для розрахунку затримки необхідно враховувати тривалість очікування пасажирів на наступному ЗП. Виходячи з цього, рівняння затримки для другорядного напрямку можна записати так [114]:

$$D_{\partial p_{oc}} = \sum D_{T3_{\partial p}} \cdot NP_{T3_{\partial p}} + N_{n_{oc}} T_{oc}, \quad (2.25)$$

де  $D_{\partial p_{oc}}$  – затримка на другорядному напрямку із урахуванням тривалості очікування пасажирів ГТ, с;

$N_{n_{oc}}$  – кількість пасажирів, які очікують на ЗП ГТ за перехрестям;

$T_{oc}$  – різниця в часі між планованим та фактичним розкладами, с.

З урахуванням тривалості очікування пасажирів, визначеного з рівності (2.25), рівність (2.24) набуде такого вигляду [114]:

$$NP'_{GT_{\min}} = \frac{\left( \sum D_{T3_{\partial p}} \cdot NP_{T3_{\partial p}} + N_{n_{oc}} T_{oc} \right) - \sum (D_{T3} \cdot NP_{T3})}{\sum D_{T3_{\partial p}}}. \quad (2.26)$$

Також автори [114–117] подають іншу модель, якою описується мінімізація загальної затримки, спричинена режимом роботи світлофорної сигналізації. Ця модель передбачає, що загальна затримка на одну особу мінімізується шляхом зважування затримок для приватних ТЗ і ГТ відповідно до їхньої кількості пасажирів. Затримки в графіку руху ГТ – це тривалість відставання ГТ від цього графіку в умовах прибуття на певне перехрестя. Як наслідок, ГТ, який відстає від графіку або перевозить більше пасажирів, отримує вищий пріоритет, ніж інші. Отже, вищий пріоритет надається ГТ, який має триваліше відставання від графіка руху або перевозить більше пасажирів, ніж інші.

У моделі припускається, що інформація про прибуття ТЗ, інтенсивність руху загального ТП, пасажиропотік та ПЗ перехрестя є постійно доступною. Припускається також, що протягом аналізованого періоду прибуття ТЗ є детермінованим, а всі РП мають постійну тривалість СФЦ (діють у жорсткому режимі регулювання). Крім того, послідовність і тривалість фаз у СФЦ є наперед визначеними і фіксованими. Також припускається, що ПЗ кожного підходу до перехрестя є фіксованою, дорожні умови не впливають на ПЗ кожного підходу до перехрестя, а це означає, що потік насичення для кожної групи смуг залишатиметься постійним. У рамках алгоритму залишкові черги розглядаються на РП, коли є щонайменше дві смуги для руху в одному напрямку. Іншими словами, наведені нижче рівняння застосовуються до підходу  $j$ , який може обслуговуватися фазою  $i$  на РП і ТЗ яких прибувають з інтенсивністю  $N_{j_{np}}$  за час  $T$  і обслуговуються з інтенсивністю  $N_j$  протягом циклу. Вважається, що ГТ прибуває на РП в режимі реального часу, а також, що він рухається смугами зі змішаним рухом. Метою цього сценарію є пошук оптимальної кількості пасажирів в рухомому складі на основі виразів (2.27) та (2.17) [114]:

$$\min \left[ \sum_{v=1}^V OCC_{TЗ} d_{TЗ} + \sum_{b=1}^B OCC_{ГТ} d_{ГТ} \right], \quad (2.27)$$

де  $OCC_{TЗ}$  – кількість пасажирів в салоні приватних ТЗ;

$d_{TЗ}$  – затримка ТЗ, пов'язана із СФР, с;

$OCC_{ГТ}$  – кількість пасажирів на борту ГТ;

$d_{ГТ}$  – затримка ГТ, пов'язана із СФР, с.

Затримка осіб на основі приватних ТЗ є сумою двох членів цільової функції:

1) затримка, яку мають ТЗ на РП протягом поточного циклу,  $T$ ; 2) оціночна затримка для тих, хто буде обслуговуватися протягом циклу  $T + 1$ .

Автор [118] запропонував три критерії для визначення доцільності виділення смуг для руху ГТ та надання пріоритету в СКР, серед яких:

- у одному напрямку має бути не менше трьох смуг руху;
- кількість пасажирів, які проїжджатимуть у ГТ виділеними смугами має бути не меншою за граничну;
- значення коефіцієнта завантаження дороги рухом на смугах для руху загального ТП має бути не меншим за 0,75.

Щодо другого критерію, то його можна записати таким чином [118]:

$$NP_{ГТ} \geq NP_{ТЗ} \text{ при } NP_{ТЗ} \in W, \quad (2.28)$$

де  $W$  – оптимальні умови стану системи «транспортні потоки – дорожні умови».

Розрахунок кількості пасажирів для ділянок безперервного руху та регульованого руху розраховують [118]:

- для ділянки безперервного руху:

$$N_{ГТ} \cdot q_n \geq P_{ТП} \cdot z_{онм} \cdot \gamma \cdot y \quad (2.29)$$

- для ділянки регульованого руху:

$$N_{ГТ} \cdot q_n \geq \sum_{i=1}^k P_{ТП_0} \cdot z_{онм} \cdot y \cdot \rho \quad (2.30)$$

де  $N_{ГТ}$  – інтенсивність руху потоку ГТ, якому надаватиметься пріоритет, на певній ділянці мережі, відповідно до кількості пасажирів на маршруті, од/год.

$q_n$  – пасажиромісткість ГТ на ділянці мережі, пас.;

$y$  – середній показник наповнення ТЗ у загальному ТП (приймається в межах 1,2 – 2,2);

$P_{ТП}$  – пропускна здатність  $k$ -ї смуги руху для загального ТП, од/год;

$z_{онм}$  – значення оптимального коефіцієнта завантаження дороги рухом (приймається в межах 0,5 – 0,65);

$\gamma$  – коефіцієнт, який враховує кількість смуг руху і залежить від їх кількості для загального ТП та виділених смуг для ГТ в одному напрямку;

$P_{ТП_0}$  – ПЗ однієї смуги для руху загального ТП на підході до  $n$ -го СФО на ділянці мережі;

$k$  – кількість смуг для руху загального ТП в одному напрямку на підході до  $n$ -го СФО (якщо  $k > 2$ , тоді до уваги необхідно брати ПЗ двох смуг з найбільшими їх значеннями);

$\rho$  – значення оптимального ступеня насичення руху на підході до СФО (має становити близько 0,95).

Підсумовуючи, усі моделі, якими описується прибуття загального ТП та окремо ГТ до РП у СКР за різного способу надання пріоритету, враховують такі основні показники: частоту прибуття ГТ; ширину стрічки часу у СКР; кількість пасажирів, які обслуговуються на ділянці ВДМ (маршрутної мережі); інтенсивність руху загального ТП; розташування ЗП; часові параметри СФР тощо.

### 2.3. Висновки з розділу

1. Забезпечення стійкості груп транспортних засобів під час їх проїзду між стоп-лініями регульованих перехресть в системах координованого регулювання в основному визначається складом потоку, кількістю смуг руху на прогоні та відстанню між цим стоп-лініями. Найбільш сталий рух групи транспортних засобів забезпечується на прогонах з довжиною до 600 м для двосмугових напрямків, 100 – 300 м для трисмугових, що пов'язано з маневрами зміни смуги руху. Критичним, з погляду забезпечення стійкості груп, є прогони довжиною понад 800 м та частка прямих потоків на координованому напрямку менша за 70%.

2. Забезпечення часового пріоритету для громадського транспорту в основному відбувається двома способами – збільшення тривалості дозвільного сигналу для забезпечення проїзду рухомого складу або виклику «резервної» фази (такту) у циклі регулювання. Застосування одного з цих

способів обґрунтовується чисельністю пасажирів в салоні рухомого складу та необхідністю дотримання графіків руху. У системах координованого регулювання важливо поєднувати часовий пріоритет з одночасним забезпеченням просторового пріоритету (облаштування виділених смуг для руху громадського транспорту).

3. Виклик «резервної» фази (такту) має відбуватись у проміжку часу, який включає тривалість безпечного виконання маневрів транспортних потоків та/або пішоходів на конфліктуючому напрямку, а також тривалість екіпажного часу (враховує відстань детектора до стоп-ліній на напрямку координації та швидкість руху громадського транспорту).

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ УЧАСНИКІВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ЗА РІЗНИХ РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

#### 3.1. Методика та результати експериментального дослідження показників пасажирського потоку на маршрутній мережі

Як відзначалось у розділах 1 та 2, одним із найважливіших показників, а також критерієм надання просторового та/або часового пріоритету для ГТ є величина пасажирського потоку на маршрутах. Для отримання такої інформації проведені комплексні масові транспортні дослідження на маршрутній мережі м. Львова.

Маршрутна мережа у м. Львова складається з таких маршрутів ГТ:

- восьми трамвайних (№1, №2, №3, №4, №6, №7, №8, №9);
- десяти тролейбусних (№22, №23, №24, №25, №27, №30, №31, №32, №33, №38);
- п'ятдесяти трьох автобусних маршрутів, з яких:
  - дев'ятнадцять маршрутів, які обслуговуються автобусами великої та середньої місткості (№1А, №3А, №5А, №6А, №8А, №9, №10, №16, №18, №29, №40, №46, №47А, №48, №49А, №52, №53, №61, №92);
  - тридцять чотири маршрути, які обслуговуються автобусами малої місткості (№7, №11, №12, №13, №14, №15, №17, №19, №20, №21, №22, №23, №25, №27, №30, №31, №32, №34, №37, №39, №39А, №41, №43, №45, №51, №55, №56, №57, №58, №59, №60, №62, №63, №84).

Також, цією маршрутною мережею частково, а іноді і на всій протяжності ВДМ, здійснюють рух маршрути у приміського сполучення (за результатами аналізу інформаційного ресурсу «EasyWay» – понад 400 одиниць).

Львівською міською радою, як замовником перевезень, визначено, що оплата за проїзд (в тому числі реєстрація пільгового проїзду) на маршрутах ГТ здійснюється такими способами:

- готівкова оплата (безпосередньо у водія зі збільшеним тарифом);
- електронна з використанням спеціалізованої системи АСОП (автоматизована система оплати проїзду) (картка «Леокарт»; банківська картка; пристрій, який підтримує NFC оплату; з використанням QR-коду у мобільному додатку «Леокарт»);
- електронна з використанням мобільних додатків «Приват 24» та «EasyPay» (лише на трамвайних та тролейбусних маршрутах);
- з використанням довготермінових абонементів (лише на трамвайних та тролейбусних маршрутах).

Також слід відзначити, що під час оплати за проїзд картками «Леокарт», у ГТ м. Львова функціонує безоплатна пересадка, якою передбачено, що всі поїздки в міському ГТ, які зареєстровані в межах 40 хвилин, відбуваються шляхом стягуватися лише однієї оплати.

Таким чином, дослідженнями охоплено 100% автобусних та тролейбусних маршрутів ГТ на маршрутній мережі м. Львова. Трамвайні маршрути не розглядалися, оскільки завданням цього дисертаційного дослідження не передбачено часового та/або просторового пріоритету у СКР для цього виду ГТ.

На початковому етапі цих досліджень було поставлено такі завдання:

1. Вимірювання показників пасажирського потоку у салонах ТЗ ГТ з метою визначення: кількість пасажирів за рейс; статичний коефіцієнт використання пасажиромісткості; коефіцієнт змінності.

2. Документальне опрацювання результатів обстежень, отриманих із спеціалізованої системи АСОП, щодо кількості реєстрацій проїзду (оплата «Леокарт», оплата банківськими картками, оплата готівкою (разовий паперовий квиток), оплата у мобільних додатках «Приват 24» та «EasyPay»

(для тролейбусних маршрутів)), надану Львівським комунальним підприємством «Львівавтодор»;

3. Порівняння результатів експериментальних вимірювань та документального опрацювання з метою встановлення закономірностей зміни величини пасажирського потоку.

Вимірювання проводилися на кожному із зазначених маршрутів (окрім трамвайних) протягом трьох періодів за день: ранковий піковий період, міжпіковий період та вечірній піковий період.

Під час вимірювання пасажиропотоку у салонах автобусів та тролейбусів обліковці мали проїхати повний оборотний рейс та зафіксувати: номер маршруту; державний (бортовий) номер ТЗ; фактичний час відправлення з кінцевих ЗП; кількість пасажирів, які заходять та виходять на проміжних ЗП; тривалість простою на ЗП, пов'язану з посадкою/висадкою пасажирів.

Під час вимірювання пасажиропотоків неврахованими були пасажирів, які користувалися паперовими абонементом у тролейбусах, а також деякі пільгові категорії (учасники бойових дій), які за рішенням органу громадського самоврядування можуть не використовувати «Леокарт» та/або не валідувати її.

Розглянемо також деякі ситуації, які могли мати незначний вплив на точність результатів вимірювань (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Характеристика ситуацій, які виникали під час вимірювань пасажирських потоків

| Ситуація                   | Опис ситуації                                                       |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Невиконання рейсу          | 1) водії не доїжджали до кінцевих ЗП і передчасно з'їжджали з рейсу |
|                            | 2) рейс взагалі не відбувся                                         |
|                            | 3) рейс завершувався передчасно з причини поломки ТЗ                |
| Проблеми з оплатою проїзду | 1) один з валідаторів у салоні ТЗ не працював                       |
|                            | 2) водії перезавантажували валідатори під час здійснення рейсу      |

У таблиці 3.2 подано кількість таких ситуацій за кожною із категорій, наведених у таблиці 3.1.

Таблиця 3.2

Кількість зафіксованих ситуацій під час виконання рейсів

| Вид транспорту                    | Невиконання рейсу |     |      | Проблеми з оплатою проїзду |      |
|-----------------------------------|-------------------|-----|------|----------------------------|------|
|                                   | 1                 | 2   | 3    | 1                          | 2    |
| тролейбус                         | 1                 | 0   | 1    | 1                          | 2    |
| автобус малої місткості           | 3                 | 10  | 0    | 1                          | 0    |
| автобус великої місткості         | 0                 | 0   | 0    | 1                          | 0    |
| Всього                            | 4                 | 10  | 3    | 4                          | 2    |
| % від загальної кількості поїздок | 0,96              | 2,4 | 0,72 | 0,96                       | 0,48 |

Найбільше значення (2,4%) зафіксовано на маршрутах, які обслуговуються автобусами малої місткості.

За результатами цих вимірювань визначено кількість пасажирів за рейс, які фактично перебували у салоні рухомого складу, та кількість пасажирів за рейс за кількістю оплат (усі способи); максимальна та середня кількість пасажирів за рейс; статичний коефіцієнт пасажиромісткості; коефіцієнт змінності; додаткові відомості про рейс (час відправлення та прибуття, номер борта, номінальна пасажиромісткість ТЗ тощо). Узагальнене їх представлення для кожного типу ТЗ ГТ наведено у таблицях А1 – А3 Додатку А.

Проаналізуємо тенденції зміни максимальної кількості пасажирів на маршрутах кожного виду ГТ та статичного коефіцієнта використання пасажиромісткості, виходячи з даних цих таблиць. Максимальна кількість пасажирів на борту рухомого складу ГТ, як відзначалось у розділі 2, є одним з основних критеріїв, які обґрунтовують доцільність або недоцільність надання активного часового пріоритету під час проїзду РП. Поряд з цим, максимальна кількість на борту є неоднакова для різних ділянок маршрутної мережі, а також не повністю відображає показники комфортності руху, оскільки можемо, до прикладу, мати максимальну кількість пасажирів 40 пасажирів за пасажиромісткості ТЗ ГТ 105 пасажирів (тролейбуси або автобуси великої

вмістимості), або таку ж кількість пасажирів за пасажиромісткістю 40 пасажирів (автобуси малої вмістимості). Виходячи з цього, важливо також мати інформацію про статичний коефіцієнт використання пасажиромісткості. Ґрунтуючись на цих основних чинниках, а також, враховуючи вплив ряду другорядних чинників (погодні умови, технічний стан ТЗ тощо), визначається рівень привабливості ГТ, що особливо важливо в умовах пріоритизації, коли місто прагне зменшити навантаження від приватного моторизованого транспорту.

Розглянемо тенденції зміни максимальної кількості пасажирів на борту тролейбусів (рис. 3.1), автобусів великої пасажиромісткості (рис. 3.2) та автобусів малої пасажиромісткості (рис. 3.3), які отримано за результатами вимірювання пасажирських потоків. Для тролейбусів рідко спостерігається використання пасажиромісткості більше 40 % (пасажиромісткість – 105 пасажирів), у порівнянні зі значеннями цього показника для автобусів великої та малої вмістимості – 60-80%.

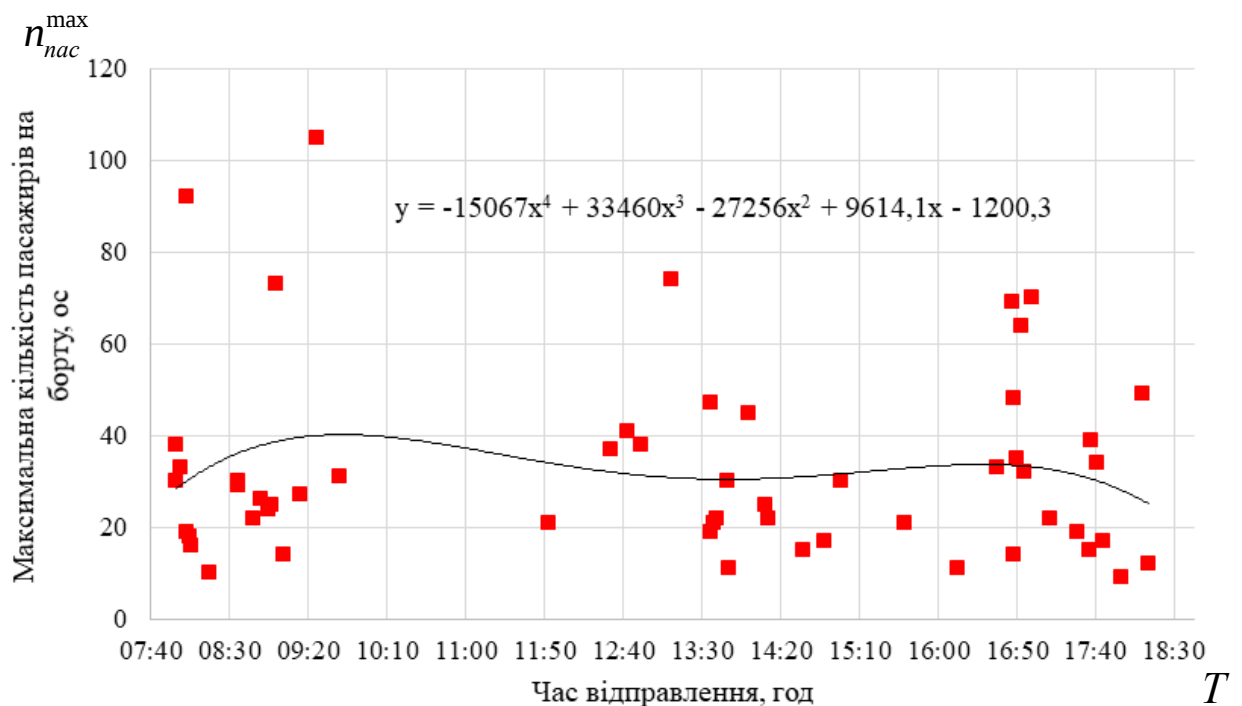


Рис. 3.1. Зміна максимальної кількості пасажирів у салонах тролейбусів протягом дня за результатами експериментальних вимірювань

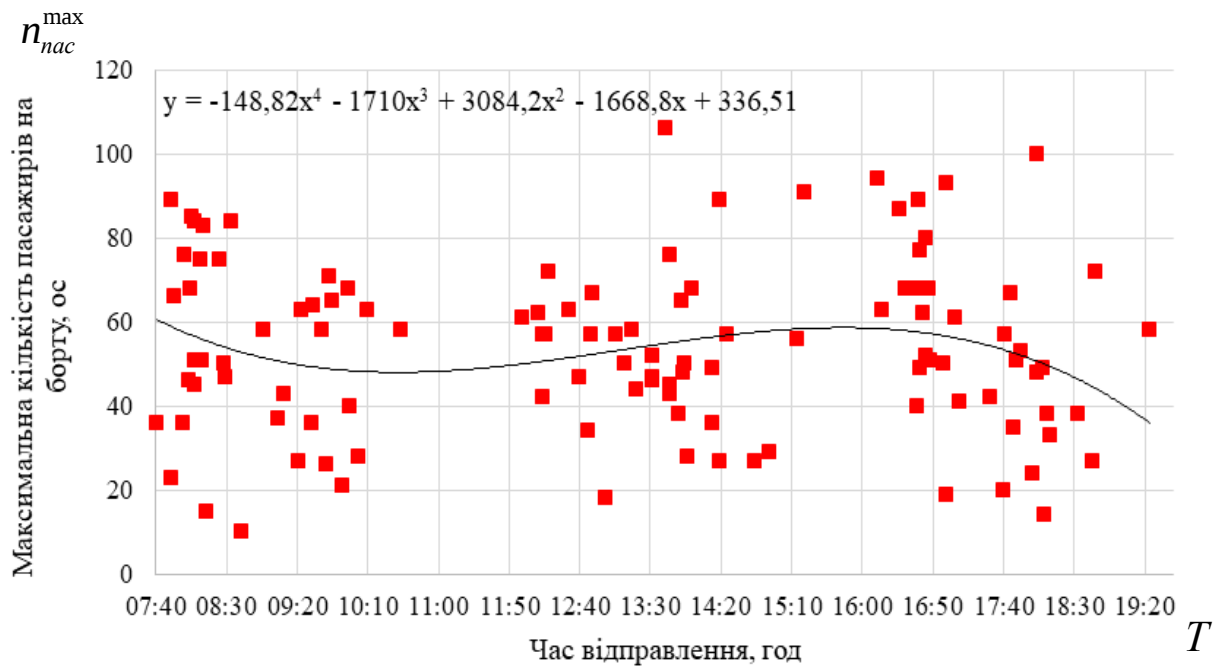


Рис. 3.2. Зміна максимальної кількості пасажирів у салонах автобусів великої вмістимості протягом дня за результатами експериментальних вимірювань

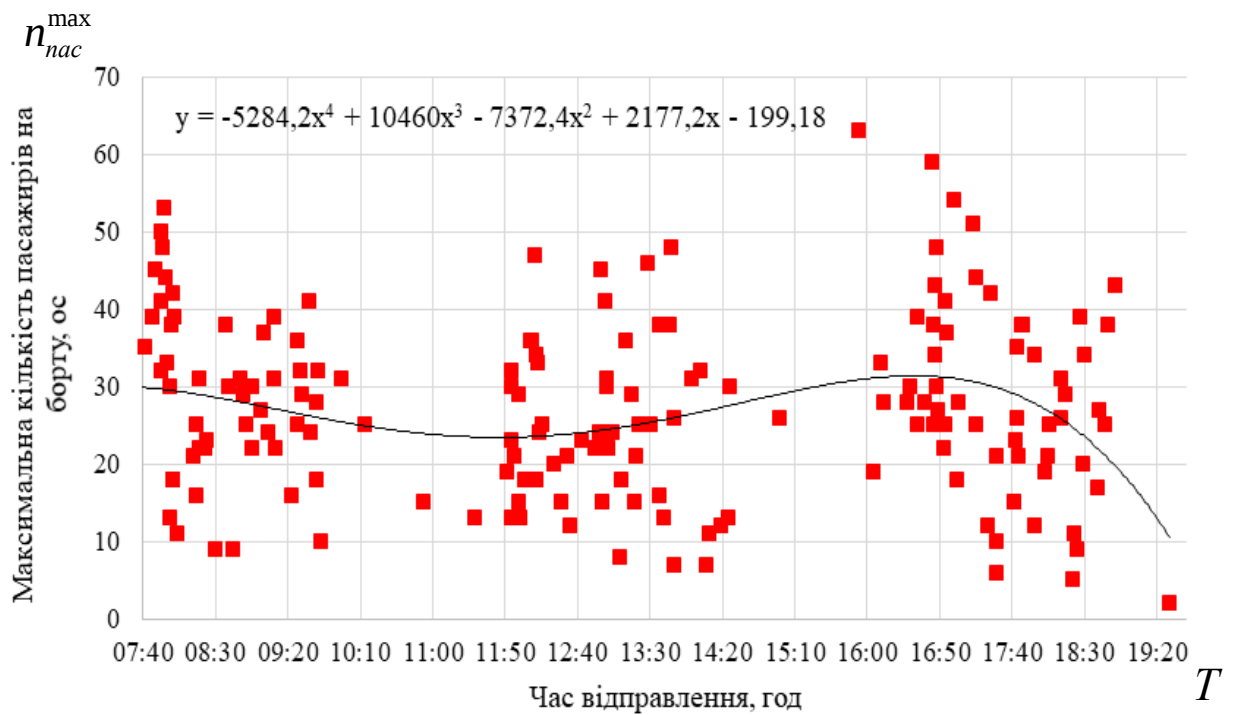


Рис. 3.3. Зміна максимальної кількості пасажирів у салонах автобусів малої вмістимості протягом дня за результатами експериментальних вимірювань

Аналогічні залежності для тролейбусів (рис. 3.4), автобусів великої пасажиромісткості (рис. 3.5) та автобусів малої пасажиромісткості (рис. 3.6)

отримано для статичного коефіцієнта використання пасажиромісткості, який визначається як відношення середнього наповнення ТЗ ГТ на ділянці маршрутної мережі з найбільшою кількістю пасажирів за рейс до номінальної пасажиромісткості ТЗ ГТ. Оскільки на маршрутній мережі м. Львова парк автобусів великої місткості представлений різними типами ТЗ, то для спрощення проміжних розрахунків номінальна пасажиромісткість автобусів великої вмістимості прийнята рівною 100 пасажирів, а автобусів малої вмістимості – 40 пасажирів.

Зміна цього коефіцієнта відображає тенденції, характерні для рис. 3.1 – 3.3, оскільки ці показники є взаємопов'язаними. У розділі 2 відзначалося також, що значення статичного коефіцієнта використання пасажиромісткості є підставою надання пріоритету (продовження дії дозвільного сигналу або виклик додаткової фази) у випадку зустрічі ТЗ ГТ на конфліктуючих напрямках. До того ж, слід зважати і на те, що порівняння кількості пасажирів у салонах ТЗ ГТ та салонах приватних легкових автомобілів також є критерієм оцінювання якості транспортного обслуговування, виходячи із затримки руху перед РП, яка припадає на одного користувача транспортної мережі.

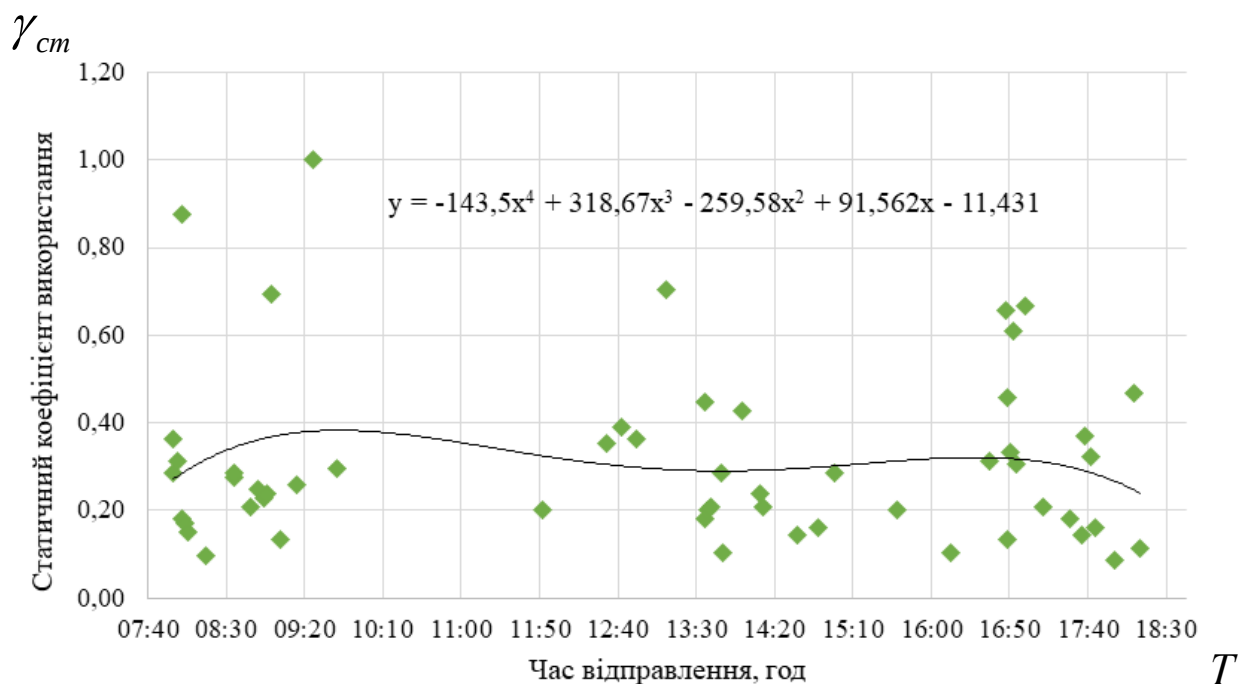


Рис. 3.4. Зміна статичного коефіцієнта використання пасажиромісткості тролейбусів протягом дня за результатами експериментальних вимірювань

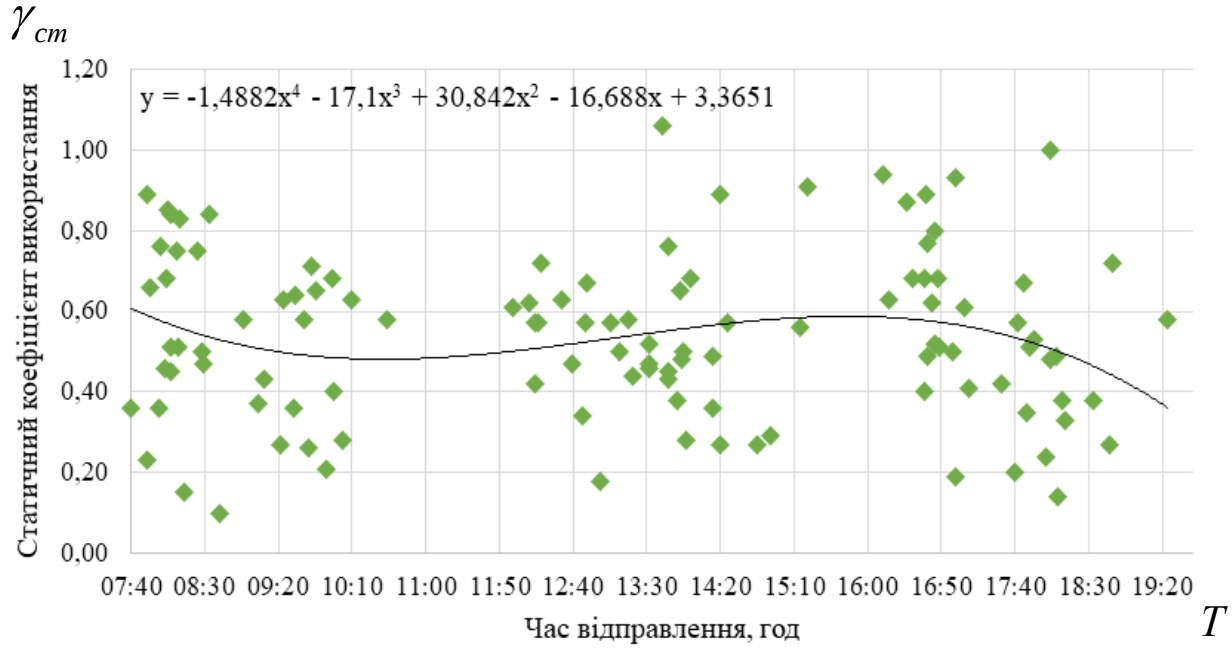


Рис. 3.5. Зміна статичного коефіцієнта використання пасажиромісткості автобусів великої вмістимості протягом дня за результатами експериментальних вимірювань

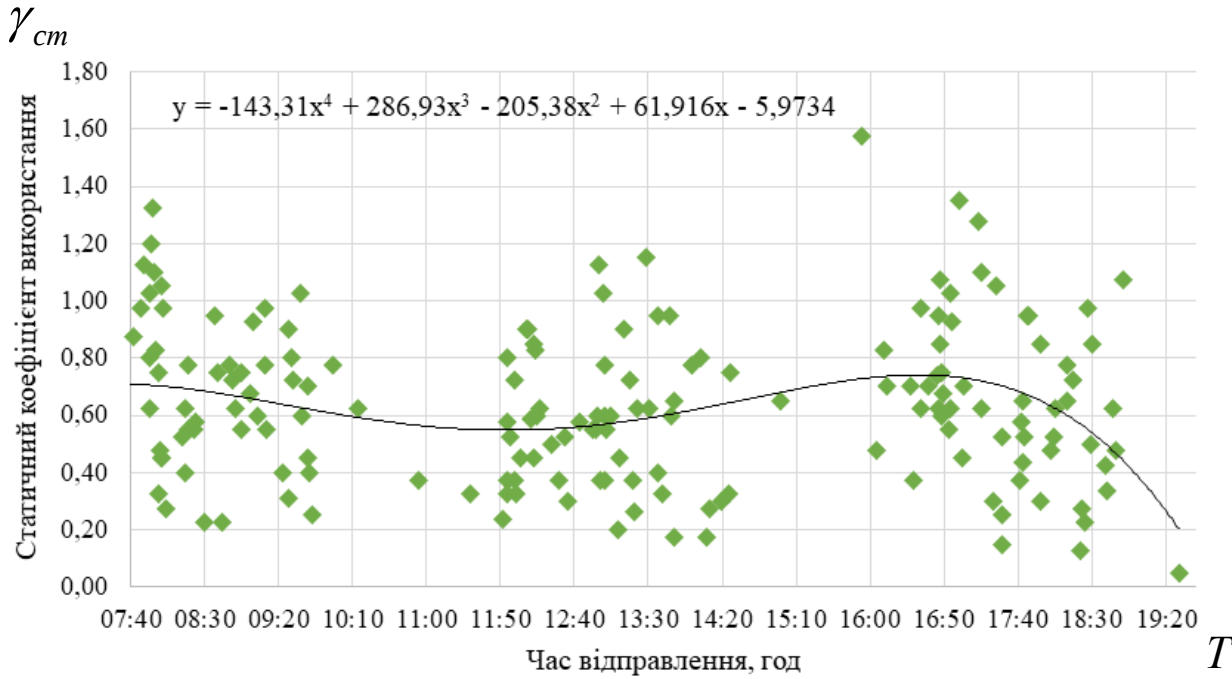


Рис. 3.6. Зміна статичного коефіцієнта використання пасажиромісткості автобусів малої вмістимості протягом дня за результатами експериментальних вимірювань

Отримані значення коефіцієнта використання пасажиромісткості для тролейбусних маршрутів варіюється від 0,1 до 0,8, для автобусних маршрутів – від 0,1 до 1,0 залежно від часу роботи маршруту та розміщення транспортного району відносно території міста. Середнє значення для системи громадського транспорту Львівської міської територіальної громади становить 0,45 (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

## Заповнення транспортного засобу

| Вид транспорту              | Заповнення транспортного засобу |                  |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------|
|                             | Діапазон зміни                  | Середнє значення |
| тролейбус                   | 0,1-0,7                         | 0,29             |
| автобус малої місткості     | 0,1-1,2                         | 0,57             |
| автобус великої місткості   | 0,1-0,9                         | 0,51             |
| Середнє значення для мережі |                                 | 0,45             |

Наявність значень заповнення транспортного засобу понад 1,0 може бути зумовлено тим, що фактична місткість конкретного типу ТЗ, у якому проводились вимірювання, відрізнялась від прийнятої для розрахунків місткості для відповідного виду транспорту.

Слід зазначити, що ці значення є оцінкою на підставі обстеження у пікові години (ранковий та вечірній пікові періоди) та в міжпіковий період. Фактичне середньоденне значення (протягом всього часу роботи маршруту) може бути нижчим, з урахуванням низького заповнення рейсів до ранкового та після вечірнього пікових періодів, проте в межах цього дисертаційного дослідження такими відомостями можна знехтувати, оскільки в цей час визначення ефекту від впровадження часових та просторових пріоритетів для ГТ є недоцільним через відсутність заторів.

Додатковим індикатором оцінювання показників пасажирських потоків на маршрутній мережі м. Львова було визначення коефіцієнта змінюваності пасажирів, який визначається як відношення загальної кількості пасажирів, перевезених за рейс (за результатами натурних досліджень), до максимальної

одночасної кількості пасажирів у салоні ТЗ ГТ, зафіксованої за час досліджень (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

| Коефіцієнт змінюваності пасажирів |                                   |                  |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Вид транспорту                    | Коефіцієнт змінюваності пасажирів |                  |
|                                   | Діапазон зміни                    | Середнє значення |
| тролейбус                         | 1,2-2,2                           | 1,67             |
| автобус малої місткості           | 1,0-3,2                           | 1,86             |
| автобус великої місткості         | 1,1-3,0                           | 1,90             |
| Середнє значення для мережі       |                                   | 1,82             |

Коефіцієнт змінюваності пасажирів для тролейбусних маршрутів варіюється для більшості досліджуваних рейсів від 1,2 до 2,2, для автобусних маршрутів – від 1,0 до 3,0. Середнє значення для системи громадського транспорту Львівської міської територіальної громади становить 1,82. Звідси можна стверджувати, що середні значення для різних видів ГТ є близькі між собою, а значний діапазон розкиду може бути зумовлений особливостями маршрутів. Сюди також слід додати, що окрім п'яти автобусних радіальних маршрутів, всі інші проходять діагонально практично всією територією міста.

Враховуючи радіально-кільцеву конфігурацію ВДМ у м. Львові та специфіку прокладання маршрутної мережі, притаманну такій конфігурації, можемо стверджувати, що результати експериментальних вимірювань показників пасажирського потоку є валідними для всіх типів магістральних ділянок ВДМ.

### 3.2. Дослідження тривалості обслуговування рухомого складу громадського транспорту на зупинкових пунктах

3.2.1. Ситуаційний аналіз виникнення затримки, пов'язаної зі способом облаштування зупинкових пунктів. Незважаючи на чинні нормативи та регламенти, розташування ЗП відносно РП має різний вплив на формування затримок у ТП, проектування пофазного роз'їзду з урахуванням забезпечення

потреб пішоходів, безпеку руху в зоні впливу РП, а також застосування різних технологій забезпечення пріоритету ГТ шляхом автоматичного визначення його місця знаходження на ділянці ВДМ тощо. Усе перелічене дозволяє збільшити середню технічну швидкість ГТ та покращити точність планування його графіків руху.

На магістральних ділянках ВДМ (мінімум дві смуги руху в одному напрямку) в зоні дії РП можуть відбуватись такі дорожньо-транспортні ситуації формування затримок в русі ТП, спричинені розташуванням ЗП перед РП:

– *ситуація 1:* ЗП розміщений без заїзної кишені, без виділеної смуги – під час зупинки ТЗ ГТ з метою посадки-висадки пасажирів за ним формується черга з інших ТЗ, в тому числі, які в подальшому виконуватимуть маневр правого повороту. Основний недолік на РП – неефективне використання фази регулювання. Виникнення додаткової затримки руху для ТЗ ГТ та інших УДР, спричиненої світлофорною сигналізацією;

– *ситуація 2:* ЗП розміщений без заїзної кишені, з виділеною смугою – затримка формується у виділеній смузі для ТЗ ГТ, оскільки в час ввімкнення дозвільного сигналу відбувається посадка-висадка пасажирів. Сумарна затримка для ТЗ ГТ спричинена тривалістю посадки-висадки пасажирів та часовими параметрами СФЦ. Для загального ТП затримка пов'язана з інтенсивністю руху, а також часовими параметрами СФЦ;

– *ситуація 3:* ЗП розміщений у заїзній кишені, без виділеної смуги – ТЗ ГТ прибуває до заїзної кишені ЗП, проте вона зайнята іншими ТЗ ГТ, які здійснюють посадку-висадку пасажирів, через що вони змушені простоювати в черзі перед ЗП, очікуючи заїзду до нього. У цій ситуації сумарна затримка ТЗ ГТ перед РП включатиме: тривалість заїзду на ЗП; тривалість обслуговування ТЗ ГТ на ЗП; часові параметри СФЦ. Тут додаткова затримка може виникати у ситуації, коли ТЗ ГТ завершив обслуговування на ЗП, проте виїзд із нього заблоковано іншими УДР. Для інших УДР сумарна затримка

включатиме: вплив інтенсивності руху; вплив затримки ТЗ ГТ; часові параметри СФЦ;

– *ситуація 4*: ЗП розміщений у заїзній кишені, із виділеною смугою – затримка формуватиметься виключно для ТЗ ГТ під впливом інших ТЗ ГТ, тривалістю обслуговування на ЗП та часовими параметрами СФЦ;

У разі розміщення ЗП після проїзду РП ризик виникнення затримки є у таких випадках:

– кількість смуг для загального ТП на підході до перехрестя дорівнює кількості смуг для загального ТП на виході з нього, тоді ТЗ ГТ, який проводить посадку-висадку пасажирів може спричинити чергу, яка заблокує перехрестя;

– на виділених смугах для ГТ є велика інтенсивність руху цього виду транспорту, який, за умови одночасного прибуття на ЗП, може спричинити аналогічну ситуацію.

В інших випадках ризику виникнення затримки немає.

У всіх перелічених ситуаціях враховується таке:

– часові показники: тривалість посадки-висадки пасажирів; співвідношення між тривалістю дозвільного та заборонного сигналів світлофора на напрямку;

– показники ТП: інтенсивність руху; склад ТП;

– планувальні показники: кількість смуг руху; спеціалізація смуг руху.

3.2.2. Дослідження тривалості проїзду регульованих перехресть залежно від способу облаштування зупинкових пунктів. Наведемо результати досліджень витрат часу на проїзд РП ГТ в умовах координованого управління рухом з урахуванням показників ТП та способу облаштування ЗП на двосмугових вулицях.

Вибір РП відбувався за такими критеріями:

1. На підході до РП має бути дві смуги руху на досліджуваному напрямку, причому на перехрестях умовного типу I смуги спеціалізуються за прикладом, наведеним на рис. 3.7, а, а на перехрестях умовного типу II крайня права смуга призначена для руху виключно ГТ (рис. 3.7, б).

2. Перед стоп-лінією на напрямку руху під час дії заборонного сигналу світлофора має накопичуватись черга ТЗ такої довжини, щоб під час її роз'їзду досягалось повне насичення у фазі регулювання.

3. У складі ТП не має бути великогабаритних вантажних автомобілів, а частка легкових автомобілів у ньому має становити не менше 80%.

4. ЗП ГТ розташовано у заїзних кишнях на підході до РП.

5. Інтенсивність руху пішоходів на пішохідному переході, через який проїжджають правоповоротні ТЗ, є незначною і практично не створює затримку на правій смузі. Лівоповоротні потоки на перехресті не пропускаються із прямими потоками зустрічного напрямку в одній фазі.

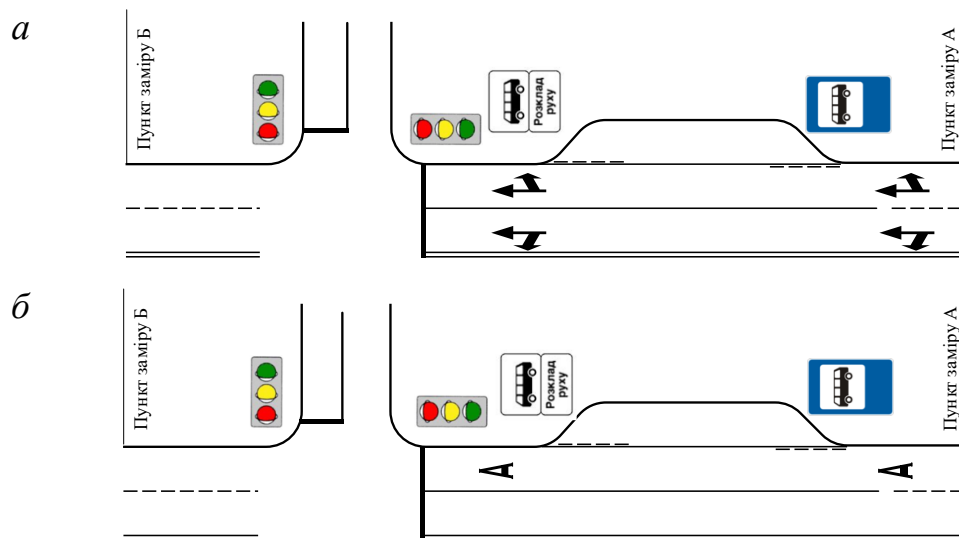


Рис. 3.7. Планувальні особливості ПЧ на досліджуваних РП:  
а – тип І; б – тип ІІ

Виходячи з наведених критеріїв, обрано 4 підходи до 4 РП з тривалістю фази регулювання на цих підходах відповідно: для типу І – перехрестя 1 – 25 с (тривалість циклу 60 с); перехрестя 2 – 20 с (тривалість циклу 65 с); для типу ІІ – перехрестя 3 – 30 с (тривалість циклу 70 с); перехрестя 4 – 35 с (тривалість циклу 80 с). Проведено вимірювання за 50 циклів на кожному перехресті. Вимірювання відбувалось з дотриманням такої методики:

1. У момент ввімкнення заборонного сигналу на досліджуваному напрямку фіксувались ТЗ, які накопичувались у чергу в обох смугах. Під час

проведення вимірювань на їх початку встановлено, що при дозвільному сигналі тривалістю 20 с (найменша з усіх досліджуваних перехресть) через стоп-лінію встигає пройти не більше 12 ТЗ змішаного ТП. Такі контрольні заміри під час експериментального вимірювання необхідні для орієнтовної ідентифікації автомобілів та ТЗ ГТ, за якими буде вестись спостереження щодо тривалості проїзду через стоп-лінію (окрім правої смуги для перехресть типу II). Виходячи із цього, вдається зафіксувати розміщення пункту заміру А.

2. Із ввімкненням дозвільного сигналу фіксувався проїзд кожного ТЗ з черги у пункті заміру Б (розміщений на віддалі 20 м за перехрестям).

3. Використовуючи відеокамери, між якими було узгоджено часові показники секундоміра, фіксувались: тривалість проїзду кожного ТЗ між пунктами заміру А та Б; кількість та тип ТЗ, які перетнули стоп-лінію у кожному напрямку або проїхали прямо.

4. Під час розрахунку фактичної інтенсивності виїзду ТЗ з досліджуваної смуги для кожного перехрестя враховувалась кількість СФЦ протягом однієї години.

5. Розрахунок зведеної інтенсивності руху відбувався із використанням коефіцієнтів зведення, наведених у таблиці 4.1 ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів».

6. Розрахунок середньої тривалості проїзду перехрестя одним ТЗ включає в себе проміжок часу, за який він проїде між пунктами заміру А та Б.

Зведені результати вимірювань наведено у таблиці 3.5. Аналізуючи результати можна сказати, що на тривалість проїзду одним ТЗ відстані між пунктами заміру А та Б впливатиме: тривалість заборонного сигналу; затримка у правій смузі, спричинена правоповоротними ТЗ; затримка у лівій смузі, спричинена зменшенням швидкості під час виконання маневру повороту; затримка у правій смузі, спричинена заїздом та виїздом ГТ із заїзної кишені; затримка рухомого складу ГТ на ЗП, спричинена тривалістю посадки-висадки пасажирів; місцем знаходження ТЗ в черзі перед початком вимірювання (в

пункті заміру А); тривалістю руху в зоні перехрестя та поза ним до пункту заміру Б.

Таблиця 3.5

Результати експериментальних вимірювань роз'їзду черги ТЗ на РП

| Тип ТЗ                                    | Середня кількість ТЗ, які пройшли через стоп-лінію на 1 цикл, од. |                 | Середня фактична інтенсивність руху, авт./год |     | Зведена інтенсивність руху, од./год |     | Середня тривалість проїзду перехрестя 1 ТЗ, с (ПС/ЛС) |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------|
|                                           | Права смуга (ПС)                                                  | Ліва смуга (ЛС) | ПС                                            | ЛС  | ПС                                  | ЛС  |                                                       |
| Перехрестя 1, Тип І (60 циклів в 1 год.)  |                                                                   |                 |                                               |     |                                     |     |                                                       |
| легкові                                   | 11,6                                                              | 13,1            | 696                                           | 786 | 754                                 | 827 | 61/53                                                 |
| вантажні до 6 т                           | 0,4                                                               | 0,45            | 24                                            | 27  |                                     |     |                                                       |
| автобуси великої місткості                | 0,2                                                               | –               | 12                                            | –   |                                     |     |                                                       |
| Перехрестя 2, Тип І (55 циклі в 1 год.)   |                                                                   |                 |                                               |     |                                     |     |                                                       |
| легкові                                   | 9,4                                                               | 12,3            | 517                                           | 677 | 564                                 | 719 | 68/60                                                 |
| вантажні до 6 т                           | 0,35                                                              | 0,5             | 19                                            | 28  |                                     |     |                                                       |
| автобуси великої місткості                | 0,18                                                              | –               | 10                                            | –   |                                     |     |                                                       |
| Перехрестя 3, Тип ІІ (51 цикл в 1 год.)   |                                                                   |                 |                                               |     |                                     |     |                                                       |
| легкові                                   | –                                                                 | 15,4            | –                                             | 785 | 20                                  | 869 | 28/60                                                 |
| вантажні до 6 т                           | –                                                                 | 1,1             | –                                             | 56  |                                     |     |                                                       |
| автобуси великої місткості                | 0,21                                                              | –               | 11                                            | –   |                                     |     |                                                       |
| Перехрестя 4, Тип ІІ (45 циклів в 1 год.) |                                                                   |                 |                                               |     |                                     |     |                                                       |
| легкові                                   | –                                                                 | 17,3            | –                                             | 779 | 22                                  | 914 | 31/67                                                 |
| вантажні до 6 т                           | –                                                                 | 2               | –                                             | 90  |                                     |     |                                                       |
| автобуси великої місткості                | 0,26                                                              | –               | 12                                            | –   |                                     |     |                                                       |

З попередніх теоретичних досліджень та практики відомо, що виділення окремої смуги (як правило правої) виключно для руху ГТ, спричиняє збільшення довжини черги у лівій смузі, яка обслуговує загальний ТП. Виходячи з цього, важливо забезпечити такі алгоритми управління світлофорною сигналізацією, які б були здатні «компенсувати» втрати часу

для цієї групи УДР. Таким заходом може бути впровадження СКР на всій протяжності магістральної вулиці. Її можна і доцільно впроваджувати, проте виникає деяка проблема у смугах ГТ. Суть цієї проблеми полягає в тому, що під час надання автобусам (тролейбусам) часового пріоритету на підході до стоп-лінії (або під час виїзду із ЗП) відбувається перерахунок СФЦ у всіх фазах окремого ізольованого перехрестя, а в СКР необхідно перерахувати (нехай навіть із застосуванням відповідних детекторів транспорту) всю стрічку часу у коридорі (системі РП) на всій протяжності вулиці. Розв'язок цієї проблеми може полягати у наступному. Під час СКР ГТ може під'їжджати до стоп-лінії у момент ввімкнення заборонного сигналу, оскільки мав регламентовану затримку на зупинковому пункті, тому для нього «руйнується» стрічка часу в СКР. Висунемо гіпотезу, що зменшити вплив цього негативного чинника в умовах координації можна шляхом перенесення ЗП після перехрестя (рис. 3.8). Для встановлення достовірності цієї гіпотези проведемо імітаційне моделювання у спеціалізованому програмному середовищі PTV VISSIM щодо визначення зміни тривалості проїзду ГТ обох типів РП при інтенсивностях руху, які наведені у таблиці 3.5.

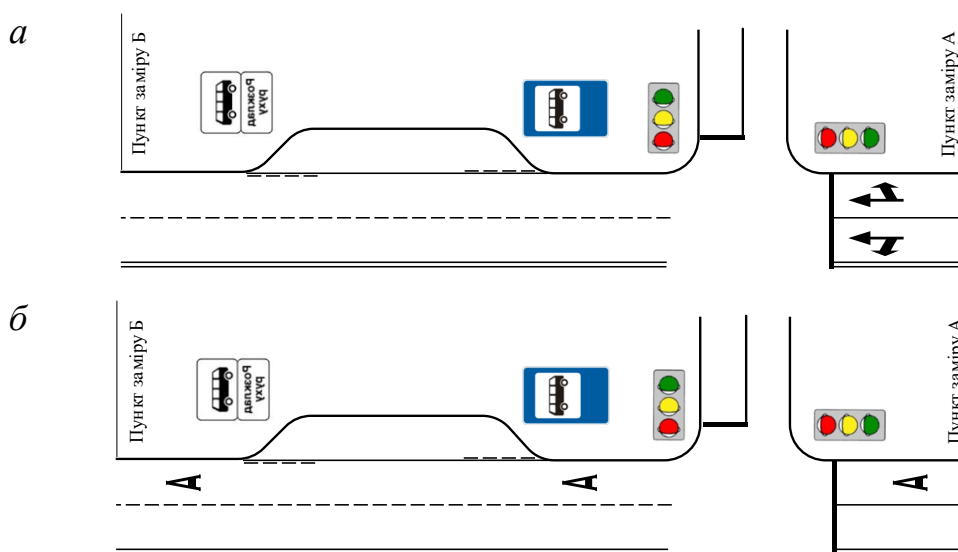


Рис. 3.8. Схема організації руху для ІМ на досліджуваних РП:  
а – тип І; б – тип ІІ

Під час моделювання відстань між пунктами заміру А та Б залишалась незмінною. У PTV VISSIM такі пункти називаються лічильниками ТЗ. Спершу проведено моделювання тривалості проїзду ГТ чотирьох підходів до перехресть за умови розміщення ЗП перед перехрестям (рис. 3.7) для визначення рівня збіжності з результатами натурних вимірювань, а пізніше з розміщенням ЗП після перехрестя (рис. 3.8).

Результати імітаційного моделювання наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

## Результати ІМ роз'їзду черги ТЗ на РП

| Об'єкт дослідження    | Середня тривалість проїзду 1 ТЗ ГТ зони РП, с |                                     |                                                                                  |
|-----------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Розміщення ЗП перед перехрестям               |                                     | Розміщення ЗП після перехрестя з часовим пріоритетом для ГТ в умовах координації |
|                       | Результати натурних вимірювань                | Результати імітаційного моделювання | Результати імітаційного моделювання                                              |
| Перехрестя 1 (Тип І)  | 61                                            | 54                                  | 36                                                                               |
| Перехрестя 2 (Тип І)  | 68                                            | 59                                  | 38                                                                               |
| Перехрестя 3 (Тип ІІ) | 28                                            | 24                                  | 16                                                                               |
| Перехрестя 4 (Тип ІІ) | 31                                            | 29                                  | 15                                                                               |

Результати моделювання, наведені у таблиці 3.6, свідчать про: близькість між результатами натурних експериментальних вимірювань та імітаційного моделювання; суттєве зменшення затримок і ГТ, і автомобілів загального ТП на всіх типах розглянутих перехресть. При чому, враховуючи ту особливість, що більші тривалості проїзду ТЗ перехресть типу І, зокрема у правій смузі, зумовлені затримками в русі ГТ (і через затримку на ЗП, і через вплив їх динамічних габаритів), то ефекту (зменшення тривалості проїзду) від перенесення ЗП можна досягти і для автомобілів загального ТП.

3.2.3. Дослідження тривалості обслуговування громадського транспорту на зупинкових пунктах. Тривалість обслуговування ГТ на ЗП досліджувалася одночасно з показниками пасажирського потоку, результати яких наведено у пункті 3.1, тобто було охоплено 100% ЗП. Їх результати відображено в таблицях А1–А3 додатку А. За результатами опрацювання цих даних на

першому етапі визначено середню тривалість обслуговування ТЗ ГТ ( $T_{об}$ ) на ЗП, обладнаних заїзними кишенями, для трьох умовних частин міста: центр, середмістя та периферія (рис. 3.9).

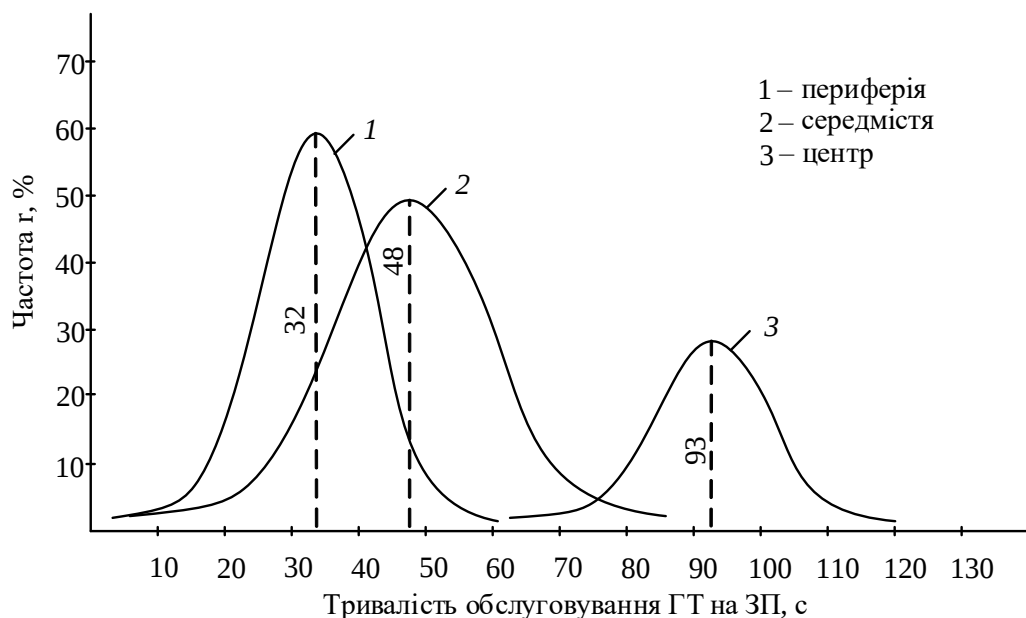


Рис. 3.9. Значення середньої тривалості обслуговування ТЗ ГТ на ЗП, які обладнані заїзними кишенями

Розподіл тривалості обслуговування для периферійної частини міста є найменшими за абсолютними значеннями, змінюючись від 4 до 61 с із середньозваженим значенням 32 с, що відповідає частоті 61%. Розподіл 2 показує тривалість обслуговування у середмісті, де його мінімальні значення (5 с) є подібними до периферії, проте максимальне значення становить 86 с. Середньозважена тривалість обслуговування для цієї частини міста – 48 с, що відповідає частоті 49%. Третій розподіл проведений для центральної частини міста показує суттєві відмінності від периферії та середмістя, де розмах значень вибірки змінюється від 62 до 121 с з середнім значенням 93 с та частотою 29 %.

Аналіз цих розподілів свідчить про те, що тривалість обслуговування ТЗ ГТ на ЗП має відмінності на різних територіях міста, де вони облаштовані. Найбільші значення тривалості обслуговування у центральній частині пояснюються значною інтенсивністю рухомого складу ГТ, оскільки за

радіально-кільцевої конфігурації ВДМ, де особливо чітко виражена радіальна складова (дослідження проводилося на маршрутній мережі м. Львова), більшість маршрутів сходяться у цій частині міста. Виконуючи регламентні вимоги до обслуговування пасажирів, автобуси та/або тролейбуси потребують більше часу, щоб під'їхати до посадкової площадки. До цих затрат часу також додаються ті, які пов'язані з величиною пасажирських потоків у центральній частині міста (триваліша посадка-висадка пасажирів), а також велика щільність РП, які мають безпосередній вплив на тривалість обслуговування в межах ЗП, які розміщені у безпосередній близькості до стоп-ліній.

У периферійній частині міста є відносно невеликий пасажирський потік, а на деяких ЗП можуть бути відсутні пасажирів, що робить обслуговування досить умовним, враховуючи що автобус (тролейбус) щойно виїхав з кінцевого ЗП (простой на них у розподіл не включалися) і висадка пасажирів відсутня.

Щодо середмістя, то тут притаманні особливості обслуговування пасажирів для периферії та центру.

На другому етапі цих досліджень визначено, який вплив на тривалість обслуговування ГТ несе спосіб облаштування ЗП та його розташування відносно РП (рис. 3.10).

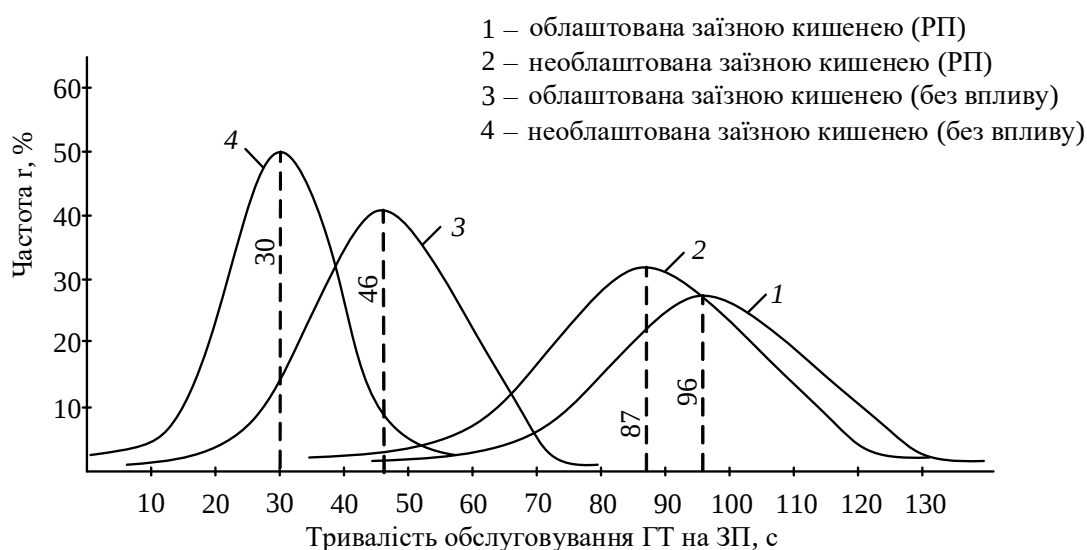


Рис. 3.10. Значення середньої тривалості обслуговування ТЗ ГТ на ЗП за різних способів їх облаштування

Розподіл 1 показує, як змінюється тривалість обслуговування на ЗП, які облаштовані заїзною кишенею і знаходяться у зоні впливу РП (тобто безпосередньо на підході до нього). Значення розмаху вибірки для такого способу облаштування ЗП змінюються від 45 до 135 с із середнім значенням 96 с та частотою 26%. Такі високі значення середньої тривалості у цьому розподілі обумовлені інтенсивністю загального ТП, який створює чергу на РП, а також ускладнює процес заїзду до заїзної кишені для ГТ і виїзду із неї. Іноді спостерігаються порушення правил дорожнього руху водіями індивідуальних ТЗ, які не надають першочергове право виїзду із заїзної кишені для ГТ, що також створює додаткові затримки. Розподіл 2 демонструє зміну тривалості обслуговування ГТ на ЗП, які не облаштовані заїзними кишенями та розміщені відносно РП за аналогією до розподілу 1. Розмах значень вибірки (від 36 с до 130 с) подібний до розподілу 1, проте середнє значення дещо менше – 87 с із частотою 32%. Таке зменшення тривалості обслуговування найчастіше обумовлене відсутністю затримки, пов'язаної із процесом заїзду до заїзної кишені і виїзду із неї. Проте, варто відзначити, що такий спосіб облаштування ЗП, особливо в зоні впливу РП, може спричинити значні затримки для загального ТП. Розподіл 3 відображає тривалість обслуговування ГТ на ЗП, які облаштовані заїзною кишенею і розташовані у місцях, де немає впливу РП. Тут помітні суттєві відмінності від значень тривалості обслуговування, описаних розподілами 1 та 2. Середнє значення цієї величини для такого способу облаштування ЗП становить 46 с при частоті 41 %, а розмах вибірки є в межах від 8 с до 80 с. Розподіл 4 показує тривалість обслуговування за умови необлаштованих заїзними кишенями ЗП, які не є безпосередньо біля РП (без впливу СФР). Значення вибірки змінюються від 4 с до 60 с, а середнє значення становить 30 с із частотою 52%.

Підсумовуючи аналіз розподілів, наведених на рис. 3.10 відзначимо, що для зменшення тривалості обслуговування ГТ на ЗП і, як наслідок, підвищення швидкості сполучення доцільно розташовувати ЗП ГТ безпосередньо на смузі руху та на ділянках, які не мають впливу РП. Це дозволить скоротити середню

тривалість обслуговування більш ніж вдвічі (із 96 с до 30 с). Проте, варто детально аналізувати, де такий спосіб облаштування ЗП буде доцільним, адже їх близькість до РП часто обумовлена формуванням пасажирських потоків та розташуванням точок притягання. Щодо розташування ЗП безпосередньо на смузі руху без заїзної кишені, то тут слід аналізувати кількість смуг руху на ПЧ та вплив на загальний ТП. Таке рішення є навіть бажаним за умови облаштування виділених смуг для ГТ.

За результатами досліджень також визначено залежність тривалості обслуговування автобусів (тролейбусів) на ЗП від інтенсивності їх прибуття, а також від способу облаштування ЗП і наявності просторового пріоритету для ГТ – виділених смуг руху. Зміна тривалості обслуговування ГТ на ЗП, облаштованих у заїзній кишені та розташованих перед РП, залежно від інтенсивності ГТ відображена на рис. 3.11.

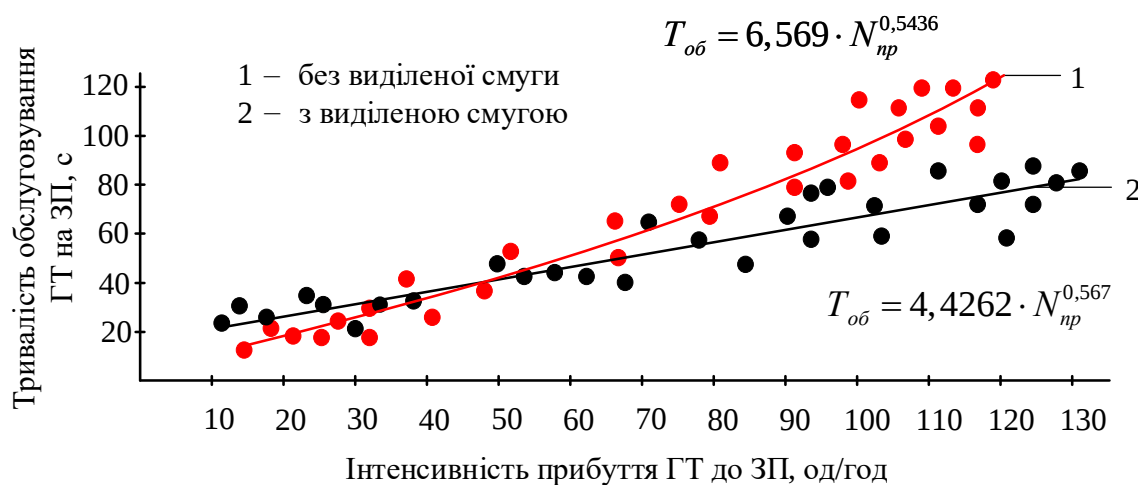


Рис. 3.11. Зміна середньої тривалості обслуговування ГТ на ЗП із заїзними кишеням, залежно від інтенсивності прибуття ТЗ ГТ (перед РП)

За відсутності виділеної смуги (лінія тренду 1) для пріоритетного руху ГТ, а також за невисокої інтенсивності прибуття ГТ до ЗП (фактично – міжпіковий період, інтенсивність близько 45 зведених од/год), тривалість обслуговування, за такого способу облаштування ЗП, становить від 18 до 35 с і у більшості корелює з тенденціями зміни цього показника, як і на виділених смугах руху (лінія тренду 2). Однак, при подальшому збільшенні

інтенсивності прибуття ГТ до ЗП лінії тренду 1 та 2 починають суттєво розходитись. При цьому, тривалість обслуговування за наявності просторового пріоритету нижча (55–75 с) в середньому на 30–45 с, ніж при русі ГТ у загальному ТП, оскільки виділена смуга для ГТ полегшує процес заїзду та виїзду із заїзної кишені і, як наслідок, зменшує затримку.

На рис. 3.12 наведено залежність тривалості обслуговування ГТ на ЗП від інтенсивності прибуття ГТ до ЗП, які розташовані у заїзних кишенях, проте із відсутністю впливу РП (розміщені на прогоні).

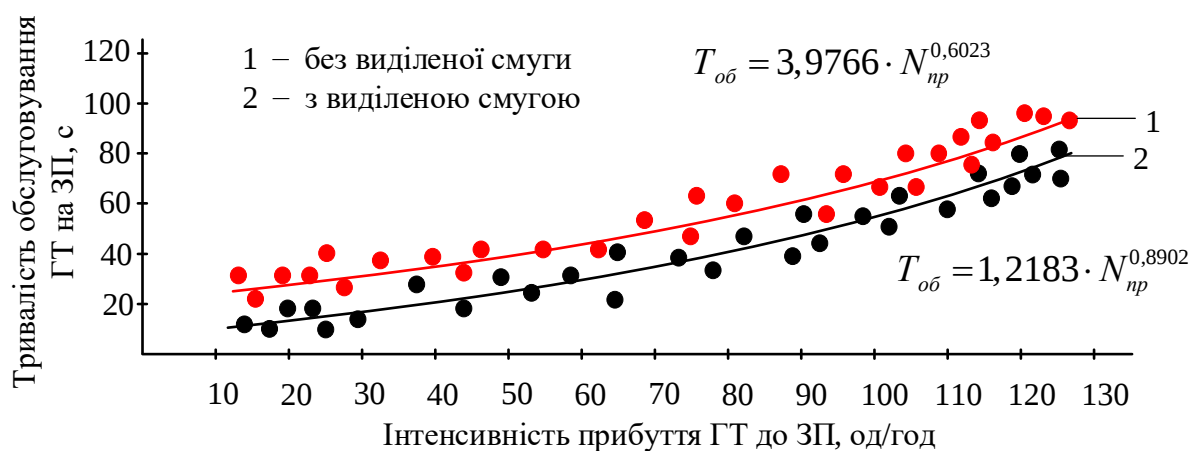


Рис. 3.12. Зміна середньої тривалості обслуговування ГТ на ЗП із заїзними кишенями, залежно від інтенсивності прибуття ТЗ ГТ (без впливу РП)

З рис. 3.12 помітно, що різниця між тривалістю обслуговування ГТ на ЗП і розташуванням ЗП із забезпеченням просторового пріоритету (виділена смуга для ГТ) та за його відсутності при збільшенні інтенсивності ГТ залишається фактично не змінною, тобто лінії тренду 1 та 2 є практично паралельними. Мінімальні значення тривалості обслуговування для варіанту із відсутністю виділеної смуги (при невисокому значенні інтенсивності руху ГТ – до 45 зведених од/год) становлять 21–36 с, а максимальні (при значній інтенсивності ГТ – понад 45 зведених од/год) – 68–82 с, а при наявності просторового пріоритету значення тривалостей обслуговування становлять відповідно в межах від 15–22 с для малих інтенсивностей до 48–71 с – для великих інтенсивностей.

Порівнюючи залежності, наведені на рис. 3.11 і 3.12, можна зробити висновок, що за відсутності просторового пріоритету розташування ЗП відносно РП відіграє ключову роль у формуванні тривалості обслуговування ГТ на ЗП, адже утворення черг ТЗ загального ТП значно ускладнює процес заїзду до заїзної кишені та виїзду із неї. Якщо ж є виділена смуга для руху ГТ, ключовим чинником формування тривалості обслуговування є інтенсивність прибуття ГТ до ЗП.

### 3.3. Створення імітаційної моделі та результати моделювання існуючого стану транспортних потоків на ділянці магістральної вулиці

Методика моделювання черг руху є важливим інструментом для оптимізації транспортних мереж, зокрема на магістральних вулицях, де інтенсивність руху може варіюватися протягом доби. Для ефективного управління дорожнім рухом необхідно враховувати численні чинники, такі як інтенсивність та склад ТП, швидкість руху, а також особливості СФР. Одним з найважливіших аспектів є визначення найбільш ефективних режимів СФР і пріоритизація ГТ, щоб зменшити затримки і підвищити ПЗ ВДМ.

Сучасні програмні засоби, зокрема PTV VISSIM, дозволяють проводити детальне моделювання дорожнього руху з урахуванням усіх важливих параметрів, що включають як фізичні характеристики інфраструктури, так і поведінку УДР. Завдяки можливості налаштування СФЦ і пріоритетів ГТ, можна ефективно управляти ТП, що сприяє зменшенню затримок і покращенню загальної ПЗ.

Пріоритизація ГТ є однією з ключових задач, оскільки цей вид транспорту забезпечує пересування великої кількості людей і, тим самим зменшує завантаження ВДМ моторизованим транспортом.

Методика моделювання черг в умовах різних режимів СФР та пріоритизації ГТ в програмному середовищі PTV VISSIM передбачає кілька етапів, починаючи з підготовки моделі транспортної мережі, де визначаються

елементи дороги, смуги руху, пішохідні переходи, СФО, ЗП ГТ тощо (за допомогою команди «Links») (рис. 3.13).

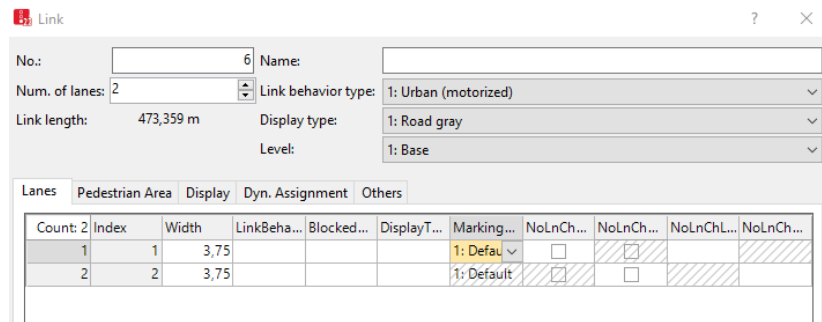


Рис. 3.13. Вікно для редагування відрізків

Паралельно вносяться дані про інтенсивність (рис. 3.14, а) та швидкість руху (рис. 3.14, б), що дозволяє коригувати СФЦ відповідно до існуючих умов руху ([«Traffic» – «Vehicle Compositions» – «Create» – «Add»], обрати відповідний тип ТЗ, після чого встановити його частку у ТП та бажану швидкість руху).

а

Vehicle Inputs / Vehicle volumes by time interval

Vehicle volumes by tir

| Count | No | Name | Link | Volume(0-MAX) | VehComp(0-MAX) |
|-------|----|------|------|---------------|----------------|
| 1     | 1  |      | 1    | 1000,0        | 2: 80%         |

б

| Count | VehType  | DesSpeedDistr | RelFlow |
|-------|----------|---------------|---------|
| 1     | 100: Car | 50: 50 km/h   | 80,000  |
| 2     | 200: HGV | 50: 50 km/h   | 5,000   |
| 3     | 300: Bus | 50: 50 km/h   | 5,000   |

Рис. 3.14. Вікно для редагування: а – вхідного ТП;  
б – складу та швидкості ТП

Налаштування режимів СФЦ є важливою частиною методики. У PTV VISSIM можуть бути реалізовані різні типи СФЦ: фіксовані, адаптивні та інтегровані координовані. У фіксованому циклі світлофори працюють за заздалегідь визначеними параметрами, не змінюючи фази відповідно до інтенсивності руху. При адаптивному циклі фази світлофора можуть змінюватися залежно від потоку транспорту, що дозволяє підвищити ефективність управління на ділянках з високою варіативністю інтенсивності руху. Координоване управління дозволяє синхронізувати роботу СФО на

кількох РП, забезпечуючи безперешкодний рух на ділянках магістральної ВДМ значної протяжності.

Особливу увагу необхідно приділити налаштуванню тривалості фаз світлофора, що є важливим етапом для забезпечення оптимальної ПЗ. Тривалість СФЦ варіюється в межах від 25 до 120 с (увійшовши в режим [«Signal Control» – «Signal Control Editor»], у діалоговому вікні необхідно створити новий СФО із заданим фіксованим циклом, обравши параметр [«Fixed-time» – «Control Program»]. Далі, у відповідному вікні середовища PTV VISSIM слід створити нову групу світлофорів та відповідну сигнальну програму. Після цього задається тривалість СФЦ та визначається його структура, тобто послідовність та тривалість фаз сигналів згідно з обраним режимом регулювання (рис. 3.15).)

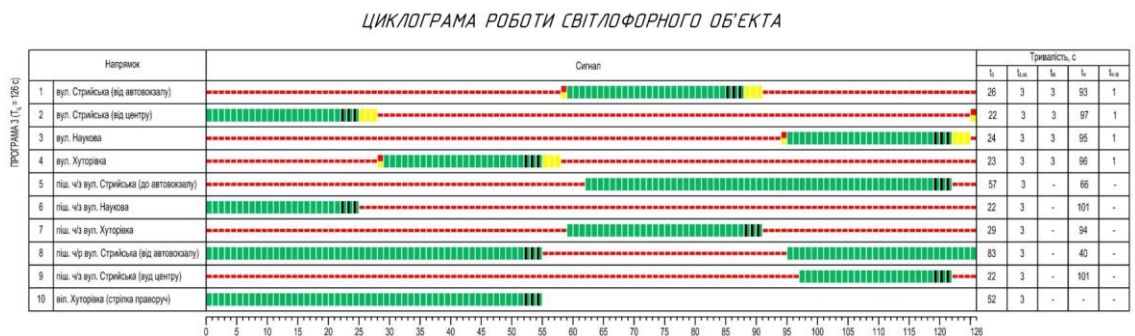


Рис. 3.15. Вікно для редагування тривалості циклограми роботи СФО

Враховування обмеження тривалості СФЦ є важливим під час адаптації до реальних умов руху, адже коротші СФЦ підходять для ділянок з низьким навантаженням, а триваліші – для ділянок з високою інтенсивністю руху.

Для оптимізації роботи світлофорів використовуються два основних підходи: часова та просторова пріоритизація. Часова пріоритизація передбачає надання переваги тим напрямкам, де спостерігається більша інтенсивність ТП, що дозволяє зменшити тривалість затримки і зменшити черги ТЗ. Просторова пріоритизація допомагає розподіляти тривалість фаз регулювання залежно від завантаження смуг, що дозволяє ефективно управляти ТП, зменшуючи затримки на менш завантажених смугах.

Одним з важливих елементів моделювання є пріоритизація ГТ. У PTV VISSIM реалізовано кілька способів надання пріоритету ГТ, серед яких індивідуальна, групова та динамічна пріоритизація. У режимі «Signal control» у діалоговому вікні необхідно вказати номер світлофора, обрати відповідний СФО, а також «прив'язати» його до відповідної сигнальної групи, яка буде керувати фазами світлофора (рис. 3.16).

Рис. 3.16. Вікно для редагування параметрів роботи СФО

Після налаштування моделі проводиться оцінка отриманих результатів, зокрема аналіз тривалості затримки, довжини черг та величини ПЗ. У вікні атрибутів створеного відрізка необхідно перейти до вкладки [«Misc» – «Evaluation»], де слід активувати функцію аналізу відрізків і задати необхідну довжину сегмента (рис. 3.17). Виконання цього налаштування дає змогу здійснювати детальний аналіз параметрів дорожнього руху, зокрема визначати середню швидкість ТП та його щільність на окремих ділянках ВДМ, що є важливим для подальшої оцінки ефективності схем організації руху.

Це дає змогу коригувати параметри моделі, адаптуючи її до реальних умов. Важливо також визначити ефективність різних типів світлофорних режимів і пріоритетів для ГТ, щоб забезпечити оптимальні умови для всіх УДР.

У результаті такого підходу вдається досягти значної оптимізації роботи ВДМ, зменшити тривалість затримки на РП і покращення ефективності роботи ГТ.

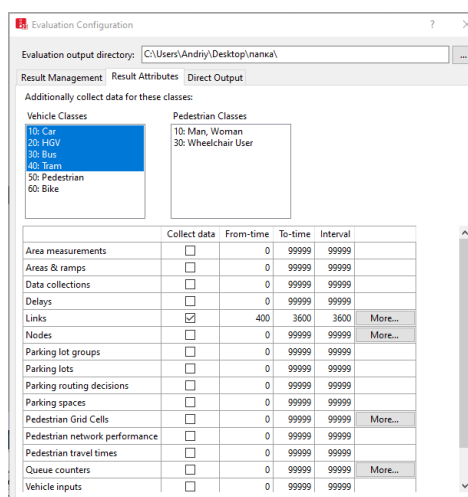


Рис. 3.17. Програмний інтерфейс для візуалізації та аналізу щільності ТП

Для налаштування моделі були використані початкові дані, зібрані під час натурних досліджень показників ТП, зокрема – інтенсивність руху, склад ТП, тривалість світлофорних фаз, геометричні параметри перехресть та інші важливі чинники, що впливають на формування черг ТЗ на ділянках магістральної ВДМ у м. Львові.

Під час вибору ділянок враховувалось:

- наявність 3 смуг в одному напрямку;
- на всіх перехрестях дозволено ліві та/або праві повороти;
- є значна інтенсивність ГТ;
- ділянки розміщені в периферійній частині міста та середмісті на радіальних магістральних вулицях, де є значна інтенсивність транзитних (через ділянку) ТП.

Схема однієї з типових ділянок зображена на рис. 3.18. Геометричні параметри експериментальної ділянки подано у табл. 3.7. Результати натурних вимірювань для цієї ділянки сформовано у вигляді табл. 3.8.

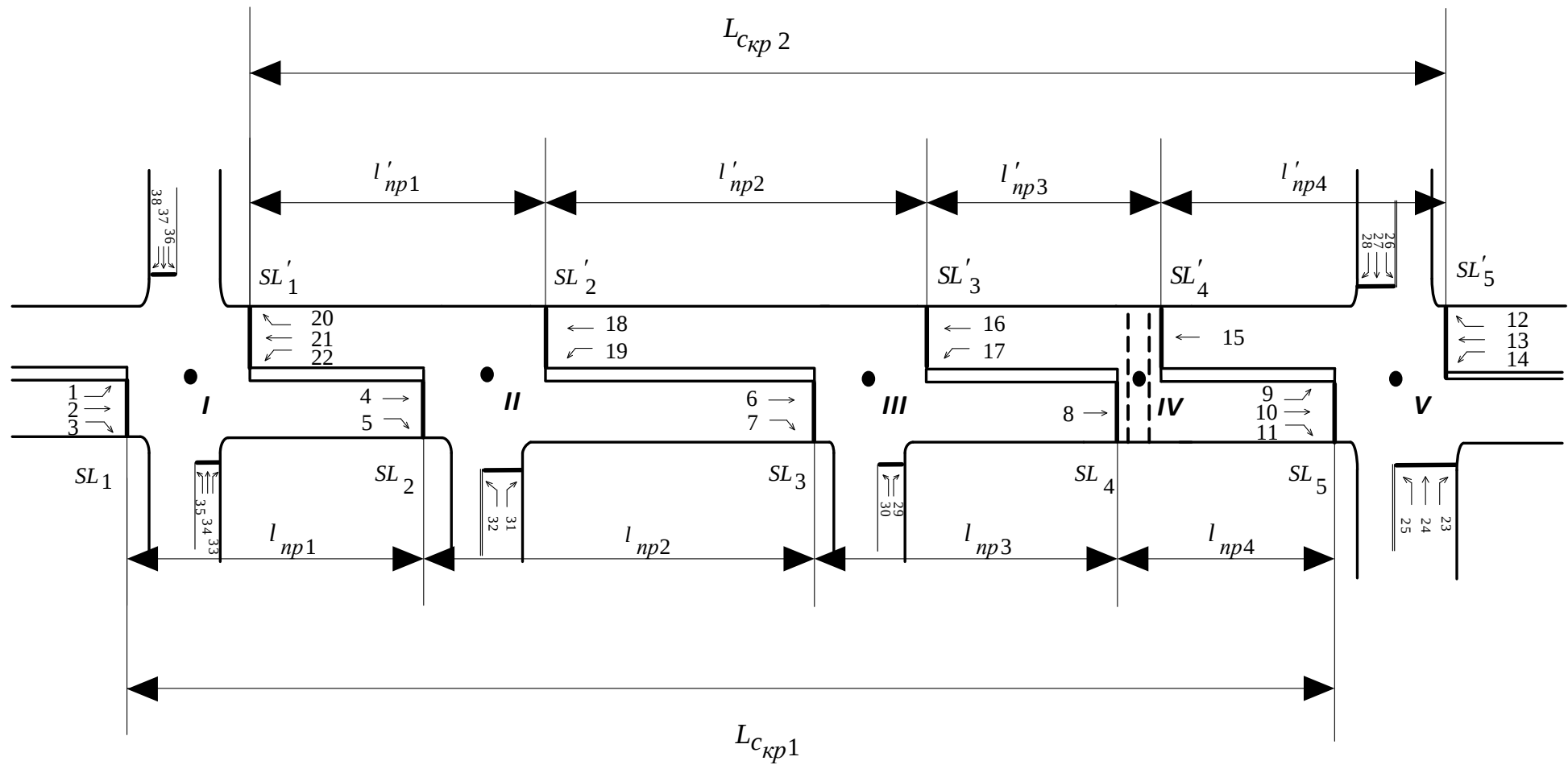


Рис. 3.18. Типова ділянка магістральної ВДМ (вул. Стрийська від перехрестя з вулицями Микльоша та Січових Стрільців (I) до перехрестя з вулицею Наукова та проспектом Івана Павла II (V)) для проведення моделювання існуючого стану  
ТІІ

Таблиця 3.7

Планувальні характеристики прогонів на експериментальній ділянці

| Напрямок<br>I–VI | Довжина<br>прогону, м | Кількість<br>смуг руху | Напрямок<br>VI–I | Довжина<br>прогону, м | Кількість<br>смуг<br>руху |
|------------------|-----------------------|------------------------|------------------|-----------------------|---------------------------|
| $l_{np1}$        | 480                   | 3                      | $l'_{np1}$       | 480                   | 3                         |
| $l_{np2}$        | 704                   | 3                      | $l'_{np2}$       | 712                   | 3                         |
| $l_{np3}$        | 405                   | 3                      | $l'_{np3}$       | 400                   | 3                         |
| $l_{np4}$        | 455                   | 3                      | $l'_{np4}$       | 470                   | 3                         |
| $\Sigma$         | 2044                  |                        | $\Sigma$         | 2062                  |                           |

Таблиця 3.8

Результати натурних досліджень показників ТП на експериментальній ділянці по вул. Стрийська

| №<br>пункту<br>вимірю<br>вання | Інтенсивність<br>ТП, авт/год | Середня<br>довжина<br>черги, м | Максимальна<br>довжина<br>черги, м | Затримка<br>ТЗ, с/1ТЗ | Середня<br>швидкість<br>руху ТП,<br>км/год | Частка<br>дозвільного<br>сигналу |
|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|
| 1                              | 2                            | 3                              | 4                                  | 5                     | 6                                          | 7                                |
| 1                              | 33                           | 37                             | 161                                | 46                    | 26,77                                      | 0,44                             |
| 2                              | 897                          | 37                             | 161                                | 30                    |                                            |                                  |
| 3                              | 99                           | 37                             | 161                                | 30                    |                                            |                                  |
| 4                              | 1306                         | 42                             | 134                                | 34                    | 19,79                                      | 0,34                             |
| 5                              | 108                          | 42                             | 134                                | 35                    |                                            |                                  |
| 6                              | 1368                         | 44                             | 197                                | 32                    | 28,16                                      | 0,40                             |
| 7                              | 131                          | 44                             | 197                                | 43                    |                                            |                                  |
| 8                              | 1432                         | 72                             | 311                                | 33                    | 28,16                                      | 0,53                             |
| 9                              | 452                          | 285                            | 440                                | 140                   | 7,00                                       | 0,23                             |
| 10                             | 638                          | 285                            | 440                                | 150                   |                                            |                                  |
| 11                             | 271                          | 285                            | 440                                | 85                    |                                            |                                  |
| 12                             | 171                          | 331                            | 504                                | 188                   | 8,36                                       | 0,20                             |
| 13                             | 621                          | 327                            | 504                                | 173                   |                                            |                                  |
| 14                             | 206                          | 327                            | 504                                | 185                   |                                            |                                  |
| 15                             | 1235                         | 15                             | 110                                | 14                    | 35,94                                      | 0,53                             |
| 16                             | 1210                         | 36                             | 142                                | 16                    | 27,28                                      | 0,50                             |
| 17                             | 110                          | 36                             | 142                                | 90                    |                                            |                                  |
| 18                             | 1142                         | 37                             | 134                                | 17                    | 32,60                                      | 0,53                             |
| 19                             | 255                          | 37                             | 134                                | 38                    |                                            | 0,28                             |
| 20                             | 68                           | 28                             | 147                                | 17                    | 29,69                                      | 0,59                             |
| 21                             | 1249                         | 29                             | 130                                | 16                    |                                            |                                  |
| 22                             | 79                           | 29                             | 130                                | 51                    |                                            | 0,13                             |
| 23                             | 167                          | 409                            | 513                                | 132                   | 8,39                                       | 0,44                             |
| 24                             | 647                          | 409                            | 513                                | 161                   |                                            | 0,21                             |
| 25                             | 447                          | 409                            | 513                                | 162                   |                                            |                                  |

Продовження табл. 3.8

| 1                                                      | 2   | 3   | 4   | 5   | 6     | 7      |
|--------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|--------|
| 26                                                     | 154 | 210 | 480 | 241 | 8,44  | 0,21   |
| 27                                                     | 427 | 210 | 480 | 173 |       |        |
| 28                                                     | 12  | 214 | 483 | 149 |       |        |
| 29                                                     | 137 | 105 | 211 | 93  | 8,08  | 0,40   |
| 30                                                     | 217 | 101 | 207 | 98  |       |        |
| 31                                                     | 154 | 34  | 120 | 47  | 18,18 | 0,18   |
| 32                                                     | 271 | 34  | 120 | 54  |       |        |
| 33                                                     | 232 | 49  | 140 | 79  | 10,92 | 0,28   |
| 34                                                     | 25  | 49  | 140 | 78  |       |        |
| 35                                                     | 13  | 49  | 140 | 77  |       |        |
| 36                                                     | 301 | 111 | 227 | 109 | 6,31  | 0,28   |
| 37                                                     | 17  | 111 | 227 | 120 |       |        |
| 38                                                     | 35  | 111 | 227 | 102 |       |        |
| Тривалість проїзду від стоп-лінії 1 до стоп-лінії 5, с |     |     |     | ІТ  | 454   | 2044 м |
| Тривалість проїзду від стоп-лінії 1 до стоп-лінії 5, с |     |     |     | ГТ  | 611   | 2044 м |
| Тривалість проїзду від стоп-лінії 5 до стоп-лінії 1, с |     |     |     | ІТ  | 320   | 2062 м |
| Тривалість проїзду від стоп-лінії 5 до стоп-лінії 1, с |     |     |     | ГТ  | 439   | 2062 м |

Примітка. Сірим тлом позначені транзитні (прямі) напрямки, які є основою базової моделі та подальшого проектування СКР і виділених смуг для ГТ

Ці дані були ретельно проаналізовані та інтегровані у модель для забезпечення максимальної достовірності результатів, які наведені на рис. 3.19 – 3.22.

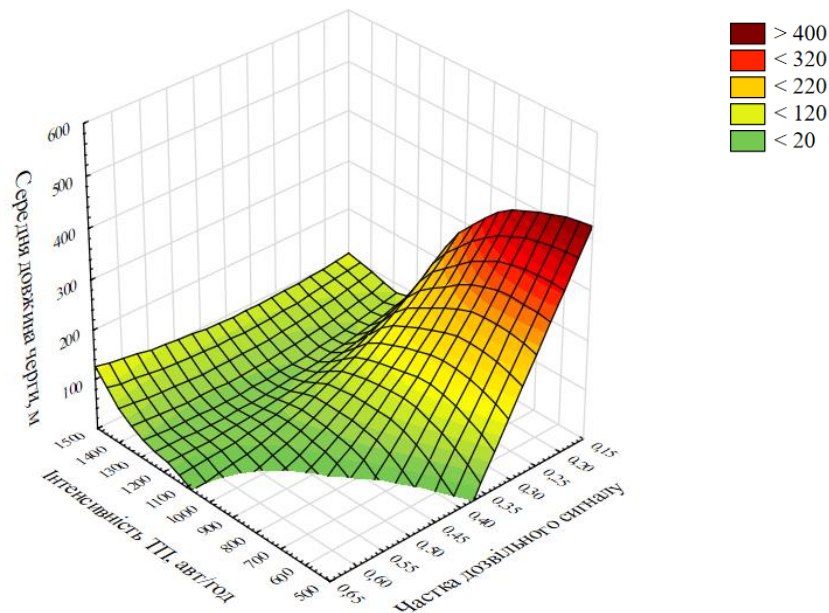


Рис. 3.19. Зміна середньої довжини черги ТЗ ( $\bar{l}_{\text{черг}}$ ) на ділянці досліджень залежно від інтенсивності ТП ( $N_{\text{ТП}}$ ) та частки дозвільного сигналу у СФЦ ( $\eta_0$ )

Залежність, наведена на рис. 3.19, описується рівністю:

$$\begin{aligned} \bar{l}_{\text{черг}} = & 1034,4272 - 0,6014 \cdot N_{\text{ТП}} - 2647,2664 \cdot \eta_0 - \\ & - 7,7668 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot N_{\text{ТП}}^2 + 1,8019 \cdot N_{\text{ТП}} \cdot \eta_0 + 298,9728 \cdot \eta_0^2. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Найбільша середня довжина черги (понад 400 м) досягається при значеннях частки дозвільного сигналу 0,15–0,20 навіть за відносно малих інтенсивностей руху, тобто до 800 зведених од/год на три смуги руху (крайня права та крайня ліва смуги передбачені для руху поворотних потоків), що демонструє затримку, в основному спричинену графіком роботи світлофornoї сигналізації. Черга зменшується при зростанні частки дозвільного сигналу навіть при одночасному зростанні інтенсивності ТП, проте лише до певного граничного її значення в 1100 зведених од/год, а далі починається зростання величини середньої довжини черги.

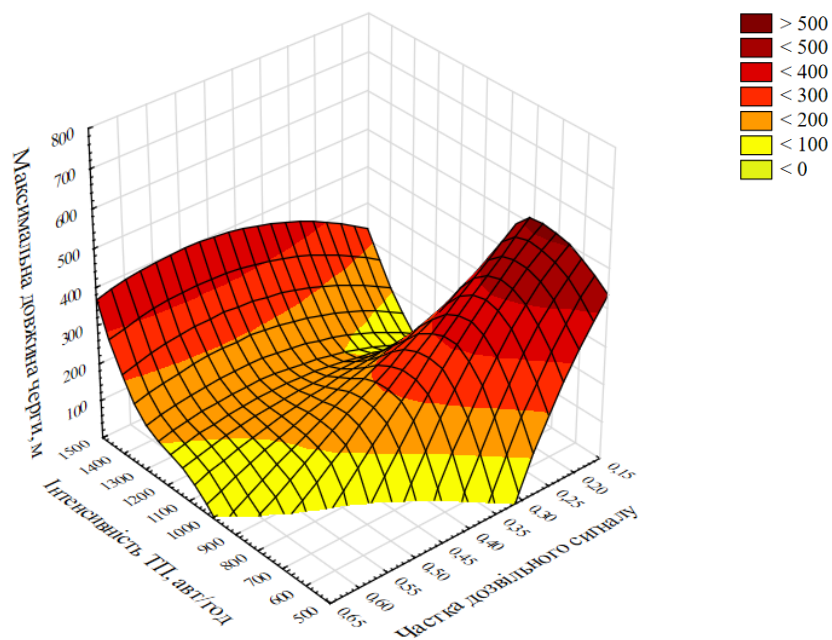


Рис. 3.20. Зміна максимальної довжини черги ТЗ ( $l_{\text{черг}}^{\text{max}}$ ) на ділянці досліджень залежно від інтенсивності ТП ( $N_{\text{ТП}}$ ) та частки дозвільного сигналу у СФЦ ( $\eta_0$ )

Залежність, наведена на рис. 3.20, описується рівністю:

$$l_{\text{черг}}^{\text{max}} = 1487,3619 - 1,6716 \cdot N_{\text{ТП}} - 1798,3885 \cdot \eta_0 + 0,0003 \cdot N_{\text{ТП}}^2 + 2,8512 \cdot N_{\text{ТП}} \cdot \eta_0 - 2055,662 \cdot \eta_0^2 \quad (3.2)$$

Значення максимальної довжини черги, які можуть виникати на експериментальній ділянці, мають дещо схожі тенденції з результатами моделювання середньої довжини черги, що є очевидним за однакових початкових даних. Поряд з цим, максимальні довжини черг близько 400 м є для експериментальних ділянок критичними, оскільки показують велику імовірність блокування не лише ділянки прогону, але й всієї відстані між стоп-лініями, яка включає в себе і зону перехрестя. Слід також розуміти, що у таких чергах окрім ТЗ загального ТП простояє також і ГТ. Бачимо також, що залежність, зображена на рис. 3.20 та описана рівністю 3.2, має більший розкид значень показника максимальної довжини черги незалежно від частки дозвільного сигналу у СФЦ та інтенсивності руху, враховуючи випадковий процес прибуття ТЗ.

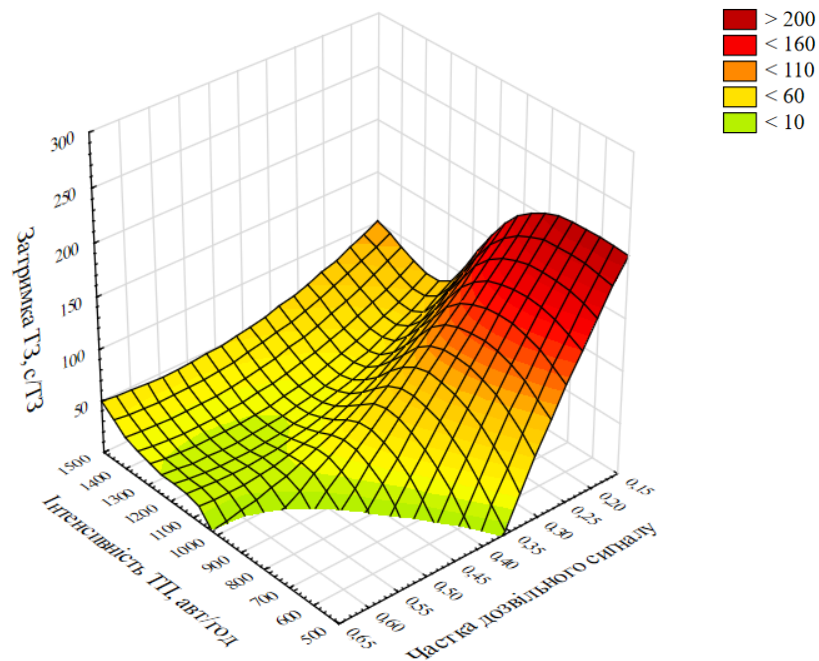


Рис. 3.21. Зміна затримки ТЗ ( $\Delta t$ ) на ділянці досліджень залежно від інтенсивності ТП ( $N_{\text{ТП}}$ ) та частки дозвільного сигналу у СФЦ ( $\eta_0$ )

Залежність, наведена на рис. 3.21, описується рівністю:

$$\Delta t = 507,8751 - 0,2721 \cdot N_{ТП} - 1234,8909 \cdot \eta_0 - 2,1035 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot N_{ТП}^2 + 0,7048 \cdot N_{ТП} \cdot \eta_0 + 259,822 \cdot \eta_0^2 \quad (3.3)$$

На рис. 3.21 описано зміну затримки в русі під час проїзду експериментальної ділянки з різною довжиною прогонів, яка виникає з розрахунку на один ТЗ. Її максимальна величина в межах 150–200 с також формується під впливом частки дозвільного сигналу 0,15–0,25 навіть при невеликих інтенсивностях руху. Найменші значення затримки одного ТЗ досягаються при значенні частки дозвільного сигналу понад 0,50. Звичайно, частку дозвільного сигналу можна збільшувати, виходячи з нормативних значень тривалості СФЦ 25–120 с, проте, лише при двофазному регулюванні.

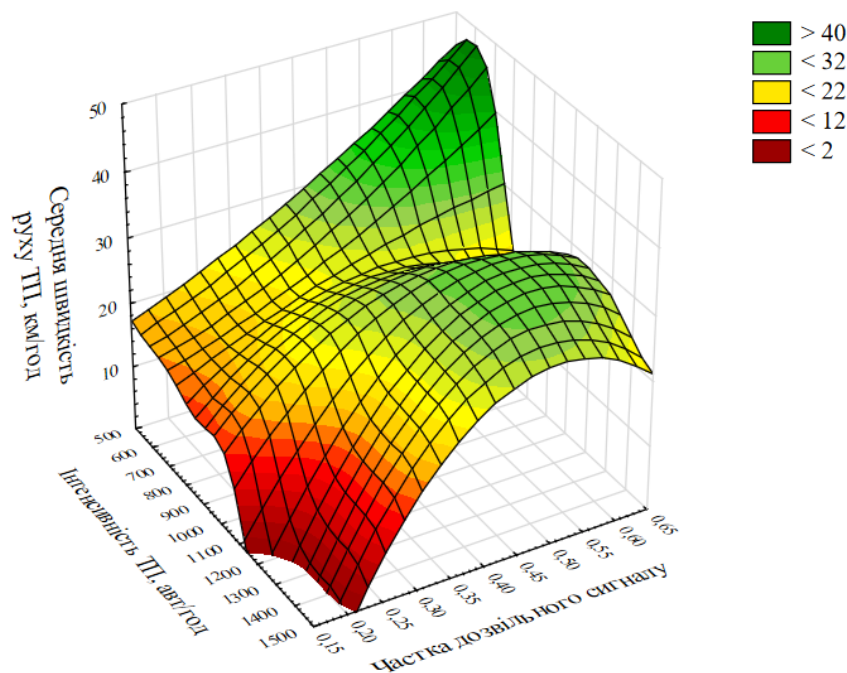


Рис. 3.22. Зміна середньої швидкості руху ТП ( $\bar{V}_{ТП}$ ) на ділянці досліджень залежно від інтенсивності ТП ( $N_{ТП}$ ) та частки дозвільного сигналу у СФЦ ( $\eta_0$ )

Залежність, наведена на рис. 3.22, описується рівністю:

$$\bar{V}_{ТП} = -15,8143 + 0,0513 \cdot N_{ТП} + 54,2112 \cdot \eta_0 - 4,8828 \cdot 10^{-5} - \\ - 5 \cdot N_{ТП}^2 + 0,1344 \cdot N_{ТП} \cdot \eta_0 - 207,024 \cdot \eta_0^2 \quad (3.4)$$

З рис. 3.22 та рівності (3.4), яка описує залежність, зображену на ньому, прослідковується обернений зв'язок між витратами часу та швидкістю руху, тобто чим більші черги та затримки ТЗ у них, тим менші швидкості руху досягаються у ТП. Отже, тут також є критичними для швидкості значення частки дозвільного сигналу в СФЦ на рівні 0,15–0,20, оскільки коротка тривалість цього сигналу не дозволяє набути ТП достатніх значень потоку насичення. Найкращі значення швидкостей як для міської магістральної вулиці регульованого руху, а саме в діапазоні 30–45 км/год, досягаються за частки дозвільного сигналу понад 0,50. Відомості про швидкість руху за різних «транспортних сценаріїв» під час ІМ є критично важливими в умовах дії СКР.

Враховуючи результати аналізу результатів моделювання за існуючої схеми ОДР на експериментальній ділянці визначено, що критично важливими показниками є частка дозвільного сигналу у СФЦ та гранична інтенсивність ТП близько 1100 зведених од/год на три смуги руху, які обслуговують транзитні (прямі) ТП та з яких передбачено реалізацію інтенсивних поворотних потоків ліворуч та праворуч.

Такий підхід дав змогу ідентифікувати ділянки з найбільшою затримкою руху, виявити «вузькі місця» в інфраструктурі та оцінити рівень завантаженості вулично-дорожньої мережі.

Основною метою моделювання, крім оцінки довжини черг, було також виявлення можливостей щодо зниження затримок для транспортних засобів шляхом оптимізації режимів світлофорного регулювання. Особливу увагу необхідно приділяти дослідженню впливу впровадження пріоритизації громадського транспорту – як за рахунок змін у тривалості фаз сигналів світлофора, так і через організацію виділених смуг руху.

Такий підхід дозволяє оцінити ефективність функціонування транспортної інфраструктури за умов змінної інтенсивності транспортного потоку, а також сприяє розробці більш гнучких стратегій управління рухом. Використання різних варіантів налаштувань, що включають пріоритет для громадського транспорту, забезпечує основу для покращення загального рівня обслуговування на ключових перехрестях міста та зменшення часу перебування транспортних засобів у зоні очікування.

### 3.4. Висновки з розділу

1. За результатами дослідження показників пасажирського потоку на маршрутній мережі встановлено такі їх значення: середнє заповнення рухомого складу громадського транспорту протягом дня є таким: тролейбуси – 0,29; автобуси малої місткості – 0,57; автобуси великої місткості – 0,51. Граничні максимальні значення на тролейбусних маршрутах зафіксовано на рівні 0,70, для автобусних маршрутів, які обслуговуються автобусами малої місткості – 1,2, а для автобусних маршрутів, які обслуговуються автобусами великої місткості – 0,90 у пікові періоди. Виходячи з цього, продовження тривалості дозвільного сигналу у стрічках часу, враховуючи величину пасажирського потоку, відбуватиметься вкрай рідно, у пікові періоди, тривалістю до 1,5 год для кожного.

2. На магістральних вулицях з координованим рухом з метою забезпечення одночасно і просторової, і часової пріоритизації громадського транспорту зупинкові пункти слід розміщувати після проїзду перехрестя, незалежно від розміщення місць генерації пасажирських потоків. За практично однакових режиму світлофорного регулювання та геометричних параметрів проїзної частини тривалість проїзду автобусами (тролейбусами) зони регульованого перехрестя на виділених смугах є на 50–55% меншою у порівнянні зі схемами руху, коли вони рухаються у структурі загального транспортного потоку.

3. Забезпечення одночасної часової та просторової пріоритизації громадського транспорту в умовах координованого управління рухом на двосмугових магістральних вулицях (облаштовані заїзні кишені зупинкових пунктів після проїзду перехрестя) дозволяє зменшити тривалість проїзду ним зони дії регульованих перехресть, а також всієї вулиці у приблизно 3–4 рази порівняно з схемами руху, коли цей вид транспорту рухається у змішаному загальному потоці і має зупинкові пункти перед перехрестями.

4. Середня тривалість обслуговування на зупинкових пунктах для периферійної частини міста становить 32 с, що відповідає частоті 61%; для середмістя – 48 с, що відповідає частоті 49%, а для центральної частини міста 93 с при частоті частотою 29 %.

5. З погляду формування черг на прогонах з довжиною до 400 м оптимальним значенням частки дозвільного сигналу в циклі регулювання є 0,50, критичні умови (формування черг, які можуть блокувати суміжні перехрестя) настають при значеннях частки дозвільного сигналу менше за 0,25.

## РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З  
УРАХУВАННЯМ ПРІОРИТЕТУ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ4.1. Результати дослідження зміни показників загального транспортного  
потoku та громадського транспорту при зміні інтенсивності руху та часових  
параметрів світлофорного регулювання

На основі базової моделі, описаної у підрозділі 3.3, проведено ІМ з метою визначення середньої та максимальної довжини черги, затримки ТЗ ГТ та загального ТП, а також середню швидкість руху за таких дорожньо-транспортних ситуацій:

- ситуація 1 – збільшення інтенсивності руху на 5, 10, 15, 20% без зміни часових параметрів (дозвільного сигналу) СФЦ на всіх перехрестях СКР без виділених смуг для ГТ (результати ІМ наведено у таблиці Б1 додатку Б);

- ситуація 2 – збільшення інтенсивності руху на 5, 10, 15, 20% з таким же відсотковим кроком збільшення частки дозвільного сигналу у СФЦ на всіх перехрестях СКР без виділених смуг для ГТ (результати ІМ наведено у таблиці Б2 додатку Б);

- ситуація 3 – збільшення інтенсивності руху на 5, 10, 15, 20% без зміни часових параметрів (дозвільного сигналу) СФЦ на всіх перехрестях СКР з облаштуванням виділених смуг для ГТ (результати ІМ наведено у таблиці Б3 додатку Б);

- ситуація 4 – збільшення інтенсивності руху на 5, 10, 15, 20% з таким же відсотковим кроком збільшення частки дозвільного сигналу у СФЦ на всіх перехрестях СКР з облаштуванням виділених смуг для ГТ (результати ІМ наведено у таблиці Б4 додатку Б).

Для усіх зазначених ситуацій показник інтенсивності руху замінено на показник рівня завантаження, оскільки виділену смугу для ГТ було облаштовано на крайній правій смузі, тобто поширення ПЧ не відбувалось.

Особливості моделювання:

1) інтенсивність руху збільшувалась лише на головному (вхідному) напрямку, тобто всі інші перехрестя магістральної вулиці обслуговували цю вхідну інтенсивність за сталих, а пізніше змінних часових параметрів регулювання;

2) у СКР на РП передбачено дво-, три-, та чотирифазне СФР, тому слід проводити зміну частки дозвільного сигналу у СФЦ таким чином, щоб забезпечити мінімум такого сигналу на конфліктуючих напрямках, враховуючи максимально дозволена тривалість СФЦ 120 с.

Результати моделювання для ситуації 1 наведено на рис. 4.1.

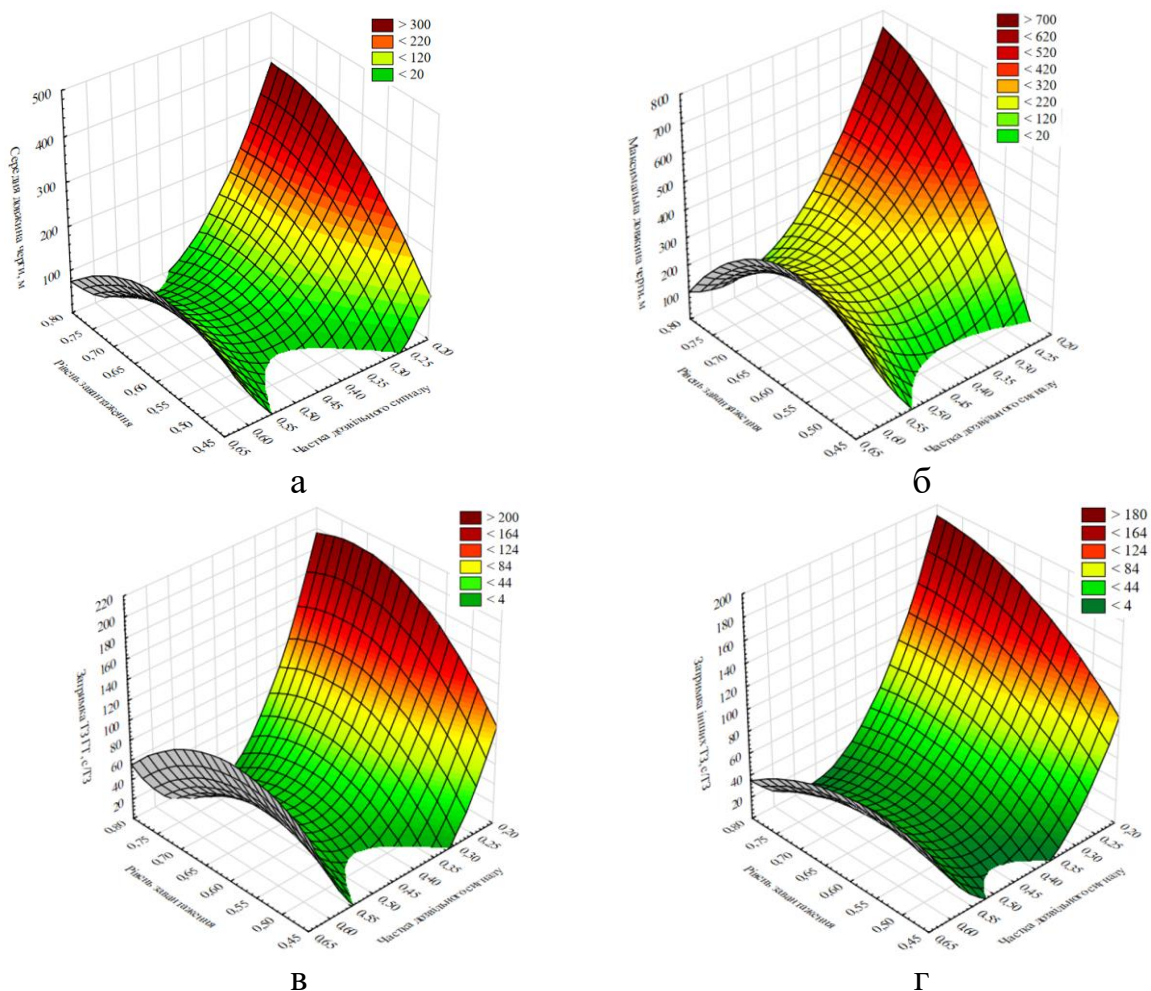
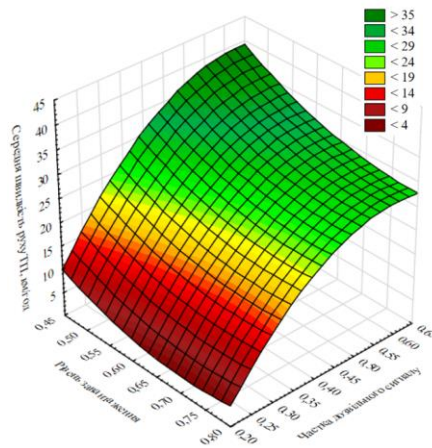


Рис. 4.1. Залежність середньої ( $\bar{l}_{\text{черг}}$ ) (а), максимальної ( $l_{\text{черг}}^{\text{max}}$ ) (б) довжини черг, затримки ТЗ ГТ ( $\Delta t_{\text{ГТ}}$ ) (в), затримки інших ТЗ ( $\Delta t_{\text{ПП}}$ ) (г) та середньої швидкості руху ( $\bar{V}_{\text{ПП}}$ ) (д) від рівня завантаження ПЧ ( $z$ ) та частки дозвільного сигналу ( $\eta_0$ ) на напрямку координації



Д

Продовження рис. 4.1.

Рівняння апроксимації та коефіцієнт детермінації для графіків залежностей, зображених на рис. 4.1, наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Зміна середньої, максимальної довжини черг, затримки ТЗ ГТ, затримки інших ТЗ та середньої швидкості руху від рівня завантаження ПЧ та частки дозвільного сигналу на напрямку координації (ситуація 1)

| Рівняння апроксимації                                                                                                                                                      | Коефіцієнт детермінації $R^2$ | Номер формули |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| $\bar{l}_{\text{черг}} = -844,5697 + 4422,4881 \cdot z - 2489,5025 \cdot \eta_0 - 2488,3191 \cdot z^2 + 2446,0467 \cdot z \cdot \eta_0 + 4406,7118 \cdot \eta_0^2$         | 0,7985                        | 4.1           |
| $l_{\text{черг}}^{\text{max}} = -3805,5502 + 11762,5055 \cdot z + 163,8834 \cdot \eta_0 - 6103,8372 \cdot z^2 - 7481,3152 \cdot z \cdot \eta_0 + 5177,6142 \cdot \eta_0^2$ | 0,4467                        | 4.2           |
| $\Delta t_{\text{ГТ}} = -263,303 + 2186,2264 \cdot z - 1840,0049 \cdot \eta_0 - 1390,208 \cdot z^2 - 854,6781 \cdot z \cdot \eta_0 + 2602,6813 \cdot \eta_0^2$             | 0,8570                        | 4.3           |
| $\Delta t_{\text{ПЧ}} = -91,1419 + 1285,2172 \cdot z - 1267,3082 \cdot \eta_0 - 680,7981 \cdot z^2 - 823,4557 \cdot z \cdot \eta_0 + 1859,6291 \cdot \eta_0^2$             | 0,8816                        | 4.4           |
| $\bar{V}_{\text{ПЧ}} = 14,1304 - 125,0253 \cdot z + 214,45 \cdot \eta_0 + 93,4013 \cdot z^2 - 38,5036 \cdot z \cdot \eta_0 - 155,4152 \cdot \eta_0^2$                      | 0,8490                        | 4.5           |

При ситуації 1 отримано такі закономірності зміни показників у порівнянні з базовою моделлю:

– максимальне значення середньої довжини черги становить близько 400 м, проте різко зростають показники максимальної довжини черги –

значення є понад 700 м у порівнянні з граничними значеннями близько 500 м у базовій моделі, тобто збільшення інтенсивності руху на 20 % без зміни частки дозвільного сигналу дає збільшення максимальної довжини черги на близько 28 %. Тобто, враховуючи довжини прогонів, прийнятих для моделювання (табл. 3.7), існує велика імовірність, що практично всі перехрестя в системі координації будуть заблоковані;

- затримки ТЗ ГТ та ТЗ загального ТП мають однакові тенденції зміни і практично становлять близько 200–220 с на один ТЗ. Це закономірно, оскільки для ТЗ ГТ відсутній пріоритет;

- спостерігається обернена залежність між збільшенням затримок ТЗ у ТП так їх середньою швидкістю руху, яка становить близько 40 км/год, що є менше за близько 46 км/год у порівнянні з базовою моделлю (зменшення на близько 13 %).

- для усіх залежностей (табл. 4.1) отримано досить високі значення коефіцієнтів детермінації (0,80–0,88), окрім максимальної довжини черги (0,45), що характерно для моделей, у яких обмежено довжину прогону, оскільки моделюється реальна ділянка ВДМ;

- найменші значення середньої та максимальної довжини черг, а також затримки на один ТЗ є при значеннях частки дозвільного сигналу в межах від 0,4 до 0,5, тобто за умов, коли тривалість часу, за який черга накопичується, відповідає тривалості часу, за який вона роз'їжджається. Збільшення цих показників під час зростання частки дозвільного сигналу, що на перший погляд може видаватись нелогічним, пояснюється збільшенням швидкості роз'їзду черги на триваліший дозвільний сигнал (збільшення потоку насичення), а також тим, що швидкісна група, представлена легковими автомобілями, підходить з деяким випередженням (до увімкнення дозвільного сигналу) на наступну стоп-лінію, створюючи тим самим додаткову затримку. Також певний вплив можуть мати ТЗ ГТ, які мають затримку на ЗП, пов'язану з посадкою-висадкою пасажирів.

Результати моделювання для ситуації 2 наведено на рис. 4.2.

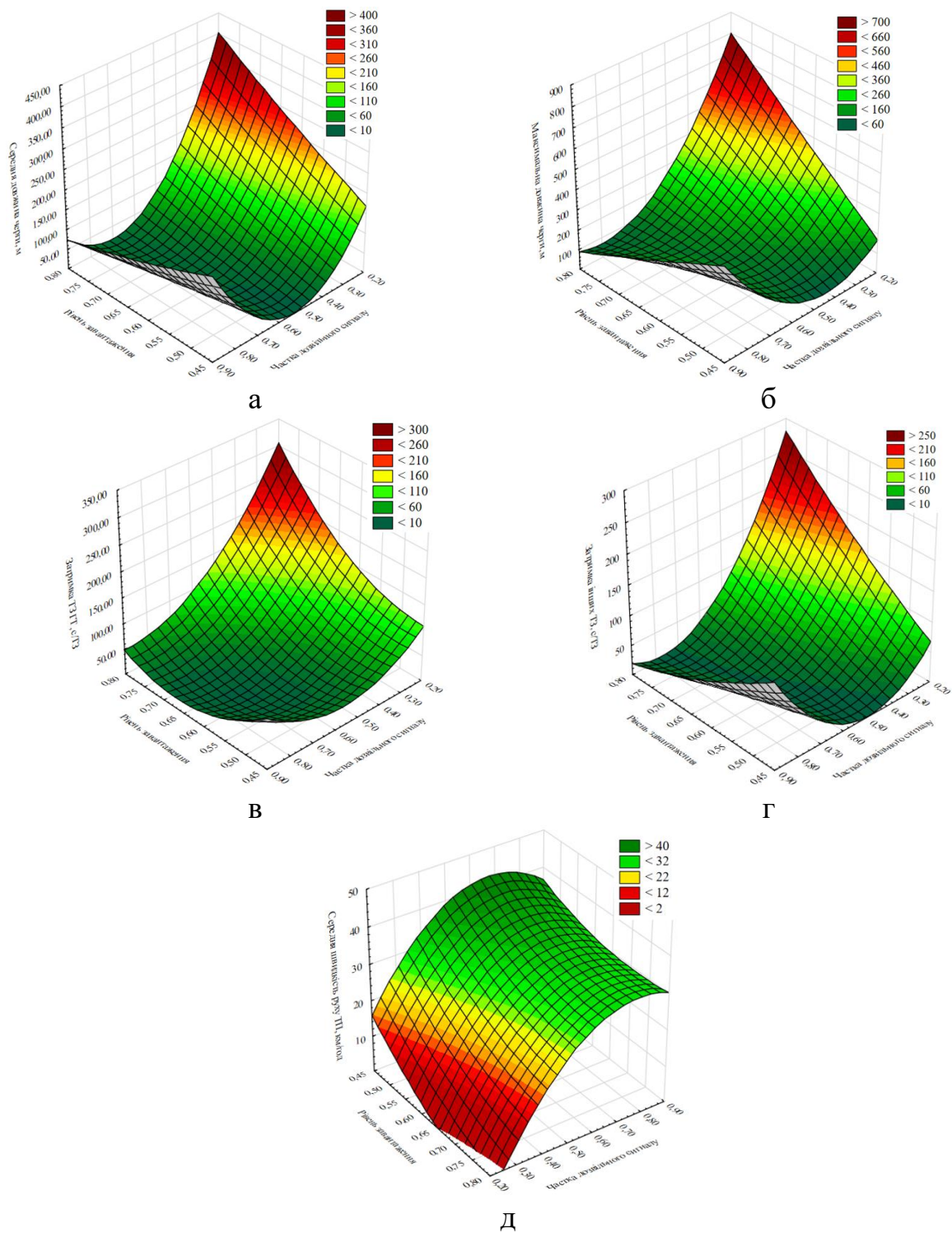


Рис. 4.2. Залежність середньої ( $\bar{l}_{\text{черг}}$ ) (а), максимальної ( $l_{\text{черг}}^{\text{max}}$ ) (б) довжини черг, затримки ТЗ ГТ ( $\Delta t_{\text{ГТ}}$ ) (в), затримки інших ТЗ ( $\Delta t_{\text{ТП}}$ ) (г) та середньої швидкості руху ( $\bar{v}_{\text{ТП}}$ ) (д) від рівня завантаження ПЧ ( $z$ ) та частки дозвільного сигналу ( $\eta_0$ ) на напрямку координації

Рівняння апроксимації та коефіцієнт детермінації для графіків залежностей, зображених на рис. 4.2, наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Зміна середньої, максимальної довжини черг, затримки ТЗ ГТ, затримки інших ТЗ та середньої швидкості руху від рівня завантаження ПЧ та частки дозвільного сигналу на напрямку координації (ситуація 2)

| Рівняння апроксимації                                                                                                                                                  | Коефіцієнт детермінації $R^2$ | Номер формули |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| $\bar{l}_{\text{черг}} = 87,0243 + 644,6313 \cdot z - 937,9547 \cdot \eta_0 + 258,8863 \cdot z^2 - 1503,1164 \cdot z \cdot \eta_0 + 1522,0676 \cdot \eta_0^2$          | 0,8183                        | 4.6           |
| $l_{\text{черг}}^{\text{max}} = -674,9193 + 2402,3802 \cdot z + 78,5235 \cdot \eta_0 + 185,7635 \cdot z^2 - 4141,1897 \cdot z \cdot \eta_0 + 2015,7807 \cdot \eta_0^2$ | 0,6894                        | 4.7           |
| $\Delta t_{\text{ГТ}} = 430,9541 - 1209,6201 \cdot z - 145,914 \cdot \eta_0 + 1579,4708 \cdot z^2 - 1005,349 \cdot z \cdot \eta_0 + 529,3945 \cdot \eta_0^2$           | 0,6568                        | 4.8           |
| $\Delta t_{\text{ТП}} = -61,7981 + 391,6775 \cdot z - 181,2137 \cdot \eta_0 + 392,9522 \cdot z^2 - 1373,1758 \cdot z \cdot \eta_0 + 823,9941 \cdot \eta_0^2$           | 0,8945                        | 4.9           |
| $\bar{V}_{\text{ТП}} = 61,6487 - 208,7072 \cdot z + 128,8259 \cdot \eta_0 + 103,8796 \cdot z^2 + 67,4447 \cdot z \cdot \eta_0 - 117,8676 \cdot \eta_0^2$               | 0,8724                        | 4.10          |

За результатами ІМ ситуації 2 (збільшення інтенсивності та частки дозвільного сигналу без пріоритету для ГТ) отримано такі закономірності зміни показників у порівнянні з базовою моделлю:

– оцінюючи середню та максимальну довжини черг, коли поряд зі збільшенням інтенсивності також збільшуємо на 20 % частку дозвільного сигналу у СЦФ на координованому напрямку, можна відзначити, що, незважаючи на подібність граничних значень цих показників із ситуацією 1, більшість отриманих проміжних значень показують зменшення довжини черги (відсоток зеленого тла на графіках залежностей) навіть при частках дозвільного сигналу 0,30–0,40. При чому така тенденція є характерною і для рівнів завантаження понад 0,75;

– середні значення затримки ТЗ ГТ та ТЗ загального ТП також мають однакові тенденції зміни, проте у більшості становлять менше 110–160 с на

один ТЗ, не зважаючи на досить невелику частку тих, де затримка становить понад 210 с на один ТЗ для загального ТП та значення понад 260 с на один ТЗ ГТ, що також відображає вплив тривалості обслуговування на ЗП, а також те, що виїхавши із ЗП ГТ може не потрапити в стрічку часу і матиме додаткову затримку, пов'язану з тривалістю заборонного сигналу;

– спостерігаємо також (рис. 4.2, д) деяке незначне збільшення середньої швидкості руху (понад 40 км/год) при частках дозвільного сигналу 0,60–0,80;

– для усіх залежностей (табл. 4.2) отримано більші значення коефіцієнтів детермінації (0,65–0,89), в тому числі і максимальної довжини черги (0,69), що показує зменшення імовірності утворення такої черги і, відповідно, блокування роботи суміжних перехресть;

– найменші значення середньої (близько 40 м) та максимальної (близько 80 м) довжини черг, а також затримки 50 та 20 с на один ТЗ відповідно ГТ та загального ТП є при значеннях частки дозвільного сигналу в межах від 0,5 до 0,6. Тенденції є аналогічними до ситуації 1.

Результати моделювання для ситуації 3 наведено на рис. 4.3.

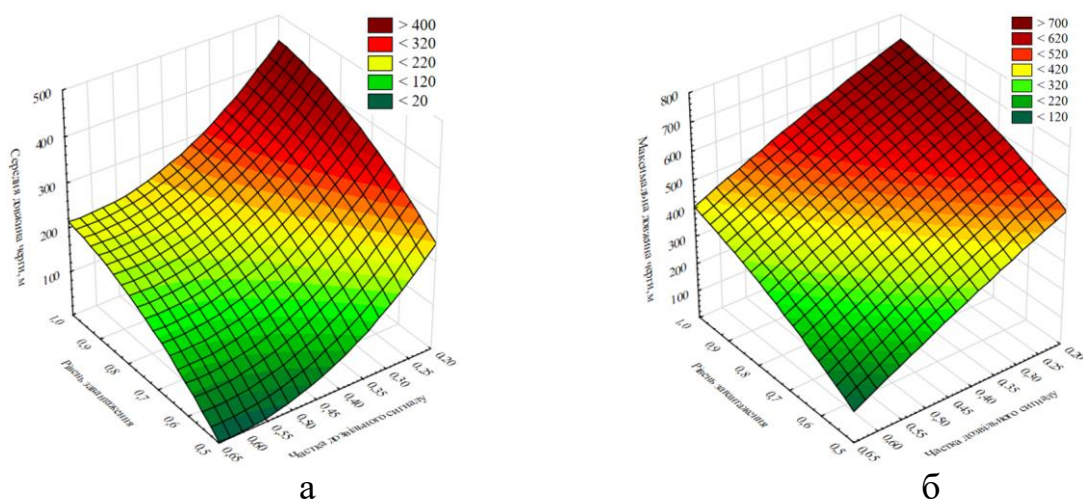
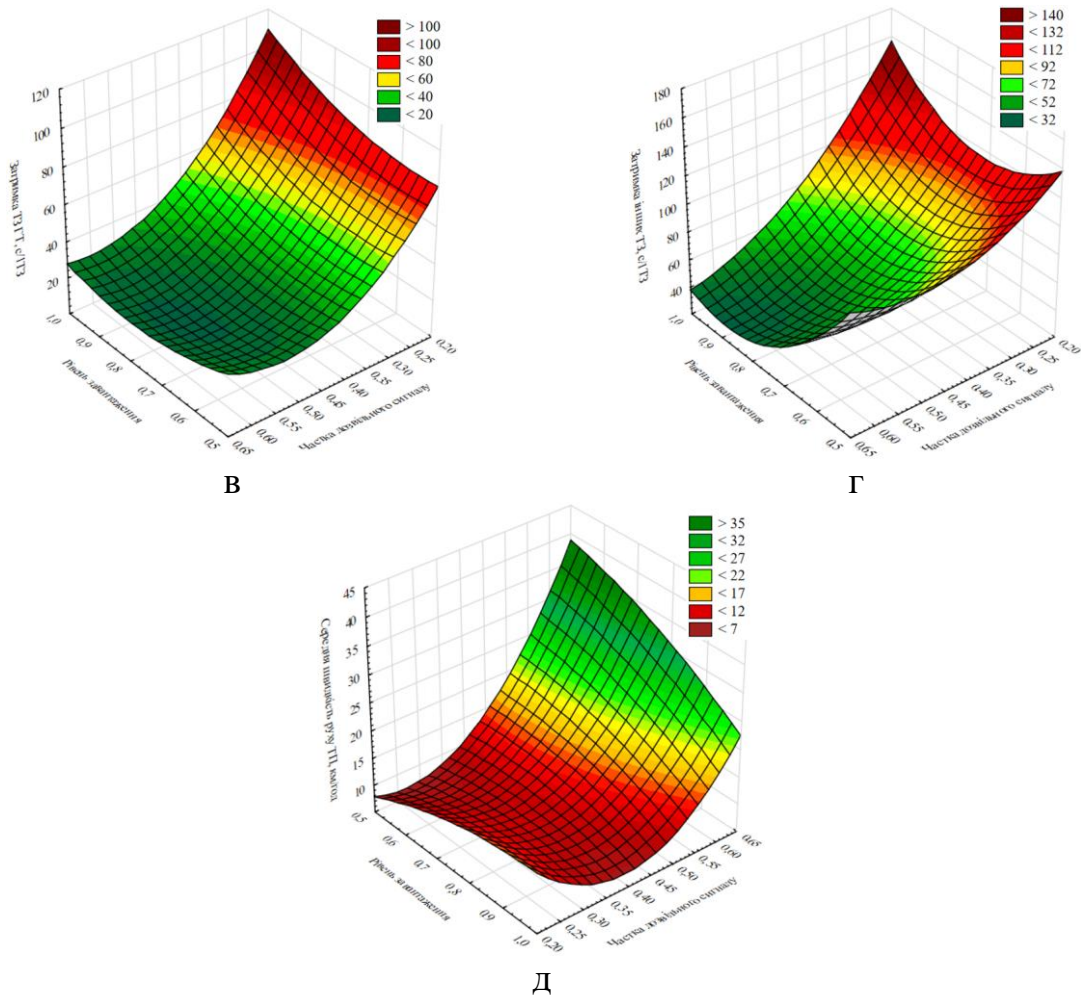


Рис. 4.3. Залежність середньої ( $\bar{l}_{\text{черг}}$ ) (а), максимальної ( $l_{\text{черг}}^{\text{max}}$ ) (б) довжини черг, затримки ТЗ ГТ ( $\Delta t_{\text{ГТ}}$ ) (в), затримки інших ТЗ ( $\Delta t_{\text{ТП}}$ ) (г) та середньої швидкості руху ( $\bar{V}_{\text{ТП}}$ ) (д) від рівня завантаження ПЧ ( $z$ ) та частки дозвільного сигналу ( $\eta_0$ ) на напрямку координації



Д  
Продовження рис. 4.3

Рівняння апроксимації та коефіцієнт детермінації для графіків залежностей, зображених на рис. 4.3, наведено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Зміна середньої, максимальної довжини черг, затримки ТЗ ГТ, затримки інших ТЗ та середньої швидкості руху від рівня завантаження ПЧ та частки дозвільного сигналу на напрямку координації (ситуація 3)

| Рівняння апроксимації                                                                                                                                        | Коефіцієнт детермінації $R^2$ | Номер формули |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| 1                                                                                                                                                            | 2                             | 3             |
| $\bar{l}_{\text{черг}} = 8,708 + 1298,7397 \cdot z - 1628,5434 \cdot \eta_0 - 593,9335 \cdot z^2 + 23,8167 \cdot z \cdot \eta_0 + 1286,4718 \cdot \eta_0^2$  | 0,6868                        | 4.11          |
| $l_{\text{черг}}^{\max} = 190,1173 + 1068,9253 \cdot z - 768,6338 \cdot \eta_0 - 440,7409 \cdot z^2 + 273,6744 \cdot z \cdot \eta_0 - 216,13 \cdot \eta_0^2$ | 0,5765                        | 4.12          |
| $\Delta t_{\text{ГТ}} = 193,3387 - 122,4277 \cdot z - 454,5805 \cdot \eta_0 + 139,6501 \cdot z^2 - 151,3389 \cdot z \cdot \eta_0 + 500,0366 \cdot \eta_0^2$  | 0,8633                        | 4.13          |

Продовження табл. 4.3

| 1                                                                                                                                                            | 2      | 3    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|
| $\Delta t_{III} = 413,2736 - 667,1221 \cdot z - 252,1744 \cdot \eta_0 +$<br>$+ 520,6851 \cdot z^2 - 388,4003 \cdot z \cdot \eta_0 + 444,0406 \cdot \eta_0^2$ | 0,7833 | 4.14 |
| $\bar{V}_{III} = -11,9489 + 85,0112 \cdot z - 64,1161 \cdot \eta_0 -$<br>$- 31,57 \cdot z^2 - 108,6902 \cdot z \cdot \eta_0 + 220,752 \cdot \eta_0^2$        | 0,5183 | 4.15 |

За результатами ІМ ситуації 3 показники черги, затримки та швидкості руху є найвищими (серед усіх чотирьох ситуацій) на всіх залежностях рис. 4.3, окрім затримки ТЗ ГТ (рис. 4.3, в), для якого облаштовано виділену смугу за рахунок смуги, яка до цього обслуговувала загальний ТП (в тому числі і ГТ). Отже, тенденції є такими:

- загальна кількість випадків отриманих значень середньої довжини черги понад 400 м є набагато більшою у порівнянні з ситуацією 1 (також без збільшення частки дозвільного сигналу, проте без виділених смуг), а також таке перевантаження спостерігається навіть за частки дозвільного сигналу 0,35, коли у ситуації 1 аналогічний стан фіксувався при значеннях цієї частки близько 0,25;

- максимальна довжина черги 500–700 м займає близько 40 % залежності (рис. 4.3, б);

- затримка ТЗ ГТ, яка досягає значень близько 100 с на один ТЗ за частки дозвільного сигналу 0,20–0,25, є удвічі меншою, ніж за такої ж частки у ситуації 1, коли її значення були близько 200 с на один ТЗ, і формується в основному з двох складових: тривалістю обслуговування на ЗП та тривалістю простою на заборонний сигнал світлофора. Інколи спостерігається незначний вплив правоповоротних ТЗ, які реалізують цей маневр з виділеної смуги для ГТ. Затримки ТЗ загального ТП у середньому є більшими, ніж у ситуації 1.

- середня швидкість руху загального ТП на 2/3 площини становить менше 25 км/год, тобто її значення за ситуацій 1 та 3 є дзеркально відмінними за всіх розглянутих рівнів завантаження та частки дозвільного сигналу до 0,60 у загальній тривалості СФЦ;

– показники рівня детермінації для максимальної довжини черги та середньої швидкості ТП є відносно низькими (0,52–0,58) і характерні в умовах перевантаження прогону, яке спостерігається у загальному ТП, дещо вищими є значення коефіцієнта детермінації для середньої черги та затримок, які припадають на один ТЗ (0,69–0,86).

Навіть без збільшення частки дозвільного сигналу бачимо ефективність впровадження виділеної смуги для руху ГТ, що, враховуючи наявність регламентованих затримок на ЗП та стоп-лініях, тривалість проїзду ТЗ ГТ зменшується удвічі.

Результати моделювання для ситуації 4 наведено на рис. 4.4.

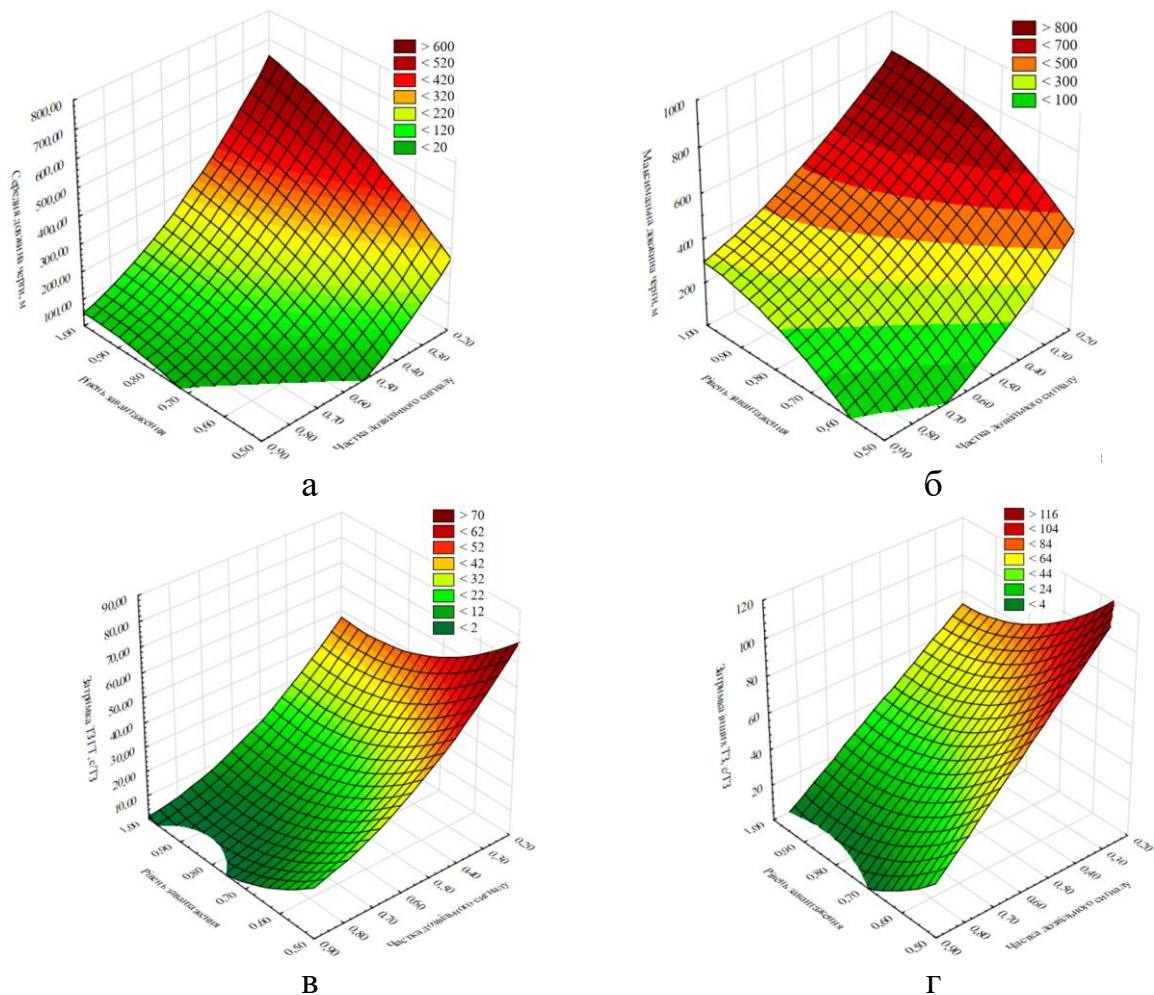
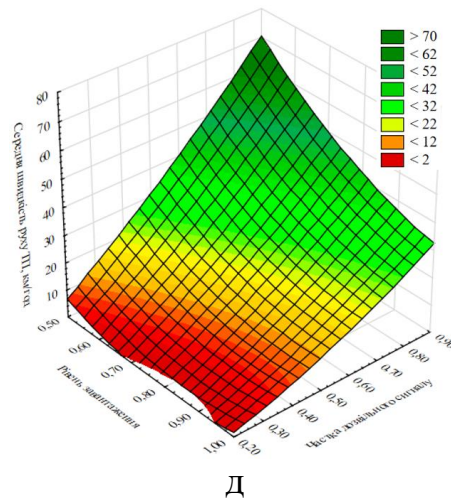


Рис. 4.4. Залежність середньої ( $\bar{l}_{\text{черг}}$ ) (а), максимальної ( $l_{\text{черг}}^{\text{max}}$ ) (б) довжини черг, затримки ТЗ ГТ ( $\Delta t_{\text{ГТ}}$ ) (в), затримки інших ТЗ ( $\Delta t_{\text{ТП}}$ ) (г) та середньої швидкості руху ( $\bar{V}_{\text{ТП}}$ ) (д) від рівня завантаження ПЧ ( $z$ ) та частки дозвільного сигналу ( $\eta_0$ ) на напрямку координації

Д  
Продовження рис. 4.4

Рівняння апроксимації та коефіцієнт детермінації для графіків залежностей, зображених на рис. 4.4, наведено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Зміна середньої, максимальної довжини черг, затримки ТЗ ГТ, затримки інших ТЗ та середньої швидкості руху від рівня завантаження ПЧ та частки дозвільного сигналу на напрямку координації (ситуація 4)

| Рівняння апроксимації                                                                                                                                                  | Коефіцієнт детермінації $R^2$ | Номер формули |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| $\bar{l}_{\text{черг}} = -290,7539 + 1927,4833 \cdot z - 1011,1362 \cdot \eta_0 - 701,2225 \cdot z^2 - 608,8638 \cdot z \cdot \eta_0 + 704,7748 \cdot \eta_0^2$        | 0,7204                        | 4.16          |
| $l_{\text{черг}}^{\text{max}} = -367,3484 + 2870,5843 \cdot z - 1460,9987 \cdot \eta_0 - 1438,5349 \cdot z^2 + 147,563 \cdot z \cdot \eta_0 + 506,7244 \cdot \eta_0^2$ | 0,7126                        | 4.17          |
| $\Delta t_{\text{ГТ}} = 224,8202 - 320,7751 \cdot z - 176,609 \cdot \eta_0 + 169,6769 \cdot z^2 + 30,4932 \cdot z \cdot \eta_0 + 72,8777 \cdot \eta_0^2$               | 0,8114                        | 4.18          |
| $\Delta t_{\text{ІІІ}} = 362,2553 - 520,6734 \cdot z - 186,8478 \cdot \eta_0 + 253,4748 \cdot z^2 + 76,0689 \cdot z \cdot \eta_0 - 2,0902 \cdot \eta_0^2$              | 0,8436                        | 4.19          |
| $\bar{V}_{\text{ІІІ}} = 33,1033 - 125,0764 \cdot z + 111,4433 \cdot \eta_0 + 89,026 \cdot z^2 - 93,3182 \cdot z \cdot \eta_0 + 23,7146 \cdot \eta_0^2$                 | 0,7781                        | 4.20          |

Результати ІМ ситуації 4 демонструють зменшення показників середньої та максимальної довжини черг, а також затримок на один ТЗ як для ТЗ ГТ, так і для ТЗ загального ТП у порівнянні із ситуацією 3. Натомість величина

середньої швидкості руху завдяки пропорційному збільшенню частки дозвільного сигналу підвищується. Загальні закономірності наступні:

- середня довжина черги досягає значень понад 240 м при рівні завантаження близько 0,70 та частці дозвільного сигналу близько 0,40. За таких же значень цих показників середня довжина черги для ситуації 2 (також зі збільшенням частки дозвільного сигналу проте без виділених смуг для ГТ) становить 110–160 м, а для ситуації 3 (без збільшення частки дозвільного сигналу, але також із виділеними смугами для ГТ) – понад 300 м.;

- у близько 30 % випадках величина максимальної довжини черги становить 270–500 м. При таких значеннях цього показника ризик блокування суміжних СФО виникає лише на менших за свою довжиною прогонах;

- максимальні значення затримки на один ТЗ ГТ (60–80 с) при частці дозвільного сигналу менше 0,30 зменшились у порівнянні із ситуацією 3 на близько 30%. Затримки на один ТЗ для загального ТП у більшості випадків становлять менше 100 с;

- значення середньої швидкості руху понад 25 км/год досягаються вже при частці дозвільного сигналу понад 0,50 практично для будь-якого рівня завантаження;

Пропорційне збільшення частки дозвільного сигналу нівелює підвищення інтенсивності, навіть за умови виділення смуги для ГТ за рахунок смуги, яка раніше обслуговувала загальний ТП на трисмуговій ПЧ. Таким чином значного підвищення показників черг і затримок як для ТЗ ГТ, так і для ТЗ загального ТП не спостерігається. За умови облаштування виділеної смуги на двосмугових напрямках загальний ТП краще групується і ці групи є цілісніші, тому в певній мірі за умови компенсації дозвільного сигналу не відбувається критичної ситуації.

#### 4.2. Вибір раціональних параметрів розміщення зупинкових пунктів на магістральних ділянках вулично-дорожньої мережі в умовах просторової та часової пріоритизації громадського транспорту

Під час моделювання проїзду РП в СКР за різних ситуацій враховувався існуючий стан щодо облаштування ЗП ГТ, які, відповідно до нормативів, розміщені перед стоп-лініями, а у деяких досить рідкісних випадках за перехрестям. Отримані затримки для ГТ навіть з урахуванням більшої частки дозвільного сигналу на виділених смугах, як відзначалось раніше, в основному пов'язані із затримкою на ЗП, а також з тим, що під час його (ГТ) під'їзду до стоп-лінії вмикався заборонний сигнал, тривалість якого була складовою цієї затримки. Також під час моделювання у PTV Vissim враховувалась така ситуація, коли після перетину перехрестя за інтенсивного руху ГТ ЗП був зайнятий й інші автобуси на лінії могли блокувати перехрестя або ж мали певну затримку, пов'язану з маневром зміни смуги руху, оскільки намагались покинути зону перехрестя під час своєї фази. Отже, розміщення ЗП в зоні перехрестя за інтенсивного руху ГТ може мати суттєвий вплив на ефективність пофазного роз'їзду та формувати додаткові технологічні затримки руху (рис. 4.5).

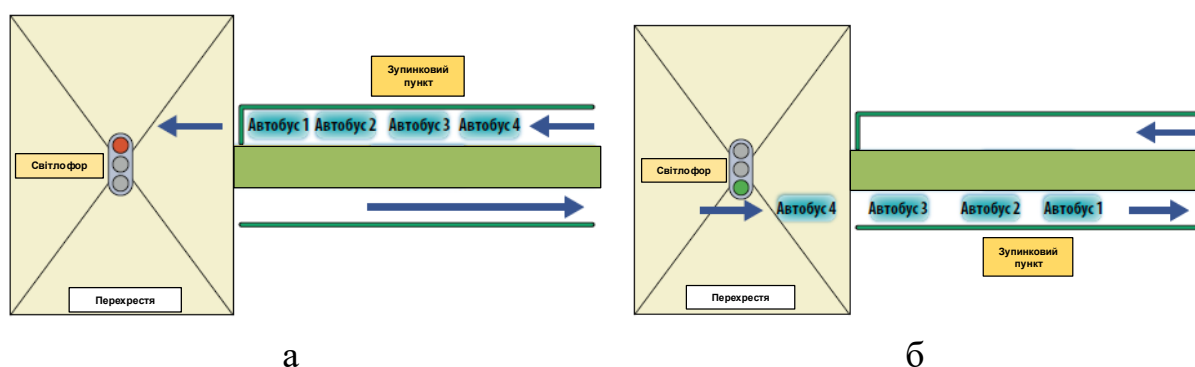


Рис. 4.5. Візуалізація процесу утворення затримки, спричиненої розміщенням ЗП на підході до РП (а) та на виїзді з РП (б)

Як відзначалось у підрозділі 2, розміщення ЗП в СКР руйнує стрічку часу навіть в умовах одночасної просторової та часової пріоритизації.

Розглянемо фрагмент такої стрічки часу, зображеної на рис. 4.6.

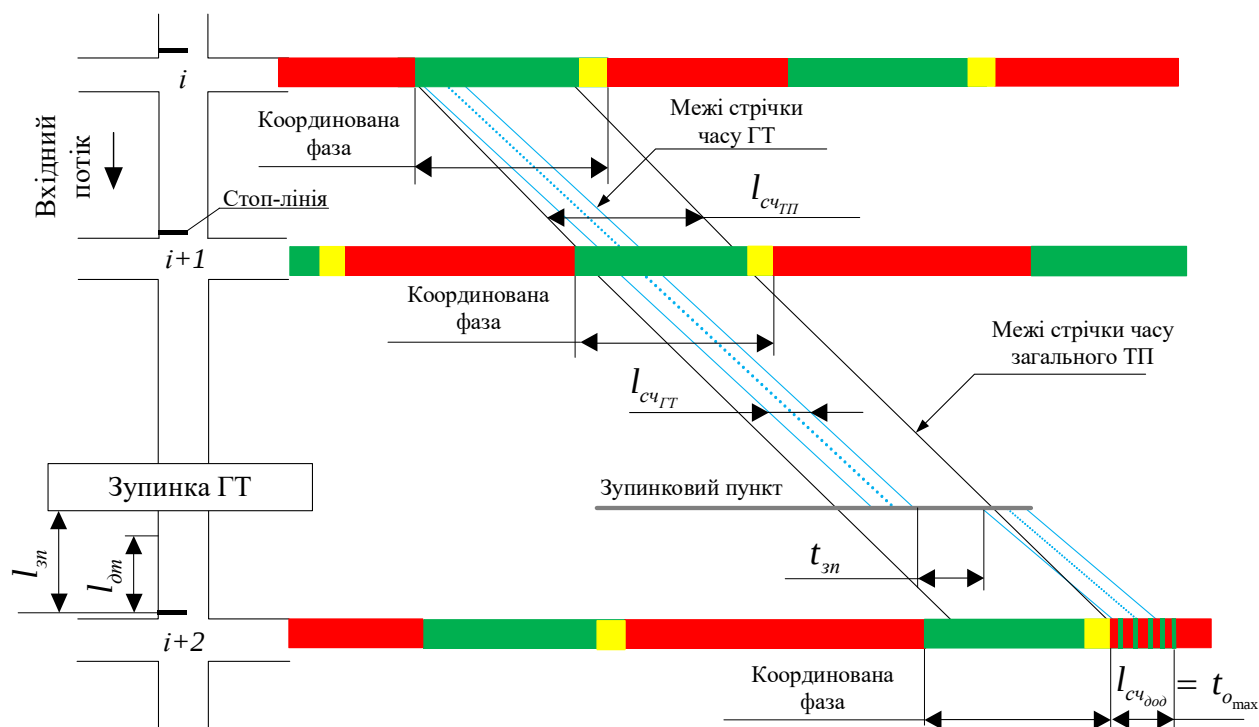


Рис. 4.6. Фрагмент графіка координації та процес зміни стрічки часу для ГТ та загального ТП

На рис. 4.6 зображено фрагмент графіка координації на трьох РП. Під час виїзду ТП з перехрестя  $i$ , для якого розраховано тривалість фази, як для ведучого перехрестя (головне перехрестя СКР, як правило – найзавантаженіше) у напрямку перехрестя  $i+1$  передбачено певну ширину стрічки часу для загального ТП ( $l_{сч_{ТП}}$ ) в межах якої також існує певна стрічка часу для ГТ ( $l_{сч_{ГТ}}$ ), який рухається окремою, виділеною для нього, смугою руху. Стрічка часу для ГТ є набагато меншою за тривалістю, аніж для загального ТП, що є логічним з погляду інтенсивності руху цього виду транспорту. За умови забезпечення стійкості груп ТЗ під час проїзду стоп-ліній від перехрестя  $i$  до перехрестя  $i+2$  ( $i+n$ , де  $n$  – кількість РП в СКР) забезпечується певна координована фаза з однаковою тривалістю на всіх РП. Межі стрічки часу для загального ТП мають однаковий кут нахилу, що означає

стабільність швидкості руху координованої групи ТЗ. У той же час межі стрічки часу для ГТ мають дещо інший, більший нахил, що означає дещо меншу швидкість ТЗ ГТ, навіть на виділеній смузі, ніж швидкість ТЗ загального ТП. Однак, до межі, яка позначає ЗП, стрічка часу для ГТ знаходиться в межах стрічки часу для загального ТП. Оскільки на ЗП відбувається регламентована затримка ТЗ ГТ, пов'язана з посадкою-висадкою пасажирів ( $t_{zn}$ ), відповідно ГТ прибуває на стоп-лінію перехрестя  $i+2$  з деяким запізненням, яке виходить за межі координованої стрічки часу. Виходячи з цього, за умови відсутності часового пріоритету, у виділеній смузі для ГТ формується затримка, спричинена графіком роботи СФО, а при часовій пріоритизації (адаптивне управління рухом) відбувається продовження тривалості фази на певний проміжок часу  $l_{сч_{доо}}$ , яке у фаховій літературі також прийнято називати максимальною тривалістю дозвільного сигналу під час застосування адаптивних алгоритмів ( $t_{o_{max}}$ ). Проте, таке продовження тривалості фази не може відбуватися багато разів поспіль, коли ТЗ ГТ можуть прибувати випадковим чином до стоп-лінії постійно у певні періоди часу, оскільки це спричинить суттєві затримки на конфліктуючих напрямках  $i$ , до того ж, може повністю зруйнувати координацію фаз на суміжних перехрестях в СКР. Особливо часто така ситуація спостерігається, коли ЗП знаходиться безпосередньо перед стоп-лінією  $i$ , виходячи з різної тривалості обслуговування на ньому ГТ, є постійна потреба зміни стрічки часу. Щоб уникнути такої ситуації у СКР ЗП можуть переноситись від стоп-лінії на певну відстань ( $l_{zn}$ ), розміщуючись на прогоні. Тоді, виїхавши із ЗП, і будучи розпізнаним детектором транспорту (ДТ), який розміщений від стоп-лінії на певній відстані ( $l_{om}$ ), під рухомий склад ГТ може відбуватись адаптація стрічки часу. Враховуючи інтенсивність руху ГТ така потреба виникатиме нечасто. Перевагою розміщення ЗП на прогоні є більша прогнозованість в управлінні на координованому напрямку.

Опишемо три варіанти можливої зміни часових параметрів СФР під час пофазного роз'їзду ГТ, якому надається одночасний просторовий та часовий пріоритет:

- варіант 1: дочасний виклик фази під час під'їзду автобуса (тролейбуса) до стоп-лінії. Такий захід можна реалізувати, зменшивши дозвільний сигнал на конфліктуючому напрямку у суміжній фазі, але за умови забезпечення там мінімальної тривалості дозвільного сигналу ( $t_{o_{\min}}$ ), який найчастіше обумовлений потребами пішоходів;

- варіант 2: продовження існуючої фази на головному напрямку СКР, забезпечуючи  $t_{o_{\max}}$ , але з обмеженнями описаними вище;

- варіант 3: виклик «резервної» фази або такту (можна реалізувати в умовах облаштування виділеної смуги) на вимогу ГТ (відставання від регламентованих графіків руху, переповнення салону пасажирами тощо) з «руйнуванням» почерговості проїзду, визначеного структурою СФЦ. В умовах СКР застосовується у рідкісних випадках, оскільки має вплив на ширину стрічки часу на суміжних перехрестях.

Тут головним завданням залишається визначення певних оптимальних значень  $l_{zn}$  та  $l_{dm}$ , за яких можна мінімізувати ймовірність зміни ширини стрічки часу в СКР, а відтак і величину затримки ГТ на стоп-лінії. Враховуючи, що ДТ може знаходитись безпосередньо на виїзді з ЗП, приймемо  $l_{zn} = l_{dm}$ .

Після цього розрахуємо мінімальну відстань, на які необхідно розмістити ДТ відносно стоп-лінії, щоб він врахував час, який за певної швидкості, встановленої попередньо за результатами експериментальних вимірювань, необхідний автобусу та/або тролейбусу для подолання відстані від ЗП до цієї стоп-лінії і прибув до неї у момент ввімкнення дозвільного сигналу. Для того, щоб сигнал із заборонного на дозвільний перемкнувся, необхідно в першу чергу забезпечити перехід пішоходів ПЧ з певною шириною  $B_{ПЧ}$  та швидкістю руху  $V_{ни}$  (для РП приймаємо 1,3 м/с) за

конфліктуючим напрямком з певною тривалістю часу  $t_{o_{\min}}$ , який визначається з рівності:

$$t_{o_{\min}} = 5 + \frac{B_{ПЧ}}{V_{ни}} \quad (4.21)$$

Враховуючи, що у цьому дослідженні розглядаються магістральні вулиці, то пішоходам необхідно пройти ПЧ з кількістю смуг 2х2 або 3х3 з прийнятими нормативними ширинами 3,0 м або 3,5 м. Також враховуємо можливу наявність розділової смуги з мінімальною шириною 4 м. За результатами розрахунків отримуємо такі  $l_{om}$  (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Мінімальні відстані від стоп-лінії до ДТ, за яких забезпечується мінімальна тривалість дозвільного сигналу на конфліктуючому напрямку, виходячи з ширини ПЧ, яку долають пішоходи, та швидкості руху ГТ

| Середня швидкість руху ГТ, м/с | Кількість смуг руху                                                                                                    |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                | 2х2                                                                                                                    |        |        |        | 3х3    |        |        |        |
|                                | 3,00                                                                                                                   | 3,0 Р  | 3,00   | 3,0 Р  | 3,00   | 3,0 Р  | 3,00   | 3,0 Р  |
|                                | Відстань ( $B_{ПЧ}$ ), м                                                                                               |        |        |        |        |        |        |        |
|                                | 12,00                                                                                                                  | 16,00  | 14,00  | 18,00  | 18,00  | 22,00  | 28,00  | 32,00  |
|                                | Мінімальна тривалість для пішоходів при швидкості 1,3 м/с                                                              |        |        |        |        |        |        |        |
|                                | 14,23                                                                                                                  | 17,31  | 15,77  | 18,85  | 18,85  | 21,92  | 26,54  | 29,62  |
|                                | Мінімальна тривалість для пішоходів на конфліктуючому напрямку (з урахуванням проміжного такту 4 с) ( $t_{o_{\min}}$ ) |        |        |        |        |        |        |        |
|                                | 18,23                                                                                                                  | 21,31  | 19,77  | 22,85  | 22,85  | 25,92  | 30,54  | 33,62  |
|                                | Мінімальна відстань від стоп-лінії до ДТ ( $l_{om}$ ), м                                                               |        |        |        |        |        |        |        |
| 5                              | 91,15                                                                                                                  | 106,54 | 98,85  | 114,23 | 114,23 | 129,62 | 152,69 | 168,08 |
| 5,5                            | 100,27                                                                                                                 | 117,19 | 108,73 | 125,65 | 125,65 | 142,58 | 167,96 | 184,88 |
| 6                              | 109,38                                                                                                                 | 127,85 | 118,62 | 137,08 | 137,08 | 155,54 | 183,23 | 201,69 |
| 6,5                            | 118,50                                                                                                                 | 138,50 | 128,50 | 148,50 | 148,50 | 168,50 | 198,50 | 218,50 |
| 7                              | 127,62                                                                                                                 | 149,15 | 138,38 | 159,92 | 159,92 | 181,46 | 213,77 | 235,31 |
| 7,5                            | 136,73                                                                                                                 | 159,81 | 148,27 | 171,35 | 171,35 | 194,42 | 229,04 | 252,12 |
| 8                              | 145,85                                                                                                                 | 170,46 | 158,15 | 182,77 | 182,77 | 207,38 | 244,31 | 268,92 |
| 8,5                            | 154,96                                                                                                                 | 181,12 | 168,04 | 194,19 | 194,19 | 220,35 | 259,58 | 285,73 |
| 9                              | 164,08                                                                                                                 | 191,77 | 177,92 | 205,62 | 205,62 | 233,31 | 274,85 | 302,54 |
| 9,5                            | 173,19                                                                                                                 | 202,42 | 187,81 | 217,04 | 217,04 | 246,27 | 290,12 | 319,35 |
| 10                             | 182,31                                                                                                                 | 213,08 | 197,69 | 228,46 | 228,46 | 259,23 | 305,38 | 336,15 |
| 10,5                           | 191,42                                                                                                                 | 223,73 | 207,58 | 239,88 | 239,88 | 272,19 | 320,65 | 352,96 |
| 11                             | 200,54                                                                                                                 | 234,38 | 217,46 | 251,31 | 251,31 | 285,15 | 335,92 | 369,77 |
| 11,5                           | 209,65                                                                                                                 | 245,04 | 227,35 | 262,73 | 262,73 | 298,12 | 351,19 | 386,58 |
| 12                             | 218,77                                                                                                                 | 255,69 | 237,23 | 274,15 | 274,15 | 311,08 | 366,46 | 403,38 |
| 12,5                           | 227,88                                                                                                                 | 266,35 | 247,12 | 285,58 | 285,58 | 324,04 | 381,73 | 420,19 |

На наступному етапі, виходячи з результатів розрахунків мінімальної відстані від стоп-лінії до ДТ, наведеної у табл. 4.5, вносимо ці відстані в імітаційну модель для ситуації 4, коли враховується збільшення інтенсивності руху (збільшення рівня завантаження у смугах загального ТП) та частки дозвільного сигналу на ділянці з облаштуванням виділених смуг для ГТ. Тоді отримуємо змодельовану ситуацію 4'.

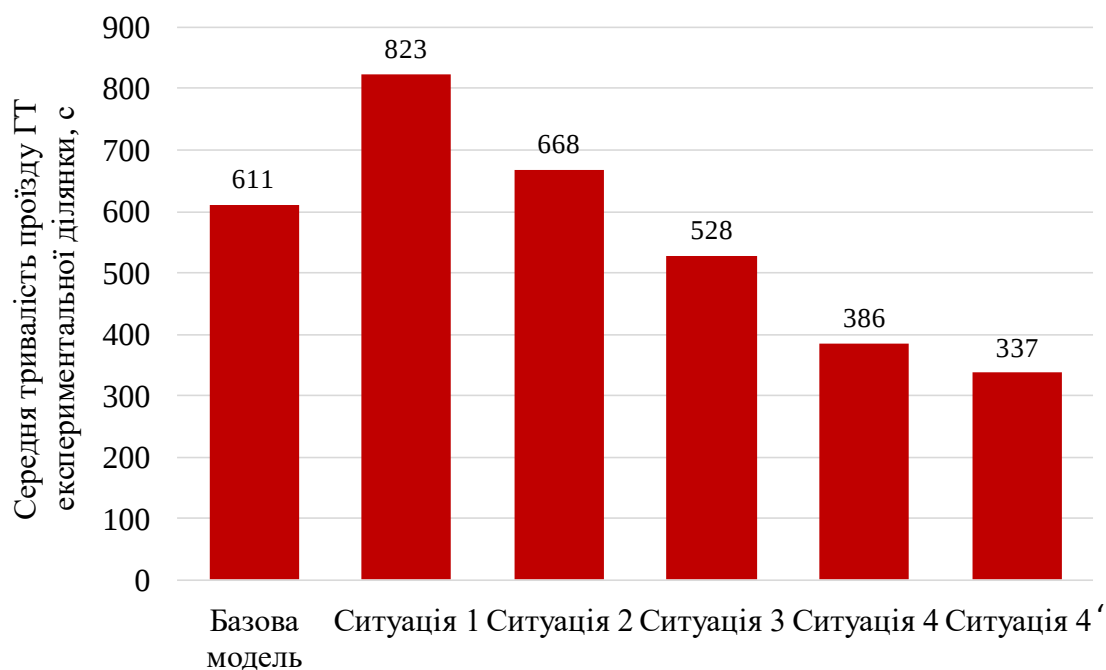
Підсумовуючи, для експериментальної ділянки (розміщена в периферійній частині міста), наведеної на рис. 3.18, отримуємо таку тривалість проїзду автобусами/тролейбусами, застосовуючи СКР (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

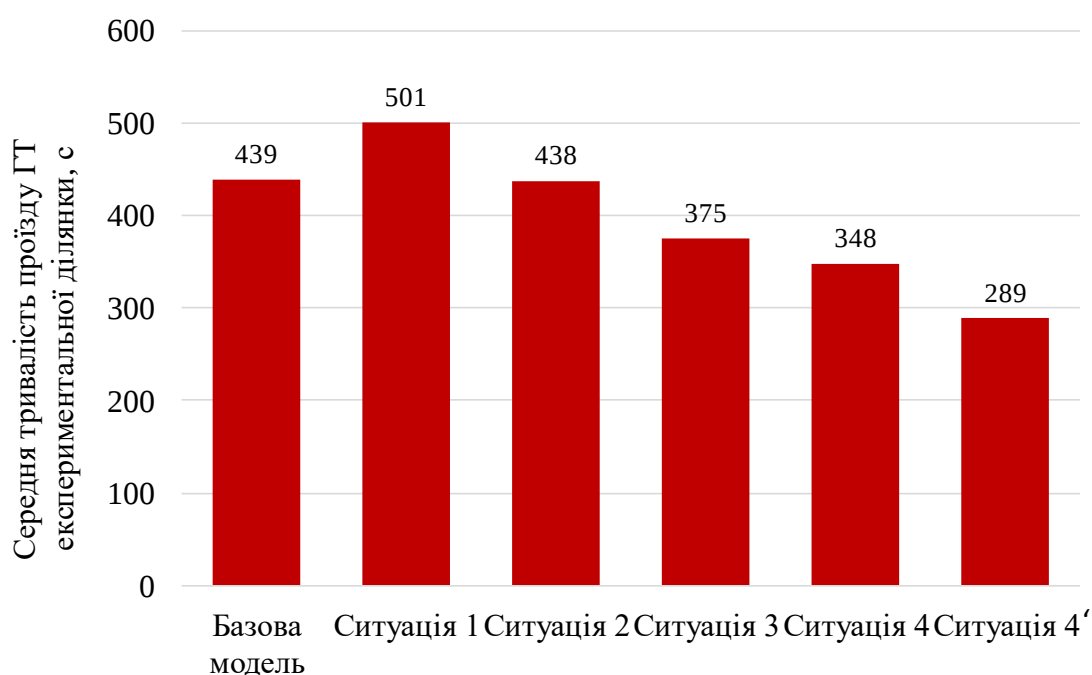
Результати моделювання середньої тривалості проїзду ГТ виділеною смугою експериментальної ділянки в умовах СКР

| Стан моделі                                                                  | Тривалість проїзду від стоп-лінії 1 до стоп-лінії 5, с ( $L_{СКР_1} = 2044 м$ ) | Тривалість проїзду від стоп-лінії 5 до стоп-лінії 1, с ( $L_{СКР_1} = 2062 м$ ) |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Базова модель                                                                | 611                                                                             | 439                                                                             |
| Ситуація 1 (збільшення $N$ , $\eta_0 = const$ , без виділеної смуги)         | 823                                                                             | 501                                                                             |
| Ситуація 2 (збільшення $N$ , збільшення $\eta_0$ , без виділеної смуги)      | 668                                                                             | 438                                                                             |
| Ситуація 3 (збільшення $N$ , $\eta_0 = const$ , з виділеною смугою)          | 528                                                                             | 375                                                                             |
| Ситуація 4 (збільшення $N$ , збільшення $\eta_0$ , з виділеною смугою)       | 386                                                                             | 348                                                                             |
| Ситуація 4' (збільшення $N$ , збільшення $\eta_0$ , з виділеною смугою) з ДТ | 337                                                                             | 289                                                                             |

Графічна ілюстрація результатів з табл. 4.6 наведена на рис. 4.7.



а



б

Рис. 4.7. Порівняльний аналіз зміни тривалості проїзду рухомим складом ГТ перехресть, включених в СКР залежно від зміни інтенсивності руху, часових параметрів СФР та способу пріоритизації ГТ у напрямках 1–5 (а) та 5–1 (б)

Аналізуючи отримані змодельовані значення тривалості проїзду за різних ситуацій управління ТП у СКР, можемо зробити такі висновки:

1. У порівнянні з базовою моделлю у напрямку 1–5 (умовно названий «до центру») за ситуації 4 отримуємо зменшення тривалості проїзду ГТ через

ділянку координації на 37 %, а застосувавши ДТ (ситуація 4') – 45%, тобто застосування часової пріоритизації поряд із просторовою додає 8% до зменшення тривалості проїзду, а відтак і затримки руху. У напрямку 5–1 (умовно названий «від центру») за ситуації 4 отримуємо зменшення тривалості проїзду ГТ через ділянку координації на 21 %, а застосувавши ДТ (ситуація 4') – 34%, тобто застосування часової пріоритизації поряд із просторовою додає 13% до зменшення тривалості проїзду, а відтак і затримки руху.

2. Зменшення тривалості проїзду на 8 % та 13 % у напрямках відповідно до центру та від центру за умови застосування часової пріоритизації (облаштування ДТ на виділеній смузі руху) має неоднакову ефективність, що в першу чергу пов'язано з впливом інтенсивності правоповоротних потоків, які здійснюють цей маневр з виділеної смуги для ГТ.

3. Затримки ГТ навіть за ситуації 4' не уникнути, оскільки тривалість проїзду в СКР для цього виду транспорту включатиме затримки на ЗП, вплив поворотних ТП, вплив ПП на конфліктуючому напрямку (формує  $t_{o_{\min}}$ ) та попутному напрямку (впливає на тривалість реалізації правого повороту).

Отримані результати є валідними для ділянок магістральних вулиць з довжиною прогонів 400–750 м, на яких можна застосувати абсолютну більшість варіантів з розміщення ДТ (розміщення ЗП) відносно РП. За малих значень прогонів (100–150 м) необхідно розглядати варіанти збільшення пішохідної досяжності між ЗП задля зменшення тривалості проїзду ГТ в СКР, що є оправданим завданням для магістральних напрямків.

Ці результати також можна застосовувати для двосмугових напрямків у СКР, порівнюючи базову модель із ситуацією 4', коли мова йде про одночасне застосування часового пріоритету на виділеній смузі.

Продовження існуючої фази до значень  $t_{o_{\max}}$  залежить від кількості фаз на РП та з умови дотримання нормативних обмежень тривалості СФЦ 25–120 с.

#### 4.3. Висновки з розділу

1. З метою перевірки ефективності застосування різних способів пріоритету для громадського транспорту та визначення тенденцій зміни показників проїзду транспортними засобами через регульовані перехрестя у системі координованого регулювання розроблено 5 ситуацій, що передбачають збільшення інтенсивності руху (до 20 %), збільшення частки дозвільного сигналу (до 20 %) на напрямку координації, наявність та відсутність виділених смуг руху, облаштування детекторів, які змодельовані у програмному середовищі PTV Vissim.

2. Найкращі показники руху (середня та максимальна довжина черги, затримка на 1 транспортний засіб, середня швидкість проїзду координованої ділянки) транспортного потоку, в тому числі громадського транспорту, досягаються за значень частки дозвільного сигналу на координованому напрямку 0,4–0,5 від тривалості циклу при умові руху змішаного транспортного потоку та при частці 0,5–0,6 при умові облаштування виділеної смуги.

3. Облаштування виділених смуг руху для громадського транспорту дозволяє зменшити тривалість проїзду через систему регульованих перехресть при координованому регулюванні руху на 21–37 %, що залежить від величини правоповоротних транспортних засобів та показників руху пішоходів, а одночасна з цим часова пріоритизація (застосування детекторів транспорту) дозволяє додатково зменшити тривалість проїзду на 8–13 %.

## ВИСНОВКИ

1. Для оцінювання рівня ефективності роботи вулично-дорожньої мережі та її елементів є тривалість поїздки (пересування), яка найперше визначається пропускнуою здатністю цієї мережі та провізною здатністю транспортних засобів. Затримки в русі транспортних засобів на регульованих перехрестях, які спричинені часовими параметрами світлофорного регулювання, в основному зумовлені співвідношенням тривалості дозвільного та заборонного сигналів. Для будь якого напрямку у фазі регулювання критичними є значення частки заборонного сигналу 0,65 та більше від тривалості циклу регулювання.

2. Найбільш сталий рух групи транспортних засобів в умовах координованого регулювання забезпечується на прогонах з довжиною до 600 м для двосмугових напрямків, 100 – 300 м для трисмугових, що пов'язано з маневрами зміни смуги руху. Критичним, з погляду забезпечення стійкості груп, є прогони довжиною понад 800 м та частка прямих потоків на координованому напрямку менша за 70%.

3. Середня тривалість обслуговування на зупинкових пунктах для периферійної частини міста становить 32 с, що відповідає частоті 61%; для середмістя – 48 с, що відповідає частоті 49%, а для центральної частини міста 93 с при частоті частотою 29 %.

4. З погляду формування черг на прогонах з довжиною до 400 м оптимальним значенням частки дозвільного сигналу в циклі регулювання є 0,50, критичні умови (формування черг, які можуть блокувати суміжні перехрестя) настають при значеннях частки дозвільного сигналу менше за 0,25.

5. Найкращі показники руху (середня та максимальна довжина черги, затримка на 1 транспортний засіб, середня швидкість проїзду координованої ділянки) транспортного потоку, в тому числі громадського транспорту, досягаються за значень частки дозвільного сигналу на координованому

напрямку 0,4–0,5 від тривалості циклу при умові руху змішаного транспортного потоку та при частці 0,5–0,6 при умові облаштування виділеної смуги.

6. Облаштування виділених смуг руху для громадського транспорту дозволяє зменшити тривалість проїзду через систему регульованих перехресть при координованому регулюванні руху на 21–37 %, що залежить від величини правоповоротних транспортних засобів та показників руху пішоходів, а одночасна з цим часова пріоритизація (застосування детекторів транспорту) дозволяє додатково зменшити тривалість проїзду на 8–13 %.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Форнальчик Є.Ю., Ройко Ю.Я., Гілевич В.В. Розвиток науково-прикладних основ управління транспортними потоками: монографія / за заг. ред. Є.Ю. Форнальчика. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. 180 с.
2. Форнальчик Є.Ю., Могила І.А., Трушевський В.Е., Гілевич В.В. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія / за заг. ред. Є.Ю. Форнальчика. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 236 с.
3. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху [Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.]; за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2007. 452 с. (5 кн./ Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.; кн. 4).
4. Системологія на транспорті. Технологія наукових досліджень і технічної творчості [Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.] ; за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2007. 318 с. (5 кн./ Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.; кн. 2).
5. Поліщук В. П. Теорія транспортного потоку : методи та моделі організації дорожнього руху / В. П. Поліщук, О. П. Дзюба. – К. : Знання України, 2008. 175 с.
6. 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. 467 с.
7. Fornalchuk Y., Vikovych I., Royko Y., Hrytsun O. Improvement of methods for assessing the effectiveness of dedicated lanes for public transport. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2021. № 1/3 (109). С. 29–37. (SciVerse SCOPUS).
8. Royko Y., Fornalchuk Y., Koda E., Hrytsun O., Bura R., Osinski P., Markiewicz A., Wierzbicki T., Barabash R., Humenuyk R., Polyansky P.,

Kernytsky I. Public transport prioritization and descriptive criteria-based urban sections classification on arterial streets. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, iss. 3. P. 1–15. (SciVerse SCOPUS).

9. Абрамова Л.С. Теоретичні основи формування розподілених систем управління дорожнім рухом у міста : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.01 / Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Харків, 2020. 418 с.

10. Єресов В.І., Григор'єва О.В., Попов С.Ю. Застосування енергетичних моделей транспортного потоку при оцінці режимів руху. *World Science*. Warsaw, 2016. № 12(16), Vol. 1. С. 48–52.

11. Нагребельна Л.П. Удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст : кваліфікаційна наукова праця на здобуття наукового ступеня доктора філософії : 275 «Транспортні технології (за видами)» / Національний транспортний університет. Київ, 2021. 192 с.

12. Litman T. The New Transportation Planning Paradigm. *ITE Journal*. 2013. P. 20–28.

13. Ройко Ю.Я. Визначення раціональної вулично-дорожньої мережі, сформованої житловими кварталами : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова. Харків, 2013. 156 с.

14. В.В. Біліченко, В.Л. Крещенський, С.В. Цимбал, Г.Ю. Тодорашко. Комплексний підхід до вирішення існуючих проблем функціонування транспортної системи міста. *Наукові нотатки*. 2016. №55. С. 22–25.

15. Ройко Ю. Новий підхід в оцінці обсягів руху в Україні. Ю. Ройко, В. Давосир, Ю. Євчук. III Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання». 2019. С. 99–100.

16. Доля В.К. Пасажирські перевезення : підручник. Харків : «Видавництво «Форт», 2011. 504 с.

17. Сотнікова А. О. Інтермодальність у маршрутах пересування населення. IV Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання», м. Львів. Львів, 2021. С. 86–87.

18. Ortúzar J. d. D. Sustainable urban mobility: what can be done to achieve it? Journal of the Indian institute of science. 2019. Vol. 99, no. 4. P. 683–693. URL: <https://doi.org/10.1007/s41745-019-00130-y>.

19. Guidelines. developing and implementing a sustainable urban mobility plan. F. Wefering et al. Rupprecht Consult – Forschung und Beratung GmbH, 2014. 152 p. URL: [https://city2030.org.ua/sites/default/files/documents/sump\\_guidelines\\_en.pdf](https://city2030.org.ua/sites/default/files/documents/sump_guidelines_en.pdf).

20. Afrin T., Yodo N. A survey of road traffic congestion measures towards a sustainable and resilient transportation system. Sustainability. 2020. Vol. 12, no. 11. P. 4660. URL: <https://doi.org/10.3390/su12114660>.

21. Ляхович Т. Теоретико-методологічні засади функціонального зонування міста (на прикладі міста Львів). Магістерські студії географічного факультету ТНПУ ім. В. Гнатюка : збірник наукових праць. 2018. № 1. С. 59–66. URL: <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/17846>.

22. Miller E. J. Traffic analysis zone definition: issues & guidance. Toronto: Travel Modelling Group, University of Toronto, 2021. 22 p.

23. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5:2018. – [Чинний від 2018 – 09 – 01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2018. 55 с. (Державні будівельні норми України).

24. Сотнікова А. Особливості розміщення місць генерації потоків учасників дорожнього руху в містах. Матеріали конференції «II Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту»», м. Вінниця. 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/pmrt2021/schedConf/presentations>.

25. Бура Р. Вдосконалення методів мінімізації затримки транспортних потоків у містах зі щільною забудовою : Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)». Львів, 2021. 218 с

26. Бура Р. Р. Про можливості функціонування швидкісних автобусних перевезень у містах з різною конфігурацією ВДМ. Р. Р. Бура, Р. Б. Рогальський, С. А. Плесак. Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання: тези доповідей III Всеукраїнської науково-теоретичної конференції. Львів, 2019. С. 103–104.

27. Bura R. Possibilities of using bus rapid transit in cities with dense construction area. Yu. Royko, R. Bura, R. Rogalskyu. ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference. Ternopil : Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2019. P. 84–91.

28. Степанчук О. В. Методологія підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.23.20 «містобудування та територіальне планування» / Степанчук Олександр Васильович. Київ, 2018. 45 с.

29. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху: монографія / В. Першаков та ін. Київ : НАУ, 2015. 177 с.

30. Ройко Ю.Я., Євчук М.Ю. Щодо визначення пропускну здатності елементів міської магістралі. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Сєверодонецьк, 2013. Вип. 5(194), Ч. 1. С. 161–164.

31. Мазилук П.В. Розробка методу раціонального проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2019. 191 с.

32. Безлюбченко О. С. Планування міст і транспорт : навч. посібник / О. С. Безлюбченко, С. М. Гордієнко, О. В. Завальний. Харків : ХНАМГ, 2006. 139 с.

33. Безлюбченко О. С. Урбаністика : навч. посібник / О. С. Безлюбченко, О. В. Завальний. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 274 с.
34. Проектування міських територій : підручник : у 2 ч. Ч.1 / [за ред. В. Т. Семенова, І. Е. Линник] ; Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 449 с. (Серія «Міське будівництво та господарство»)
35. Qadri SSSM, Gökçe MA, Öner E. State-of-art review of traffic signal control methods: challenges and opportunities. *European Transport Research Review*. 2020;12:55. doi: 10.1186/s12544-020-00439-1
36. Newell GF. Queues for a fixed-cycle traffic light. *Ann. Math. Statist.* 2016;31(3):589-97. doi: 10.1214/aoms/1177705787
37. Tong Y, Zhao L, Li L, Zhang Y. Stochastic programming model for oversaturated intersection signal timing. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2015;58:474-86. doi: 10.1016/j.trc.2015.01.019
38. Che Y, Chen K, Hsiung P. Dynamic traffic light optimization and Control System using model-predictive control method. *IEEE In: 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2016. Rio de Janeiro; 2016. p. 2366-71.
39. Zhao C, Chang Y, Zhang P. Coordinated Control Model of Main-Signal and Pre-Signal for Intersections with Dynamic Waiting Lanes. *Sustainability*. 2018;10:1-14. doi: 10.3390/su10082849
40. Форнальчик Є.Ю., Гілевич В.В., Могила І.А. Моделювання транспортних потоків : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 216 с.
41. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки: ДСТУ 4092-2002. – [Чинний від 2003 – 01 – 01].– К. Держстандарт України 2002. (Національний стандарт України).
42. Планування та забудова територій: ДБН Б.2.2-12:2019. – [Чинний від 2019 – 10 – 01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2019. 177 с. (Державні будівельні норми України)

43. Detailed Analysis of Public Bus Vehicle Ride on Urban Roads. V. Novotný, D. Kočárková, H. Havlena, M. Jacura. *Transport Problems*. 2016. №11 (4). P. 43–55.
44. Stoyanov P. Some Implementation of Quality of Public Transport. P. Stoyanov, P. Gagova. *Transport Problems*. 2012. №7 (2). P. 37–41.
45. Нагорний Є.В., Абрамова Л.С. Концептуальний підхід до проектування систем управління дорожнім рухом. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології . 2017. Вип. 12. С. 94–100.
46. Євчук Ю. Ю. Закономірності зміни затримки руху громадського транспорту за різних способів його пріоритизації. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2024. Том 35 (74), № 6. С. 264–271. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.2/37>
47. Simulation and Evaluation of a Public Transport Priority Methodology. G. Malandraki, I. Papamichail, M. Papageorgiou, V. Dinopoulou. *Transportation Research Procedia*. 2015. №6. P. 402–410.
48. Evaluation of the Pre-Detective Signal Priority for Bus Rapid Transit: Coordinating the Primary and Secondary Intersections. M. Yang, G. Sun, W. Wang et al. *Transport*. 2018. №33 (1). P. 41–51.
49. Dadashzadeh N. Spatial bus priority schemes, implementation challenges and needs: an overview and directions for future studies. N. Dadashzadeh, M. Ergun. *Public Transport*. 2018. №10. P. 545–570.
50. Minimizing the Average Delay at Intersections via Presignals and Speed Control. M. Hanbarikarekani, X. Qu, M. Zeibots, W. Qi. *Journal of Advanced Transportation*. 2018. №2018. P. 1–8.
51. Zhou L. Active signal priority control method for bus rapid transit based on Vehicle Infrastructure Integration. L. Zhou, Y. Wang, Y. Liu. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2017. №6. P. 99–109.
52. Chlabaut N. Demonstration and evaluation of an intermittent bus lane strategy. N. Chlabaut, A. Barcet. *Public Transport*. 2019. №11. P. 443–456.

53. Bus Rapid Transit. Planning Recommendations – New York, NY: Institute for Transportation & Development Policy, 2007. 1006 p.
54. Bus Rapid Transit Service Design. D. Roberts, P. Scrimgeour, D. Freeman et al. Washington, D.C.: American Public Transportation Association, 2010. 27 c.
55. Bauer D. Travel time predictions: should one model speeds or travel times. D. Bauer, M. Tulic. European Transport Research Review. 2018. №10. P. 1–12.
56. Rao A. Measuring Urban Traffic Congestion - A Review. A. Rao, K. Rao. International Journal for Traffic and Transport Engineering. 2012. №2. P. 286–305.
57. Taylor M. The effects of lower urban speed limits on mobility, accessibility, energy and the environment: trade-offs with increased safety. Michael Taylor. Adelaide: Transport Systems Centre. 1997. 142 p.
58. Mohajerpoor R, Saberi M, Ramezani M. Analytical derivation of the optimal traffic signal timing: Minimizing delay variability and spillback probability for undersaturated intersections. Transport Research. Part B. 2019;119:45-68. doi:10.1016/j.trb.2018.11.004
59. Sabar NR, Kieu LM, Chung E, Tsubota T, Maciel de Almeida PE. A memeti algorithm for real-world multi-intersection traffic signal optimisation problems. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2017;63:45-53. doi:10.1016/j.engappai.2017.04.021
60. Горбачов П.Ф., Шевченко В.В., Свічинський С.В. Визначення граничного рівня завантаження другорядних підходів до міської магістралі з координованим керуванням. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2020;90:144-54. doi: 0.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.144
61. Горбачов П.Ф., Макарічев О.В., Шевченко В.В. Імовірність виникнення неповної пачки автомобілів при координованому керуванні на міській магістралі. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2021;92(1):214-25. doi: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.1.214

62. Шевченко В.В. Оцінка ефективного напрямку розвитку систем світлофорного управління з жорсткими циклами регулювання. Вісник машинобудування та транспорту. 2022;2(16):110-9. doi: 10.31649/2413-4503-2022-16-2-110-119

63. Currie, G., Sarvi, M., & Young, W. (2007). Balanced Road Space Allocation: A Comprehensive Approach. *ITE Journal on the Web*, P. 75–83

64. Chen, C., Che, X., Huang, W., & Li, K. (2019). A two-way progression model for arterial signal coordination considering side-street turning traffic. *Transportmetrica B*, P. 1627–1650.

65. Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections. (2008). Ottawa: Institute of Transportation Engineers.

66. Signal Timing Manual. (2015). Second Edition. NCHRP Report 812. National Cooperative Highway Research Program. In Cooperation with U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.

67. Gartner, N., Pooran, F., & Andrews, C. (2002). Implementation and Field Testing of the OPAC Adaptive Control Strategy in RT-TRACS, Proc. Of 81st Annual Meeting of the TRB. Oakland, CA, USA: IEEE, 148–156 doi :10.1109/ITSC.2001.948655 .

68. Ji, Y., Tang, Y., Wang, W., & Du, Y. (2018). Tram-Oriented Traffic Signal Timing Resynchronization. *Journal of Advanced Transportation*. Volume 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8796250> .

69. Shi, J., Sun, Y., Schonfeld, P., & Qi, J. (2017). Joint optimization of tram timetables and signal timing adjustments at intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Volume 83. 104-119. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.07.014> .

70. He, Q., Head, K. L., & Ding, J. (2014). Multi-modal traffic signal control with priority, signal actuation and coordination. *Transportation research part C: emerging technologies*, 46, 65–82

71. Scheffler, R., & Strehler, M. (2017). Optimizing traffic signal settings for public transport priority. Proc. of the 17th Workshop on Algorithmic Approaches

for Transportation Modelling, Optimization, and Systems (pp. 9:1–9:15). Vienna, Austria. <https://doi.org/10.4230/OASIcs.ATMOS.2017> .

72. Горбачов П.Ф., Шевченко В.В. Підхід до побудови плану координації для міської магістралі. В: Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. здобув. вищ. освіти і мол. уч, присвячена Дню науки,; 2020 Трав 11–15; Житомир. Житомир: ДУ «Житомирська політехніка»; 2020. с. 20.

73. Шевченко В.В. Координація роботи локальних світлофорів і розвиток систем управління дорожнім рухом. В: Матеріали V Всеукр. наук.-теор. on-line конф. Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання; 2023 Бер 23-24; Львів. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2023. с. 47–49.

74. Jintamuttha K, Watanapa B, Charoenkitkarn N. Dynamic traffic light timing optimization model using bat algorithm. In: 2nd International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE), 2016. Singapore; 2016. p. 181–185. doi:10.1109/CCSSE.2016.7784378

75. Ahmed EKE, Khalifa AMA, Kheiri A. Evolutionary computation for static traffic light cycle optimisation. In: International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE), 2018. Khartoum, Sudan; 2018. p. 1–6. doi: 10.1109/ICCCEEE.2018.8515802

76. Євчук Ю. Ю. Закономірності зміни часових параметрів світлофорного циклу у системах з координованим управлінням рухом. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті : науковий журнал. 2024. № 2 (23). С. 81–89. URL: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i23.1529>

77. Ройко Ю.Я., Грицунь О.М. Підвищення ефективності функціонування ділянок вулично-дорожньої мережі в умовах координованого регулювання. Наукові нотатки. Луцьк, 2014. Вип. 45. С. 472–476.

78. Nash, A.; Corman, F.; Sauter-Servaes, T. Public transport priority in 2020 Lessons from Zurich. In Proceedings of the 8th TransportResearch Arena TRA 2020, Helsinki, Finland, 27–30 April 2020; pp. 12–19.

79. Nash, Andrew; Crowdsourcing techniques for transport planning and operations; 7th Transport Research Arena TRA 2018, Vienna, April 2018; <https://zenodo.org/record/1435672>.

80. Orth, Hermann, Andrew Nash, Ulrich Weidmann. Level-based approach to public transport network planning. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2015. Volume 2537, pp. 1–12.

81. ITDP - Institute for Transportation & Development Policy. The Bus Rapid Transit Standard. <https://www.itdp.org/library/standards-and-guides/the-bus-rapid-transit-standard/>

82. Bagherian, M. (2017). Network-wide analysis and design of transit priority treatments. <https://doi.org/10.14264/UQL.2017.696>

83. Bagherian, M., Mesbah, M. & Ferreira, L. 2014. Using delay functions to evaluate transit priority at signals. *Public Transport*, 7, 61–75.

84. Nassir, N., Hickman, M. & Ma, Z.-L. 2015. Activity Detection and Transfer Identification for Public Transit Fare Card Data. *Transportation*, 42, 683–705.

85. Gittens, A. & Shalaby, A. 2015. Evaluation of Bus Reliability Measures and Development of a New Composite Indicator. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2533, 91–99

86. Khalighi, F., & Christofa, E. Emission-based signal timing optimization for isolated intersections. *Transportation research record*, 2015, 2487(1), 1–14.

87. M. Ghanbarikarekani Optimising Traffic Operations At Signalised Intersections Via Transit Signal Priority, 2021, 119 p.

88. Ahmed, F. & Hawas, Y. An integrated real-time traffic signal system for transit signal priority, incident detection and congestion management', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, vol. 60, pp. 52–76.

89. Bhouri, N., Mayorano, F.J., Lotito, P.A., Salem, H.H. & Lebacque, J.P. Public transport priority for multimodal urban traffic control', *Cybernetics and Information Technologies*, 2017, vol. 15, no. 5, pp. 17–36.

90. Wittpohl, M., Plötz, P.A. & Urquhart, N. 2021, 'Real time optimisation of traffic signals to prioritise public transport', International Conference on the Applications of Evolutionary Computation (Part of EvoStar), Springer, Cham, pp. 162–177.
91. Harvey, M, A Tomecki, C Teh (2012) Identify, evaluate and recommend bus priority interventions. NZ Transport Agency research report 506. 210 pp.
92. Al-Deek, H., A. Sandt, A. Alomari, and O. Hussain. 2017. A Technical Note on Evaluating the Effectiveness of bus Rapid Transit with Transit Signal Priority. *Journal of Intelligent Transportation Systems* 21: 227–238. doi:10.1080/15472450.2017.1286987.
93. J. Wahlstedt. Impact of bus priority in coordinated traffic signals. In *Procedia Social and Behavioral Sciences*, volume 16, pp. 578–587. Elsevier, 2011.
94. Y. Lin, X. Yang, N. Zou, and M. Franz. Transit signal priority control at signalized intersections: a comprehensive review. *Transportation Letters*, 7(3):168–180, 2015.
95. E. Köhler and M. Strehler. Combining static and dynamic models for traffic signal optimization - inherent load-dependent travel times in a cyclically time-expanded network model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54(0):1125–1134, 2012.
96. E. Köhler and M. Strehler. Traffic signal optimization using cyclically expanded networks. *Networks*, 65(3):244-261, 2015. URL: <http://dx.doi.org/10.1002/net.21601>.
97. Ren, Y., Zhao, J., & Zhou, X. (2020). Optimal design of scheduling for bus rapid transit by combining with passive signal priority control. *International Journal of Sustainable Transportation*, 15(5), 407–418. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1740954>
98. Zhao, J., & Zhou, X. (2019). Improving the operational efficiency of buses with dynamic use of exclusive bus lane at isolated intersections. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(2), 642–653. doi:10.1109/TITS.2018.2819243

99. Dai, Z., Ma, X., & Chen, X. (2019). Bus travel time modelling using GPS probe and smart card data: A probabilistic approach considering link travel time and station dwell time. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 23(2), 175–190. doi:10.1080/15472450.2018.1470932
100. Ibarra-Rojas, O. J., Delgado, F., Giesen, R., & Munoz, J. C. (2015). Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological*, 77, 38–75. doi:10.1016/j.trb.2015.03.002
101. Wiedemann, R. Method of occupancy-based traffic light priority for public transport. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2022, 115, 227–248. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.115.16>.
102. De Keyser Olivier, Menno Hillewaere, Pieter Audenaert, Broos Maenhout. 2018. Optimising the public transport priority at road intersections. *IET Intelligent Transport Systems* 12(8): 986994. ISSN: 1751-956X. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5133>.
103. Kim Wongo, Laurence Rilett. 2005. Improved transit signal priority system for networks with nearside bus stops. *Transportation Research Record* 1925(1): 205–214. ISSN: 0361-1981. DOI: <https://doi.org/10.1177/0361198105192500121>.
104. Tang Chunyan, Ceder Avishai, Ge Ying-En. 2018. Optimal public-transport operational strategies to reduce cost and vehicle's emission. *PloS One* 13 (8): e0201138.
105. Schmidt, K. J., Steinmetz, N., & Margreiter, M. (2024). Bus Priority Procedure for Signalized Intersections Based on Bus Occupancy and Delay . *SUMO Conference Proceedings*, 5, 127–145. <https://doi.org/10.52825/scp.v5i.1111>
106. C. Diakaki, M. Papageorgiou, V. Dinopoulou, I. Papamichail, and M. Garyfalia, State-of-the-art and -practice review of public transport priority strategies, *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 9, no. 4, pp. 391–406, May 2015.

107. Harth, M., Langer, M., & Bogenberger, K. (2022). Automated Calibration of Traffic Demand and Traffic Lights in SUMO Using Real-World Observations, *SUMO Conference Proceedings*, 2, 133–148.
108. H. Hernandez-Vega and L. Rojas-Ocampo. Analysis of preferential treatment for public transport at intersections controlled by traffic lights, *Ecuad. Sci. J*, vol. 8, no. 2, pp. 1–7, Jan. 2025, doi: 10.46480/esj.8.2.196.
109. Cesme, B. (2014). Queue Jump Lane, Transit Signal Priority, and Stop Location: Evaluation of Transit Preferential Treatments using Microsimulation. Arlington, Virginia: Transportation Research Board. DOI: <https://doi.org/10.3141/2533-05>
110. Yongjie Lin, Xianfeng Yang & Nan Zou (2017): Passive transit signal priority for high transit demand: model formulation and strategy selection, *Transportation Letters*, DOI:10.1080/19427867.2017.1295899
111. Zeng, X., Y. Zhang, K. N. Balke, and K. Yin. 2014. A Real-time Transit Signal Priority Control Model Considering Stochastic Bus Arrival Time. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 15 (4): 1657–1666.
112. Cheng, Y., X. Yang, and G.-L. Chang. 2015. A Bus-based Progression System for Arterials with Heavy Transit Flows. Presented at the 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.
113. Dai, G., H. Wang, and W. Wang. 2015. Signal Optimization and Coordination for Bus Progression based on MAXBAND. *KSCE Journal of Civil Engineering* 20 (2): 1–9.
114. 1,4,5. Mazaheri (CT.51-60)
115. Lee, Wei-Hsun, Wang, Hsuan-Chih, A Person-Based Adaptive Traffic Signal Control Method with Cooperative Transit Signal Priority, *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 2205292, 17 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2205292>.
116. Heydari, A. (2019). Effectiveness of Transit Signal Priority Strategies at Intersections with High Truck Volumes. University of Waterloo. <http://hdl.handle.net/10012/15181>

117. Skabardonis, A., & Christofa, E. (2011). Impact of transit signal priority on level of service at signalized intersections. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 16, 612–619.

118. Зубачик, Р. М. (2014). Efficiency research of the criterions for implementation of separated lane for buses using visum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3(71)), 48–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.28078>

119. Royko Yu., Yevchuk Yu., Bura R. Minimization of traffic delay in traffic flows with coordinated control. *Transport Technologies*. 2021. vol. 2, no 2. P. 30–41. URL: <https://doi.org/10.23939/tt2021.02.030>

120. Royko Yu., Yevchuk Yu., Bura R., Velhan A. Minimization of public transport delays at arterial streets with coordinated motion. *Transport Technologies*. 2022. vol. 3, no 1. P. 14–29. URL: <https://doi.org/10.23939/tt2022.01.014>

## ДОДАТКИ

## Додаток А

## Результати експериментальних вимірювань показників пасажирського потоку на маршрутній мережі м. Львова

## Таблиця А1

## Результати експериментальних вимірювань показників пасажирського потоку на автобусах великої пасажиромісткості

| Маршрут | Вид тр-ту | Дата       | Вішравлення | Прибуття | Борт     | Напрямок руху (кінцева зупинка рейсу) | Кількість пасажирів за рейс (обстеження в салоні рухомого складу) | Оплата LeoCard | Оплата картою | Оплата готівкою (паперовий квиток) | Кількість пасажирів за рейс (за кількістю оплат) | Різниця | Максимум | Середнє | Середня тривалість перебування ТЗ ГТ на проміжних ЗП | Місткість | Стат. коэф.м. | Коф. зм. |
|---------|-----------|------------|-------------|----------|----------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|---------|----------|---------|------------------------------------------------------|-----------|---------------|----------|
| 1       | 2         | 3          | 4           | 5        | 6        | 7                                     | 8                                                                 | 9              | 10            | 11                                 | 12                                               | 13      | 14       | 15      | 16                                                   | 17        | 18            | 19       |
| A8      | автобус   | 14.11.2024 | 07:41       | 08:08    | BC2562ET | Брюховичі (кардіологічна лікарня)     | 41                                                                | 14             | 5             | 0                                  | 19                                               | 22      | 36       | 32      | 35                                                   | 100       | 0,36          | 0,41     |
| A18     | автобус   | 12.11.2024 | 07:52       | 09:36    | BC0868MX | Товариство "Провесінь-агроінвест"     | 195                                                               | 91             | 37            | 15                                 | 143                                              | 52      | 89       | 87      | 46                                                   | 100       | 0,89          | 1,95     |
| A6      | автобус   | 12.11.2024 | 07:52       | 08:27    | BC1930MX | м/н Рясне-2                           | 37                                                                | 22             | 7             | 3                                  | 32                                               | 5       | 23       | 21      | 36                                                   | 100       | 0,23          | 0,37     |
| A40     | автобус   | 14.11.2024 | 07:54       | 09:50    | BC2557ET | Винники(вул. Лисика)                  | 122                                                               | 82             | 21            | 9                                  | 112                                              | 10      | 66       | 62      | 41                                                   | 100       | 0,66          | 1,22     |
| A46     | автобус   | 20.11.2024 | 08:00       | 09:28    | BC1513OI | вул. Щурата                           | 80                                                                | 48             | 24            | 7                                  | 79                                               | 1       | 36       | 33      | 52                                                   | 100       | 0,36          | 0,80     |
| A3      | автобус   | 18.11.2024 | 08:01       | 09:02    | BC1492OI | вул. Театральна                       | 96                                                                | 44             | 24            | 9                                  | 77                                               | 19      | 76       | 73      | 38                                                   | 100       | 0,76          | 0,96     |
| A1      | автобус   | 20.11.2024 | 08:04       | 08:56    | BC2498ET | Дубляни                               | 83                                                                | 54             | 12            | 5                                  | 71                                               | 12      | 46       | 43      | 28                                                   | 100       | 0,46          | 0,83     |
| A9      | автобус   | 22.11.2024 | 08:05       | 09:38    | BC6235OA | с. Муроване                           | 122                                                               | 64             | 31            | 9                                  | 104                                              | 18      | 68       | 64      | 38                                                   | 100       | 0,68          | 1,22     |
| A47     | автобус   | 22.11.2024 | 08:06       | 09:44    | BC6237OA | м/н Рясне-2                           | 181                                                               | 111            | 41            | 15                                 | 167                                              | 14      | 85       | 79      | 62                                                   | 100       | 0,85          | 1,81     |
| A10     | автобус   | 14.11.2024 | 08:08       | 09:21    | BC5013OA | Залізничний вокзал                    | 89                                                                | 42             | 24            | 11                                 | 77                                               | 12      | 45       | 42      | 34                                                   | 100       | 0,45          | 0,89     |
| A53     | автобус   | 18.11.2024 | 08:08       | 09:30    | BC4740PI | Галицьке перехрестя                   | 134                                                               | 87             | 20            | 8                                  | 115                                              | 19      | 84       | 81      | 48                                                   | 100       | 0,84          | 1,34     |
| A16     | автобус   | 20.11.2024 | 08:08       | 09:29    | BC6354OI | вул. Івана Кавалерідзе                | 114                                                               | 78             | 18            | 8                                  | 104                                              | 10      | 51       | 48      | 44                                                   | 100       | 0,51          | 1,14     |
| A52     | автобус   | 14.11.2024 | 08:12       | 09:17    | BC5864MX | Рудне (Духовна семінарія)             | 142                                                               | 79             | 32            | 1                                  | 112                                              | 30      | 75       | 72      | 46                                                   | 100       | 0,75          | 1,42     |
| A92     | автобус   | 20.11.2024 | 08:13       | 09:44    | BC2480ET | вул. Джорджа Вашингтона               | 85                                                                | 54             | 20            | 5                                  | 79                                               | 6       | 51       | 48      | 42                                                   | 100       | 0,51          | 0,85     |
| A29     | автобус   | 18.11.2024 | 08:14       | 09:15    | BC4360MX | Винники (вул. Винниченка)             | 126                                                               | 69             | 20            | 14                                 | 103                                              | 23      | 83       | 79      | 37                                                   | 100       | 0,83          | 1,26     |
| A49     | автобус   | 18.11.2024 | 08:17       | 09:06    | BC2558ET | м/н Рясне-2                           | 25                                                                | 19             | 6             | 0                                  | 25                                               | 0       | 15       | 13      | 30                                                   | 100       | 0,15          | 0,25     |
| A8      | автобус   | 14.11.2024 | 08:26       | 09:06    | BC2562ET | вул. Зернова                          | 86                                                                | 33             | 19            | 2                                  | 54                                               | 32      | 75       | 72      | 39                                                   | 100       | 0,75          | 0,86     |
| A48     | автобус   | 18.11.2024 | 08:29       | 09:41    | AC7053EX | Галицьке перехрестя                   | 80                                                                | 48             | 15            | 12                                 | 75                                               | 5       | 50       | 46      | 44                                                   | 100       | 0,50          | 0,80     |
| A61     | автобус   | 12.11.2024 | 08:30       | 09:55    | BC7366OA | с. Підрясне                           | 132                                                               | 82             | 22            | 8                                  | 112                                              | 20      | 47       | 43      | 36                                                   | 100       | 0,47          | 1,32     |
| A6      | автобус   | 12.11.2024 | 08:34       | 09:36    | BX1506OI | пл. Галицька                          | 118                                                               | 78             | 19            | 2                                  | 99                                               | 19      | 84       | 81      | 45                                                   | 100       | 0,84          | 1,18     |
| A5      | автобус   | 20.11.2024 | 08:41       | 09:25    | BC2130ET | Винники (вул. Забава)                 | 26                                                                | 14             | 7             | 3                                  | 24                                               | 2       | 10       | 9       | 30                                                   | 100       | 0,10          | 0,26     |
| A1      | автобус   | 20.11.2024 | 08:57       | 09:43    | BC2566ET | пл. Галицька                          | 87                                                                | 38             | 15            | 9                                  | 62                                               | 25      | 58       | 54      | 29                                                   | 100       | 0,58          | 0,87     |
| A49     | автобус   | 18.11.2024 | 09:07       | 10:07    | BC2558ET | Залізничний вокзал (32)               | 47                                                                | 23             | 13            | 2                                  | 38                                               | 9       | 37       | 36      | 31                                                   | 100       | 0,37          | 0,47     |
| A3      | автобус   | 18.11.2024 | 09:11       | 09:51    | BC1492OI | ТРЦ "King Cross Leopold"              | 71                                                                | 38             | 15            | 7                                  | 60                                               | 11      | 43       | 40      | 35                                                   | 100       | 0,43          | 0,71     |
| A10     | автобус   | 14.11.2024 | 09:22       | 10:01    | BC5013OA | ТРЦ "King Cross Leopold"              | 51                                                                | 24             | 15            | 5                                  | 44                                               | 7       | 27       | 24      | 30                                                   | 100       | 0,27          | 0,51     |
| A29     | автобус   | 18.11.2024 | 09:24       | 10:26    | BC4360MX | Залізничний вокзал (29)               | 104                                                               | 56             | 18            | 13                                 | 87                                               | 17      | 63       | 62      | 39                                                   | 100       | 0,63          | 1,04     |
| A16     | автобус   | 20.11.2024 | 09:31       | 10:36    | BC6354OI | Залізничний вокзал                    | 78                                                                | 55             | 8             | 4                                  | 67                                               | 11      | 36       | 34      | 38                                                   | 100       | 0,36          | 0,78     |
| A52     | автобус   | 14.11.2024 | 09:32       | 10:46    | BC5864MX | вул. Петра Панча                      | 108                                                               | 66             | 14            | 14                                 | 94                                               | 14      | 64       | 62      | 36                                                   | 100       | 0,64          | 1,08     |
| A53     | автобус   | 18.11.2024 | 09:38       | 10:42    | BC7810TA | Санта Барбара                         | 99                                                                | 47             | 25            | 17                                 | 89                                               | 10      | 58       | 56      | 44                                                   | 100       | 0,58          | 0,99     |
| A5      | автобус   | 20.11.2024 | 09:41       | 10:30    | BC2130ET | вул. Театральна                       | 41                                                                | 20             | 15            | 5                                  | 40                                               | 1       | 26       | 24      | 31                                                   | 100       | 0,26          | 0,41     |
| A46     | автобус   | 20.11.2024 | 09:43       | 10:53    | BC4864EM | Санта Барбара                         | 134                                                               | 74             | 30            | 15                                 | 119                                              | 15      | 71       | 69      | 62                                                   | 100       | 0,71          | 1,34     |
| A47     | автобус   | 22.11.2024 | 09:46       | 11:19    | BC5860MX | Санта Барбара                         | 178                                                               | 92             | 41            | 16                                 | 149                                              | 29      | 65       | 62      | 64                                                   | 100       | 0,65          | 1,78     |
| A48     | автобус   | 18.11.2024 | 09:53       | 10:46    | BC0185OK | вул. Кричевського                     | 36                                                                | 24             | 9             | 2                                  | 35                                               | 1       | 21       | 20      | 40                                                   | 100       | 0,21          | 0,36     |
| A18     | автобус   | 12.11.2024 | 09:57       | 11:13    | BC1916OA | вул. Суботівська                      | 131                                                               | 79             | 24            | 17                                 | 120                                              | 11      | 68       | 64      | 42                                                   | 100       | 0,68          | 1,31     |
| A9      | автобус   | 22.11.2024 | 09:58       | 10:40    | BC6235OA | Автовокзал                            | 82                                                                | 20             | 14            | 1                                  | 35                                               | 47      | 40       | 38      | 42                                                   | 100       | 0,40          | 0,82     |
| A40     | автобус   | 14.11.2024 | 10:04       | 11:16    | BC4063MX | ТРЦ "King Cross Leopold"              | 84                                                                | 52             | 14            | 7                                  | 73                                               | 11      | 28       | 27      | 42                                                   | 100       | 0,28          | 0,84     |
| A92     | автобус   | 20.11.2024 | 10:10       | 11:22    | BC5346OA | ТЦ "МЕТРО", Автостанція "Західна"     | 115                                                               | 66             | 26            | 10                                 | 102                                              | 13      | 63       | 58      | 59                                                   | 100       | 0,63          | 1,15     |
| A61     | автобус   | 12.11.2024 | 10:34       | 11:41    | BC8656EX | с. Підбірки                           | 147                                                               | 94             | 20            | 15                                 | 129                                              | 18      | 58       | 54      | 40                                                   | 100       | 0,58          | 1,47     |
| A29     | автобус   | 18.11.2024 | 12:00       | 13:02    | BC2920OA | Винники (вул. Винниченка)             | 102                                                               | 47             | 13            | 17                                 | 77                                               | 25      | 61       | 57      | 41                                                   | 100       | 0,61          | 1,02     |
| A61     | автобус   | 12.11.2024 | 12:11       | 13:19    | BC8656EX | с. Підрясне                           | 135                                                               | 81             | 13            | 6                                  | 100                                              | 35      | 62       | 59      | 30                                                   | 100       | 0,62          | 1,35     |
| A16     | автобус   | 20.11.2024 | 12:15       | 13:25    | BC6435OI | вул. Івана Кавалерідзе                | 102                                                               | 56             | 16            | 12                                 | 84                                               | 18      | 42       | 40      | 40                                                   | 100       | 0,42          | 1,02     |
| A9      | автобус   | 22.11.2024 | 12:15       | 13:27    | BC7317OA | с. Муроване                           | 122                                                               | 59             | 27            | 9                                  | 95                                               | 27      | 57       | 53      | 46                                                   | 100       | 0,57          | 1,22     |
| A18     | автобус   | 12.11.2024 | 12:17       | 13:44    | BC0802MX | Товариство "Провесінь-агроінвест"     | 146                                                               | 87             | 26            | 9                                  | 122                                              | 24      | 57       | 53      | 44                                                   | 100       | 0,57          | 1,46     |
| A6      | автобус   | 12.11.2024 | 12:19       | 12:58    | BC2497ET | м/н Рясне-2                           | 105                                                               | 57             | 16            | 7                                  | 80                                               | 25      | 72       | 59      | 38                                                   | 100       | 0,72          | 1,05     |
| A92     | автобус   | 20.11.2024 | 12:33       | 13:38    | BC5363OA | вул. Джорджа Вашингтона               | 148                                                               | 89             | 32            | 4                                  | 125                                              | 23      | 63       | 59      | 62                                                   | 100       | 0,63          | 1,48     |
| A49     | автобус   | 18.11.2024 | 12:40       | 13:17    | BC5870MX | м/н Рясне-2                           | 49                                                                | 33             | 4             | 7                                  | 44                                               | 5       | 47       | 44      | 29                                                   | 100       | 0,47          | 0,49     |
| A48     | автобус   | 18.11.2024 | 12:47       | 13:40    | AC7053EX | Галицьке перехрестя                   | 72                                                                | 42             | 18            | 4                                  | 64                                               | 8       | 34       | 30      | 42                                                   | 100       | 0,34          | 0,72     |
| A40     | автобус   | 14.11.2024 | 12:49       | 14:05    | BC6385OB | Винники(вул. Лисика)                  | 147                                                               | 88             | 15            | 16                                 | 119                                              | 28      | 57       | 55      | 42                                                   | 100       | 0,57          | 1,47     |
| A52     | автобус   | 14.11.2024 | 12:50       | 13:50    | BC5352OA | Рудне (Духовна семінарія)             | 142                                                               | 73             | 20            | 10                                 | 103                                              | 39      | 67       | 65      | 44                                                   | 100       | 0,67          | 1,42     |
| A6      | автобус   | 12.11.2024 | 12:59       | 13:36    | BC1930MX | пл. Галицька                          | 33                                                                | 21             | 6             | 1                                  | 28                                               | 5       | 18       | 16      | 37                                                   | 100       | 0,18          | 0,33     |

## Продовження табл. А1

| 1   | 2       | 3          | 4     | 5     | 6        | 7                                 | 8   | 9   | 10 | 11 | 12  | 13 | 14  | 15  | 16 | 17  | 18   | 19   |
|-----|---------|------------|-------|-------|----------|-----------------------------------|-----|-----|----|----|-----|----|-----|-----|----|-----|------|------|
| A46 | автобус | 20.11.2024 | 13:06 | 14:17 | BC6358OI | вул. Щурата                       | 132 | 89  | 19 | 10 | 118 | 14 | 57  | 51  | 59 | 100 | 0,57 | 1,32 |
| A3  | автобус | 18.11.2024 | 13:12 | 13:53 | BC3592OB | вул. Театральна                   | 73  | 41  | 19 | 5  | 65  | 8  | 50  | 47  | 32 | 100 | 0,50 | 0,73 |
| A53 | автобус | 18.11.2024 | 13:18 | 14:19 | BC5810PI | Галицьке перехрестя               | 113 | 85  | 21 | 5  | 111 | 2  | 58  | 54  | 47 | 100 | 0,58 | 1,13 |
| A29 | автобус | 18.11.2024 | 13:21 | 14:19 | BC6430OI | Залізничний вокзал (29)           | 95  | 50  | 17 | 14 | 81  | 14 | 44  | 39  | 33 | 100 | 0,44 | 0,95 |
| A8  | автобус | 14.11.2024 | 13:32 | 14:05 | BC1876EO | вул. Зернова                      | 67  | 29  | 12 | 4  | 45  | 22 | 52  | 50  | 30 | 100 | 0,52 | 0,67 |
| A16 | автобус | 20.11.2024 | 13:32 | 14:35 | BC2487ET | Залізничний вокзал                | 93  | 54  | 8  | 17 | 79  | 14 | 46  | 43  | 39 | 100 | 0,46 | 0,93 |
| A47 | автобус | 22.11.2024 | 13:32 | 15:14 | BC7351OA | м/н Рясне-2                       | 137 | 81  | 24 | 9  | 114 | 23 | 47  | 45  | 58 | 100 | 0,47 | 1,37 |
| A9  | автобус | 22.11.2024 | 13:41 | 14:55 | BC7317OA | Автовокзал                        | 169 | 84  | 33 | 20 | 137 | 32 | 106 | 100 | 50 | 100 | 1,06 | 1,69 |
| A18 | автобус | 12.11.2024 | 13:45 | 15:09 | BC0802MX | вул. Суботівська                  | 160 | 97  | 29 | 15 | 141 | 19 | 76  | 72  | 45 | 100 | 0,76 | 1,60 |
| A61 | автобус | 12.11.2024 | 13:45 | 14:58 | BC2913OA | с. Підбірки                       | 113 | 66  | 27 | 7  | 100 | 13 | 43  | 39  | 29 | 100 | 0,43 | 1,13 |
| A1  | автобус | 20.11.2024 | 13:45 | 14:42 | BC5013OA | Дубляни                           | 63  | 34  | 12 | 7  | 53  | 10 | 45  | 42  | 32 | 100 | 0,45 | 0,63 |
| A48 | автобус | 18.11.2024 | 13:51 | 14:46 | AC7053EX | вул. Кричевського                 | 77  | 53  | 12 | 2  | 67  | 10 | 38  | 35  | 43 | 100 | 0,38 | 0,77 |
| A92 | автобус | 20.11.2024 | 13:53 | 15:03 | BC1934MX | ТЦ "МЕТРО", Автостанція "Західна" | 142 | 79  | 25 | 12 | 116 | 26 | 65  | 62  | 51 | 100 | 0,65 | 1,42 |
| A52 | автобус | 14.11.2024 | 13:54 | 15:05 | BC5365OA | вул. Петра Панча                  | 120 | 68  | 33 | 7  | 108 | 12 | 48  | 43  | 40 | 100 | 0,48 | 1,20 |
| A5  | автобус | 20.11.2024 | 13:55 | 14:41 | BC2123ET | Винники (вул. Забава)             | 71  | 35  | 15 | 10 | 60  | 11 | 50  | 48  | 34 | 100 | 0,50 | 0,71 |
| A49 | автобус | 18.11.2024 | 13:57 | 14:38 | BC1931MX | Залізничний вокзал (32)           | 33  | 18  | 8  | 5  | 31  | 2  | 28  | 26  | 27 | 100 | 0,28 | 0,33 |
| A3  | автобус | 18.11.2024 | 14:00 | 14:39 | BC6481OI | ТРЦ "King Cross Leopold"          | 100 | 54  | 22 | 6  | 82  | 18 | 68  | 64  | 28 | 100 | 0,68 | 1,00 |
| A40 | автобус | 14.11.2024 | 14:15 | 15:30 | BC6385OB | ТРЦ "King Cross Leopold"          | 100 | 53  | 18 | 14 | 85  | 15 | 36  | 33  | 36 | 100 | 0,36 | 1,00 |
| A8  | автобус | 14.11.2024 | 14:15 | 14:49 | BC1876EO | Брюховичі (кардіологічна лікарня) | 52  | 12  | 5  | 4  | 21  | 31 | 49  | 45  | 30 | 100 | 0,49 | 0,52 |
| A10 | автобус | 14.11.2024 | 14:20 | 15:01 | BC3666ET | Залізничний вокзал                | 61  | 23  | 6  | 7  | 36  | 25 | 27  | 23  | 29 | 100 | 0,27 | 0,61 |
| A53 | автобус | 18.11.2024 | 14:20 | 15:25 | BC8467ME | Санта Барбара                     | 193 | 98  | 35 | 13 | 146 | 47 | 89  | 86  | 61 | 100 | 0,89 | 1,93 |
| A46 | автобус | 20.11.2024 | 14:25 | 15:42 | BC6358OI | Санта Барбара                     | 142 | 84  | 23 | 3  | 110 | 32 | 57  | 53  | 64 | 100 | 0,57 | 1,42 |
| A1  | автобус | 20.11.2024 | 14:45 | 15:31 | BC6363ET | пл. Галицька                      | 58  | 32  | 9  | 6  | 47  | 11 | 27  | 25  | 30 | 100 | 0,27 | 0,58 |
| A5  | автобус | 20.11.2024 | 14:55 | 15:48 | BC2123ET | вул. Театральна                   | 46  | 19  | 14 | 7  | 40  | 6  | 29  | 25  | 32 | 100 | 0,29 | 0,46 |
| A10 | автобус | 14.11.2024 | 15:15 | 15:58 | BC3666ET | ТРЦ "King Cross Leopold"          | 87  | 41  | 15 | 2  | 58  | 29 | 56  | 53  | 33 | 100 | 0,56 | 0,87 |
| A47 | автобус | 22.11.2024 | 15:20 | 17:16 | BC6644ET | Санта Барбара                     | 207 | 119 | 28 | 15 | 162 | 45 | 91  | 88  | 68 | 100 | 0,91 | 2,07 |
| A6  | автобус | 12.11.2024 | 16:11 | 16:58 | BC1506OI | м/н Рясне-2                       | 129 | 45  | 14 | 14 | 73  | 56 | 94  | 88  | 52 | 100 | 0,94 | 1,29 |
| A61 | автобус | 12.11.2024 | 16:15 | 17:38 | BC8656EX | с. Підрясне                       | 152 | 80  | 21 | 5  | 106 | 46 | 63  | 59  | 36 | 100 | 0,63 | 1,52 |
| A92 | автобус | 20.11.2024 | 16:27 | 17:54 | BC5337OA | вул. Джорджа Вашингтона           | 146 | 81  | 27 | 11 | 119 | 27 | 87  | 83  | 59 | 100 | 0,87 | 1,46 |
| A8  | автобус | 14.11.2024 | 16:31 | 17:10 | BC1286OI | Брюховичі (кардіологічна лікарня) | 76  | 33  | 9  | 3  | 45  | 31 | 68  | 65  | 38 | 100 | 0,68 | 0,76 |
| A18 | автобус | 12.11.2024 | 16:39 | 18:03 | BC5356OA | Товариство "Провесні-агроінвест"  | 174 | 108 | 30 | 13 | 151 | 23 | 68  | 63  | 49 | 100 | 0,68 | 1,74 |
| A10 | автобус | 14.11.2024 | 16:39 | 17:31 | BC5013OA | Залізничний вокзал                | 69  | 32  | 19 | 5  | 56  | 13 | 40  | 37  | 31 | 100 | 0,40 | 0,69 |
| A52 | автобус | 14.11.2024 | 16:40 | 18:06 | BC5341OA | Рудне (Духовна семінарія)         | 171 | 104 | 35 | 10 | 149 | 22 | 89  | 81  | 52 | 100 | 0,89 | 1,71 |
| A29 | автобус | 18.11.2024 | 16:41 | 17:47 | BC3229MX | Винники (вул. Винниченка)         | 136 | 76  | 20 | 7  | 103 | 33 | 77  | 73  | 42 | 100 | 0,77 | 1,36 |
| A9  | автобус | 22.11.2024 | 16:41 | 18:02 | BC3663ET | с. Муроване                       | 128 | 60  | 34 | 14 | 108 | 20 | 49  | 46  | 49 | 100 | 0,49 | 1,28 |
| A1  | автобус | 20.11.2024 | 16:44 | 17:51 | BC2600EX | Дубляни                           | 95  | 44  | 19 | 8  | 71  | 24 | 62  | 59  | 36 | 100 | 0,62 | 0,95 |
| A53 | автобус | 18.11.2024 | 16:46 | 18:02 | BC4740PI | Галицьке перехрестя               | 141 | 79  | 35 | 11 | 125 | 16 | 80  | 77  | 53 | 100 | 0,80 | 1,41 |
| A16 | автобус | 20.11.2024 | 16:46 | 17:54 | BC8663EX | вул. Івана Кавалерідзе            | 115 | 74  | 20 | 7  | 101 | 14 | 52  | 50  | 46 | 100 | 0,52 | 1,15 |
| A3  | автобус | 18.11.2024 | 16:48 | 17:41 | BC1282OI | вул. Театральна                   | 98  | 53  | 20 | 12 | 85  | 13 | 68  | 66  | 33 | 100 | 0,68 | 0,98 |
| A49 | автобус | 18.11.2024 | 16:49 | 17:36 | BC5870MX | м/н Рясне-2                       | 63  | 41  | 9  | 5  | 55  | 8  | 51  | 48  | 34 | 100 | 0,51 | 0,63 |
| A46 | автобус | 20.11.2024 | 16:58 | 18:42 | BC1513OI | вул. Щурата                       | 116 | 62  | 28 | 8  | 98  | 18 | 50  | 47  | 60 | 100 | 0,50 | 1,16 |
| A40 | автобус | 14.11.2024 | 17:00 | 18:26 | BC7324OA | Винники (вул. Лисика)             | 165 | 99  | 20 | 17 | 136 | 29 | 93  | 88  | 50 | 100 | 0,93 | 1,65 |
| A6  | автобус | 12.11.2024 | 17:00 | 17:46 | BC2978ET | пл. Галицька                      | 45  | 34  | 7  | 1  | 42  | 3  | 19  | 18  | 48 | 100 | 0,19 | 0,45 |
| A5  | автобус | 20.11.2024 | 17:06 | 18:08 | BC8215EN | Винники (вул. Забава)             | 115 | 62  | 13 | 4  | 79  | 36 | 61  | 58  | 44 | 100 | 0,61 | 1,15 |
| A48 | автобус | 18.11.2024 | 17:09 | 18:24 | BC0185OK | Галицьке перехрестя               | 80  | 48  | 13 | 7  | 68  | 12 | 41  | 39  | 43 | 100 | 0,41 | 0,80 |
| A10 | автобус | 14.11.2024 | 17:31 | 18:23 | BC5013OA | ТРЦ "King Cross Leopold"          | 86  | 37  | 12 | 8  | 57  | 29 | 42  | 40  | 34 | 100 | 0,42 | 0,86 |
| A49 | автобус | 18.11.2024 | 17:40 | 18:34 | BC5870MX | Залізничний вокзал (32)           | 34  | 14  | 9  | 4  | 27  | 7  | 20  | 19  | 28 | 100 | 0,20 | 0,34 |
| A47 | автобус | 22.11.2024 | 17:42 | 19:23 | BC6767ET | м/н Рясне-2                       | 132 | 70  | 36 | 5  | 111 | 21 | 57  | 53  | 54 | 100 | 0,57 | 1,32 |
| A3  | автобус | 18.11.2024 | 17:46 | 18:41 | BC1282OI | ТРЦ "King Cross Leopold"          | 97  | 48  | 26 | 8  | 82  | 15 | 67  | 62  | 34 | 100 | 0,67 | 0,97 |
| A29 | автобус | 18.11.2024 | 17:48 | 19:41 | BC3229MX | Залізничний вокзал (29)           | 62  | 32  | 12 | 4  | 48  | 14 | 35  | 31  | 32 | 100 | 0,35 | 0,62 |
| A61 | автобус | 12.11.2024 | 17:50 | 19:23 | BC8656EX | с. Підбірки                       | 110 | 69  | 25 | 3  | 97  | 13 | 51  | 49  | 32 | 100 | 0,51 | 1,10 |
| A16 | автобус | 20.11.2024 | 17:53 | 19:10 | BC9666EP | Залізничний вокзал                | 98  | 51  | 21 | 8  | 80  | 18 | 53  | 49  | 40 | 100 | 0,53 | 0,98 |
| A92 | автобус | 20.11.2024 | 18:01 | 19:27 | BC7365OA | ТЦ "МЕТРО", Автостанція "Західна" | 57  | 28  | 14 | 4  | 46  | 11 | 24  | 22  | 48 | 100 | 0,24 | 0,57 |
| A53 | автобус | 18.11.2024 | 18:04 | 19:11 | BC4740PI | Санта Барбара                     | 80  | 41  | 17 | 11 | 69  | 11 | 48  | 44  | 43 | 100 | 0,48 | 0,80 |
| A9  | автобус | 22.11.2024 | 18:04 | 19:25 | BC3663ET | Автовокзал                        | 177 | 68  | 43 | 10 | 121 | 56 | 100 | 94  | 58 | 100 | 1,00 | 1,77 |
| A18 | автобус | 12.11.2024 | 18:08 | 19:36 | BC5356OA | вул. Суботівська                  | 126 | 79  | 30 | 6  | 115 | 11 | 49  | 47  | 43 | 100 | 0,49 | 1,26 |
| A5  | автобус | 20.11.2024 | 18:09 | 18:53 | BC8215EN | вул. Театральна                   | 26  | 14  | 4  | 2  | 20  | 6  | 14  | 13  | 28 | 100 | 0,14 | 0,26 |
| A1  | автобус | 20.11.2024 | 18:12 | 19:00 | BC2489ET | пл. Галицька                      | 66  | 39  | 20 | 3  | 62  | 4  | 38  | 35  | 29 | 100 | 0,38 | 0,66 |
| A52 | автобус | 14.11.2024 | 18:14 | 19:30 | BC0820MX | вул. Петра Панча                  | 78  | 44  | 26 | 1  | 71  | 7  | 33  | 29  | 36 | 100 | 0,33 | 0,78 |
| A40 | автобус | 14.11.2024 | 18:33 | 19:50 | BC7324OA | ТРЦ "King Cross Leopold"          | 87  | 48  | 17 | 7  | 72  | 15 | 38  | 37  | 39 | 100 | 0,38 | 0,87 |
| A48 | автобус | 18.11.2024 | 18:44 | 19:34 | AC8741EX | вул. Кричевського                 | 60  | 32  | 17 | 3  | 52  | 8  | 27  | 26  | 39 | 100 | 0,27 | 0,60 |
| A46 | автобус | 20.11.2024 | 18:46 | 19:55 | BC7748ET | Санта Барбара                     | 118 | 51  | 35 | 9  | 95  | 23 | 72  | 70  | 65 | 100 | 0,72 | 1,18 |
| A47 | автобус | 22.11.2024 | 19:24 | 20:48 | BC2977ET | Санта Барбара                     | 97  | 49  | 35 | 3  | 87  | 10 | 58  | 54  | 50 | 100 | 0,58 | 0,97 |

Таблиця А2

## Результати експериментальних вимірювань показників пасажирського потоку на тролейбусних маршрутах

| Маршрут | Вид тр-ту | Дата       | Віправлення | Прибуття | Борт | Напрямок руху (кінцева зупинка рейсу) | Кількість пасажирів за рейс (обстеження в салоні рухомого складу) | Оплата LeoCard | Оплата картою | Оплата готівкою (паперовий квиток) | Оплата Privat 24 | Оплата Easy Pay | Кількість пасажирів за рейс (за кількістю оплат) | Різниця | Максимум | Середнє | Середня тривалість перебування ТЗ ІТ на проміжних ЗП | Місткість | Стат. коф. пм. | Коф. зм. |
|---------|-----------|------------|-------------|----------|------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------------|------------------|-----------------|--------------------------------------------------|---------|----------|---------|------------------------------------------------------|-----------|----------------|----------|
| T30     | тролейбус | 12.11.2024 | 08:57       | 09:21    | 161  | вул. Ряшівська                        | 38                                                                | 20             | 6             | 3                                  | 1                | 0               | 30                                               | 8       | 25       | 23      | 42                                                   | 105       | 0,24           | 0,36     |
| T30     | тролейбус | 12.11.2024 | 09:26       | 10:04    | 161  | Університет                           | 129                                                               | 50             | 21            | 3                                  | 4                | 0               | 78                                               | 51      | 105      | 97      | 56                                                   | 105       | 1,00           | 1,23     |
| T30     | тролейбус | 12.11.2024 | 13:11       | 13:41    | 118  | вул.Ряшівська                         | 124                                                               | 60             | 17            | 5                                  | 0                | 0               | 82                                               | 42      | 74       | 71      | 40                                                   | 105       | 0,70           | 1,18     |
| T30     | тролейбус | 12.11.2024 | 13:48       | 14:17    | 118  | Університет                           | 23                                                                | 10             | 1             | 2                                  | 0                | 0               | 13                                               | 10      | 11       | 10      | 46                                                   | 105       | 0,10           | 0,22     |
| T30     | тролейбус | 12.11.2024 | 16:53       | 17:25    | 166  | вул.Ряшівська                         | 87                                                                | 40             | 9             | 0                                  | 3                | 0               | 52                                               | 35      | 64       | 61      | 52                                                   | 105       | 0,61           | 0,83     |
| T30     | тролейбус | 12.11.2024 | 17:29       | 18:04    | 166  | Університет                           | 135                                                               | 13             | 6             | 1                                  | 2                | 0               | 22                                               | 13      | 19       | 18      | 44                                                   | 105       | 0,18           | 0,33     |
| T25     | тролейбус | 12.11.2024 | 08:03       | 08:54    | 154  | Шота Руставелі                        | 124                                                               | 55             | 17            | 6                                  | 3                | 0               | 81                                               | 43      | 92       | 88      | 34                                                   | 105       | 0,88           | 1,18     |
| T25     | тролейбус | 12.11.2024 | 09:05       | 09:35    | 154  | Автовокзал                            | 22                                                                | 11             | 3             | 5                                  | 2                | 0               | 21                                               | 1       | 14       | 11      | 30                                                   | 105       | 0,13           | 0,21     |
| T25     | тролейбус | 12.11.2024 | 14:00       | 14:33    | 144  | Автовокзал                            | 81                                                                | 38             | 5             | 8                                  | 1                | 0               | 52                                               | 29      | 45       | 41      | 32                                                   | 105       | 0,43           | 0,77     |
| T25     | тролейбус | 12.11.2024 | 17:37       | 18:08    | 119  | Шота Руставелі                        | 26                                                                | 15             | 2             | 1                                  | 1                | 0               | 19                                               | 7       | 15       | 13      | 30                                                   | 105       | 0,14           | 0,25     |
| T25     | тролейбус | 12.11.2024 | 17:00       | 17:36    | 119  | Автовокзал                            | 89                                                                | 37             | 14            | 1                                  | 0                | 0               | 52                                               | 37      | 70       | 67      | 36                                                   | 105       | 0,67           | 0,85     |
| T31     | тролейбус | 12.11.2024 | 07:57       | 08:43    | 104  | Пульмонологічний центр                | 66                                                                | 32             | 11            | 4                                  | 0                | 0               | 47                                               | 19      | 38       | 36      | 34                                                   | 105       | 0,36           | 0,63     |
| T31     | тролейбус | 12.11.2024 | 09:16       | 10:00    | 172  | вул. Шота Руставелі                   | 45                                                                | 21             | 9             | 5                                  | 2                | 0               | 37                                               | 8       | 27       | 26      | 32                                                   | 105       | 0,26           | 0,43     |
| T31     | тролейбус | 12.11.2024 | 13:47       | 14:38    | 603  | Пульмонологічний центр                | 51                                                                | 30             | 3             | 0                                  | 5                | 1               | 39                                               | 12      | 30       | 28      | 32                                                   | 105       | 0,29           | 0,49     |
| T31     | тролейбус | 12.11.2024 | 14:59       | 15:40    | 104  | вул. Шота Руставелі                   | 44                                                                | 24             | 4             | 3                                  | 0                | 0               | 31                                               | 13      | 30       | 28      | 30                                                   | 105       | 0,29           | 0,42     |
| T31     | тролейбус | 12.11.2024 | 16:55       | 17:53    | 603  | Пульмонологічний центр                | 44                                                                | 26             | 2             | 0                                  | 2                | 0               | 30                                               | 14      | 32       | 30      | 32                                                   | 105       | 0,30           | 0,42     |
| T31     | тролейбус | 12.11.2024 | 17:57       | 18:34    | 603  | вул. Шота Руставелі                   | 16                                                                | 5              | 4             | 0                                  | 1                | 0               | 10                                               | 6       | 9        | 9       | 29                                                   | 105       | 0,09           | 0,15     |
| T22     | тролейбус | 12.11.2024 | 08:00       | 08:54    | 136  | Автовокзал                            | 59                                                                | 33             | 4             | 3                                  | 6                | 1               | 47                                               | 12      | 33       | 31      | 39                                                   | 105       | 0,31           | 0,56     |
| T22     | тролейбус | 12.11.2024 | 09:00       | 10:08    | 125  | Університет                           | 108                                                               | 46             | 29            | 3                                  | 7                | 1               | 86                                               | 22      | 73       | 69      | 41                                                   | 105       | 0,70           | 1,03     |
| T22     | тролейбус | 12.11.2024 | 12:33       | 13:21    | 114  | Автовокзал                            | 83                                                                | 41             | 11            | 4                                  | 3                | 0               | 59                                               | 24      | 37       | 35      | 36                                                   | 105       | 0,35           | 0,79     |
| T22     | тролейбус | 12.11.2024 | 13:36       | 14:25    | 138  | Університет                           | 81                                                                | 38             | 17            | 4                                  | 7                | 1               | 67                                               | 14      | 47       | 44      | 38                                                   | 105       | 0,45           | 0,77     |
| T22     | тролейбус | 12.11.2024 | 16:48       | 17:47    | 117  | Автовокзал                            | 142                                                               | 47             | 15            | 5                                  | 6                | 1               | 74                                               | 68      | 69       | 63      | 46                                                   | 105       | 0,66           | 1,35     |
| T22     | тролейбус | 12.11.2024 | 18:10       | 19:06    | 148  | Університет                           | 102                                                               | 47             | 9             | 6                                  | 7                | 1               | 70                                               | 32      | 49       | 45      | 37                                                   | 105       | 0,47           | 0,97     |
| T27     | тролейбус | 14.11.2024 | 08:18       | 08:50    | 130  | станція Сквили                        | 21                                                                | 11             | 2             | 1                                  | 1                | 0               | 15                                               | 6       | 10       | 9       | 32                                                   | 105       | 0,10           | 0,20     |
| T27     | тролейбус | 14.11.2024 | 08:55       | 09:32    | 130  | Університет                           | 32                                                                | 21             | 2             | 0                                  | 3                | 0               | 26                                               | 6       | 24       | 22      | 38                                                   | 105       | 0,23           | 0,30     |
| T27     | тролейбус | 14.11.2024 | 15:39       | 16:12    | 118  | станція Сквили                        | 31                                                                | 17             | 6             | 1                                  | 1                | 0               | 25                                               | 6       | 21       | 20      | 30                                                   | 105       | 0,20           | 0,30     |
| T27     | тролейбус | 14.11.2024 | 16:13       | 16:49    | 118  | Університет                           | 15                                                                | 12             | 0             | 0                                  | 0                | 0               | 12                                               | 3       | 11       | 10      | 30                                                   | 105       | 0,10           | 0,14     |
| T27     | тролейбус | 14.11.2024 | 16:49       | 17:25    | 118  | станція Сквили                        | 38                                                                | 23             | 2             | 0                                  | 0                | 0               | 25                                               | 13      | 14       | 13      | 36                                                   | 105       | 0,13           | 0,36     |
| T24     | тролейбус | 14.11.2024 | 08:05       | 09:10    | 123  | вул. Шота Руставелі                   | 31                                                                | 11             | 4             | 0                                  | 0                | 0               | 15                                               | 16      | 18       | 16      | 40                                                   | 105       | 0,17           | 0,30     |
| T24     | тролейбус | 14.11.2024 | 13:40       | 14:15    | 157  | вул. Шота Руставелі                   | 42                                                                | 12             | 2             | 2                                  | 0                | 0               | 16                                               | 26      | 22       | 19      | 36                                                   | 105       | 0,21           | 0,40     |
| T24     | тролейбус | 14.11.2024 | 14:35       | 15:13    | 132  | Санта Барбара                         | 30                                                                | 12             | 3             | 2                                  | 1                | 0               | 18                                               | 12      | 15       | 14      | 32                                                   | 105       | 0,14           | 0,29     |
| T24     | тролейбус | 14.11.2024 | 17:42       | 18:34    | 109  | Санта Барбара                         | 61                                                                | 33             | 9             | 1                                  | 1                | 0               | 44                                               | 17      | 34       | 30      | 44                                                   | 105       | 0,32           | 0,58     |
| T38     | тролейбус | 18.11.2024 | 08:03       | 08:50    | 170  | вул. Хуторівка                        | 30                                                                | 15             | 4             | 0                                  | 2                | 0               | 21                                               | 9       | 19       | 17      | 38                                                   | 105       | 0,18           | 0,29     |
| T38     | тролейбус | 18.11.2024 | 08:51       | 09:51    | 170  | пл. Кропивницького                    | 44                                                                | 21             | 5             | 2                                  | 3                | 0               | 31                                               | 13      | 26       | 24      | 36                                                   | 105       | 0,25           | 0,42     |
| T38     | тролейбус | 18.11.2024 | 12:52       | 13:35    | 540  | вул. Хуторівка                        | 58                                                                | 30             | 2             | 1                                  | 1                | 0               | 34                                               | 24      | 38       | 35      | 32                                                   | 105       | 0,36           | 0,55     |
| T38     | тролейбус | 18.11.2024 | 13:36       | 14:20    | 540  | пл. Кропивницького                    | 35                                                                | 14             | 2             | 0                                  | 1                | 0               | 17                                               | 18      | 19       | 17      | 30                                                   | 105       | 0,18           | 0,33     |
| T38     | тролейбус | 18.11.2024 | 17:12       | 18:14    | 569  | вул. Хуторівка                        | 42                                                                | 24             | 5             | 0                                  | 0                | 0               | 29                                               | 13      | 22       | 19      | 39                                                   | 105       | 0,21           | 0,40     |
| T38     | тролейбус | 18.11.2024 | 18:14       | 18:58    | 569  | пл. Кропивницького                    | 21                                                                | 7              | 2             | 1                                  | 0                | 0               | 10                                               | 11      | 12       | 12      | 36                                                   | 105       | 0,11           | 0,20     |
| T32     | тролейбус | 18.11.2024 | 08:06       | 08:35    | 604  | вул. Суботівська                      | 24                                                                | 13             | 5             | 1                                  | 0                | 0               | 19                                               | 5       | 16       | 15      | 30                                                   | 105       | 0,15           | 0,23     |
| T32     | тролейбус | 18.11.2024 | 08:36       | 09:19    | 604  | Університет                           | 48                                                                | 22             | 8             | 1                                  | 1                | 0               | 32                                               | 16      | 29       | 26      | 37                                                   | 105       | 0,28           | 0,46     |
| T32     | тролейбус | 18.11.2024 | 14:13       | 14:45    | 145  | вул. Суботівська                      | 37                                                                | 16             | 11            | 0                                  | 0                | 0               | 27                                               | 10      | 22       | 21      | 30                                                   | 105       | 0,21           | 0,35     |
| T32     | тролейбус | 18.11.2024 | 14:48       | 15:18    | 145  | Університет                           | 31                                                                | 17             | 2             | 1                                  | 0                | 0               | 20                                               | 11      | 17       | 17      | 32                                                   | 105       | 0,16           | 0,30     |
| T32     | тролейбус | 18.11.2024 | 16:49       | 17:30    | 604  | вул. Суботівська                      | 68                                                                | 38             | 4             | 1                                  | 3                | 0               | 46                                               | 22      | 48       | 46      | 40                                                   | 105       | 0,46           | 0,65     |
| T32     | тролейбус | 18.11.2024 | 17:45       | 18:20    | 115  | Університет                           | 32                                                                | 16             | 11            | 1                                  | 0                | 0               | 28                                               | 4       | 17       | 16      | 37                                                   | 105       | 0,16           | 0,30     |
| T23     | тролейбус | 20.11.2024 | 08:46       | 09:41    | 518  | вул. Ряшівська                        | 40                                                                | 23             | 6             | 1                                  | 0                | 0               | 30                                               | 10      | 22       | 21      | 28                                                   | 105       | 0,21           | 0,38     |
| T23     | тролейбус | 20.11.2024 | 09:41       | 10:24    | 518  | Автовокзал                            | 50                                                                | 32             | 4             | 4                                  | 1                | 0               | 41                                               | 9       | 31       | 29      | 30                                                   | 105       | 0,30           | 0,48     |
| T23     | тролейбус | 20.11.2024 | 11:53       | 12:40    | 518  | вул. Ряшівська                        | 46                                                                | 21             | 6             | 1                                  | 1                | 0               | 29                                               | 17      | 21       | 19      | 30                                                   | 105       | 0,20           | 0,44     |
| T23     | тролейбус | 20.11.2024 | 12:43       | 13:24    | 518  | Автовокзал                            | 80                                                                | 44             | 2             | 4                                  | 0                | 0               | 50                                               | 30      | 41       | 33      | 33                                                   | 105       | 0,39           | 0,76     |
| T23     | тролейбус | 20.11.2024 | 16:51       | 17:38    | 113  | вул. Ряшівська                        | 67                                                                | 26             | 9             | 2                                  | 3                | 0               | 40                                               | 27      | 35       | 31      | 34                                                   | 105       | 0,33           | 0,64     |
| T23     | тролейбус | 20.11.2024 | 17:38       | 18:31    | 113  | Автовокзал                            | 75                                                                | 34             | 16            | 2                                  | 1                | 0               | 53                                               | 22      | 39       | 36      | 40                                                   | 105       | 0,37           | 0,71     |
| T33     | тролейбус | 20.11.2024 | 07:57       | 08:30    | 150  | вул. Грінченка                        | 45                                                                | 26             | 2             | 1                                  | 0                | 0               | 29                                               | 16      | 30       | 28      | 35                                                   | 105       | 0,29           | 0,43     |
| T33     | тролейбус | 20.11.2024 | 08:36       | 09:12    | 156  | пл. Івана Підкови                     | 51                                                                | 30             | 11            | 0                                  | 3                | 0               | 44                                               | 7       | 30       | 29      | 54                                                   | 105       | 0,29           | 0,49     |
| T33     | тролейбус | 20.11.2024 | 13:38       | 14:06    | 131  | вул. Грінченка                        | 28                                                                | 16             | 4             | 0                                  | 1                | 0               | 21                                               | 7       | 21       | 19      | 34                                                   | 105       | 0,20           | 0,27     |
| T33     | тролейбус | 20.11.2024 | 14:11       | 14:43    | 131  | пл. Івана Підкови                     | 52                                                                | 21             | 25            | 3                                  | 2                | 0               | 51                                               | 1       | 25       | 24      | 36                                                   | 105       | 0,24           | 0,50     |
| T33     | тролейбус | 20.11.2024 | 16:38       | 17:07    | 171  | вул. Грінченка                        | 60                                                                | 31             | 11            | 1                                  | 0                | 0               | 43                                               | 17      | 33       | 31      | 52                                                   | 105       | 0,31           | 0,57     |

Таблиця АЗ

## Результати експериментальних вимірювань показників пасажирського потоку на автобусах малої пасажиромісткості

| Маршрут | Вид тр-ту | Дата       | Відправлення | Прибуття | Борт       | Напрям руху (кінцева зупинка рейсу) | Кількість пасажирів за рейс (обстеження в салоні рухомого складу) | Оплата LeoCard | Оплата картою | Оплата готівкою (паперовий квиток) | Кількість пасажирів за рейс (за кількістю оплат) | Різниця | Максимум | Середнє | Середня тривалість перебування ТЗ ГТ на проміжних ЗП | Місткість | Стат. коф.пм. | Коф. зм. |
|---------|-----------|------------|--------------|----------|------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|---------|----------|---------|------------------------------------------------------|-----------|---------------|----------|
| 1       | 2         | 3          | 4            | 5        | 6          | 7                                   | 8                                                                 | 9              | 10            | 11                                 | 12                                               | 13      | 14       | 15      | 16                                                   | 17        | 18            | 19       |
| 39A     | маршрутка | 22.11.2024 | 07:26        | 07:47    | BC8219EH   | Авториннок                          | 7                                                                 | 6              | 1             | 0                                  | 7                                                | 0       | 5        | 5       | 18                                                   | 40        | 0,13          | 0,18     |
| 56      | маршрутка | 12.11.2024 | 07:30        | 08:10    | BC8223EH   | Дубляни                             | 20                                                                | 4              | 1             | 2                                  | 7                                                | 13      | 12       | 12      | 23                                                   | 40        | 0,30          | 0,50     |
| 43      | маршрутка | 22.11.2024 | 07:43        | 08:35    | BC2253HE   | Лікарня Святого Луки Першого        | 60                                                                | 44             | 14            | 2                                  | 60                                               | 0       | 35       | 32      | 48                                                   | 40        | 0,88          | 1,50     |
| 20      | маршрутка | 14.11.2024 | 07:48        | 08:39    | BC5734PI   | вул. Польова                        | 69                                                                | 44             | 6             | 1                                  | 51                                               | 18      | 39       | 36      | 54                                                   | 40        | 0,98          | 1,73     |
| 11      | маршрутка | 12.11.2024 | 7:50         | 9:24     | BC4811PX   | Рясне-2                             | 108                                                               | 75             | 19            | 9                                  | 103                                              | 5       | 45       | 42      | 50                                                   | 40        | 1,13          | 2,70     |
| 31      | маршрутка | 14.11.2024 | 07:54        | 08:39    | BC8362EX   | Галицьке перехрестя                 | 46                                                                | 29             | 5             | 5                                  | 39                                               | 7       | 32       | 29      | 34                                                   | 40        | 0,80          | 1,15     |
| 19      | маршрутка | 20.11.2024 | 07:54        | 09:40    | BC1142ET   | вул. Антонича                       | 80                                                                | 0              | 17            | 10                                 | 27                                               | 53      | 41       | 36      | 42                                                   | 40        | 1,03          | 2,00     |
| 23      | маршрутка | 20.11.2024 | 07:54        | 09:40    | BC8679PX   | Товариство "Провесінь-агроінвес     | 117                                                               | 74             | 27            | 6                                  | 107                                              | 10      | 50       | 48      | 37                                                   | 80        | 0,63          | 1,46     |
| 37      | маршрутка | 12.11.2024 | 07:55        | 09:05    | BC 1118 AA | вул. Гната Хоткевича                | 107                                                               | 56             | 26            | 2                                  | 84                                               | 23      | 48       | 46      | 57                                                   | 40        | 1,20          | 2,68     |
| 25      | маршрутка | 22.11.2024 | 07:56        | 09:32    | BC2491EB   | вул. Заклинських                    | 111                                                               | 51             | 24            | 10                                 | 85                                               | 26      | 53       | 49      | 46                                                   | 40        | 1,33          | 2,78     |
| 34      | маршрутка | 22.11.2024 | 07:57        | 08:50    | BC2378AA   | вул. Чигиринська                    | 77                                                                | 50             | 15            | 3                                  | 68                                               | 9       | 44       | 42      | 42                                                   | 40        | 1,10          | 1,93     |
| 51      | маршрутка | 12.11.2024 | 07:58        | 09:21    | BC9676BM   | Галицьке перехрестя                 | 55                                                                | 35             | 12            | 6                                  | 53                                               | 2       | 33       | 30      | 44                                                   | 40        | 0,83          | 1,38     |
| 21      | маршрутка | 14.11.2024 | 08:00        | 09:09    | BC1678AA   | пл. Різні                           | 64                                                                | 32             | 9             | 5                                  | 46                                               | 18      | 30       | 29      | 31                                                   | 40        | 0,75          | 1,60     |
| 55      | маршрутка | 21.11.2024 | 08:00        | 08:25    | BC8216EH   | с. Збиранка (Центр)                 | 16                                                                | 12             | 2             | 1                                  | 15                                               | 1       | 13       | 12      | 22                                                   | 40        | 0,33          | 0,40     |
| 41      | маршрутка | 20.11.2024 | 08:01        | 09:42    | BC9092PK   | вул. Івана Кавалерідзе              | 117                                                               | 78             | 28            | 6                                  | 112                                              | 5       | 38       | 34      | 48                                                   | 80        | 0,48          | 1,46     |
| 15      | маршрутка | 15.11.2024 | 08:02        | 08:58    | BC1099AA   | вул. Медової Печери                 | 68                                                                | 28             | 7             | 6                                  | 41                                               | 27      | 42       | 41      | 56                                                   | 40        | 1,05          | 1,70     |
| 58      | маршрутка | 14.11.2024 | 08:02        | 08:47    | BC1759AA   | с. Завадів                          | 27                                                                | 20             | 2             | 0                                  | 22                                               | 5       | 18       | 16      | 26                                                   | 40        | 0,45          | 0,68     |
| 39A     | маршрутка | 22.11.2024 | 08:02        | 08:44    | BC8219EH   | пл. Галицька                        | 23                                                                | 17             | 3             | 0                                  | 20                                               | 3       | 18       | 18      | 25                                                   | 40        | 0,45          | 0,58     |
| 39      | маршрутка | 20.11.2024 | 08:03        | 09:04    | BC3162AA   | Авториннок                          | 51                                                                | 28             | 9             | 6                                  | 43                                               | 8       | 39       | 38      | 37                                                   | 40        | 0,98          | 1,28     |
| 22      | маршрутка | 18.11.2024 | 08:05        | 08:40    | BC3774PH   | Брюховичі (вул. Під Осовою)         | 16                                                                | 3              | 2             | 2                                  | 7                                                | 9       | 11       | 9       | 27                                                   | 40        | 0,28          | 0,40     |
| 45      | маршрутка | 22.11.2024 | 08:16        | 08:52    | BC0502PK   | ТЦ "Вікторія Гарденс"               | 24                                                                | 15             | 8             | 0                                  | 23                                               | 1       | 21       | 20      | 40                                                   | 40        | 0,53          | 0,60     |
| 62      | маршрутка | 20.11.2024 | 08:18        | 08:50    | BC4221AB   | с. Малі Грибовичі                   | 20                                                                | 13             | 3             | 2                                  | 18                                               | 2       | 16       | 14      | 22                                                   | 40        | 0,40          | 0,50     |
| 32      | маршрутка | 22.11.2024 | 08:18        | 09:25    | BC0880AA   | Санта Барбара                       | 56                                                                | 26             | 10            | 8                                  | 44                                               | 12      | 25       | 22      | 36                                                   | 40        | 0,63          | 1,40     |
| 56      | маршрутка | 12.11.2024 | 08:20        | 09:22    | BC8223EH   | пл. 700-річчя Львова                | 40                                                                | 18             | 7             | 2                                  | 27                                               | 13      | 31       | 29      | 25                                                   | 40        | 0,78          | 1,00     |
| 30      | маршрутка | 18.11.2024 | 08:20        | 09:38    | AA7693PH   | м/н Рясне-2                         | 47                                                                | 23             | 11            | 3                                  | 37                                               | 10      | 22       | 20      | 33                                                   | 40        | 0,55          | 1,18     |
| 12      | маршрутка | 18.11.2024 | 08:24        | 08:59    | AA9824PH   | м/н Рясне-2                         | 31                                                                | 9              | 3             | 2                                  | 14                                               | 17      | 22       | 20      | 24                                                   | 40        | 0,55          | 0,78     |
| 55      | маршрутка | 21.11.2024 | 08:25        | 09:00    | BC8216EH   | пл. 700-річчя Львова                | 34                                                                | 23             | 4             | 1                                  | 28                                               | 6       | 23       | 21      | 25                                                   | 40        | 0,58          | 0,85     |
| 60      | маршрутка | 14.11.2024 | 08:31        | 09:12    | BC8201EH   | с. Ситихів                          | 11                                                                | 7              | 1             | 0                                  | 8                                                | 3       | 9        | 8       | 23                                                   | 40        | 0,23          | 0,28     |
| 57      | маршрутка | 21.11.2024 | 8:38         | 9:40     | KA0362TT   | вул. Польова                        | 48                                                                | 28             | 16            | 1                                  | 45                                               | 3       | 38       | 35      | 34                                                   | 40        | 0,95          | 1,20     |
| 22      | маршрутка | 18.11.2024 | 08:40        | 09:25    | BC3774PH   | вул. Зернова                        | 37                                                                | 24             | 6             | 1                                  | 31                                               | 6       | 30       | 28      | 27                                                   | 40        | 0,75          | 0,93     |
| 63      | маршрутка | 26.11.2024 | 8:43         | 9:40     | BC 8221EH  | с. Воля-Гомулецька (кінцева)        | 9                                                                 | 6              | 1             | 0                                  | 7                                                | 2       | 9        | 8       | 19                                                   | 40        | 0,23          | 0,23     |
| 58      | маршрутка | 14.11.2024 | 08:48        | 09:40    | BC1759AA   | пл. 700-річчя Львова                | 39                                                                | 22             | 3             | 5                                  | 30                                               | 9       | 31       | 30      | 27                                                   | 40        | 0,78          | 0,98     |
| 20      | маршрутка | 14.11.2024 | 08:50        | 09:46    | BC5735PI   | вул. Суботівська                    | 60                                                                | 31             | 9             | 4                                  | 44                                               | 16      | 29       | 26      | 41                                                   | 40        | 0,73          | 1,50     |
| 59      | маршрутка | 22.11.2024 | 08:52        | 09:57    | BC1502AA   | с. Зарудці                          | 35                                                                | 23             | 2             | 1                                  | 26                                               | 9       | 25       | 25      | 27                                                   | 40        | 0,63          | 0,88     |
| 31      | маршрутка | 14.11.2024 | 08:56        | 09:38    | BC4167ET   | Залізничний вокзал                  | 65                                                                | 16             | 11            | 5                                  | 32                                               | 33      | 30       | 28      | 46                                                   | 40        | 0,75          | 1,63     |
| 62      | маршрутка | 20.11.2024 | 08:56        | 09:33    | BC4221AB   | станція Підзамче                    | 24                                                                | 16             | 2             | 4                                  | 22                                               | 2       | 22       | 21      | 28                                                   | 40        | 0,55          | 0,60     |
| 27      | маршрутка | 14.11.2024 | 09:02        | 10:12    | BC6618TH   | вул. Пасічна                        | 52                                                                | 28             | 15            | 6                                  | 49                                               | 3       | 27       | 25      | 40                                                   | 40        | 0,68          | 1,30     |
| 15      | маршрутка | 15.11.2024 | 09:04        | 09:55    | BC1099AA   | Приміський вокзал                   | 44                                                                | 24             | 10            | 4                                  | 38                                               | 6       | 37       | 34      | 42                                                   | 40        | 0,93          | 1,10     |
| 12      | маршрутка | 18.11.2024 | 09:07        | 09:59    | AA9824PH   | Автостанція №2                      | 43                                                                | 10             | 5             | 3                                  | 18                                               | 25      | 24       | 22      | 26                                                   | 40        | 0,60          | 1,08     |
| 37      | маршрутка | 12.11.2024 | 09:12        | 10:15    | BC 2149 KX | вул. Під Голоском                   | 53                                                                | 28             | 12            | 3                                  | 43                                               | 10      | 31       | 29      | 42                                                   | 40        | 0,78          | 1,33     |
| 34      | маршрутка | 22.11.2024 | 09:12        | 10:13    | BC8344MT   | с. Білогорща                        | 73                                                                | 43             | 19            | 5                                  | 67                                               | 6       | 39       | 37      | 47                                                   | 40        | 0,98          | 1,83     |
| 39      | маршрутка | 20.11.2024 | 09:13        | 10:04    | BC3162AA   | вул. Грінченка (39)                 | 37                                                                | 29             | 2             | 6                                  | 37                                               | 0       | 22       | 20      | 33                                                   | 40        | 0,55          | 0,93     |
| 21      | маршрутка | 14.11.2024 | 09:24        | 10:10    | BC1503AA   | ТЦ "Три слони"                      | 20                                                                | 10             | 9             | 1                                  | 20                                               | 0       | 16       | 15      | 27                                                   | 40        | 0,40          | 0,50     |
| 51      | маршрутка | 12.11.2024 | 09:28        | 10:39    | BC0683HO   | ТЦ "Вікторія Гарденс"               | 65                                                                | 34             | 16            | 8                                  | 58                                               | 7       | 36       | 34      | 50                                                   | 40        | 0,90          | 1,63     |
| 14      | маршрутка | 22.11.2024 | 09:28        | 10:21    | BC4636CX   | Автостанція "Західна"               | 39                                                                | 20             | 7             | 5                                  | 32                                               | 7       | 25       | 24      | 29                                                   | 80        | 0,31          | 0,49     |
| 60      | маршрутка | 14.11.2024 | 09:30        | 10:17    | BC8201EH   | пр. Нечеслава Чорновола             | 35                                                                | 17             | 2             | 4                                  | 23                                               | 12      | 32       | 29      | 32                                                   | 40        | 0,80          | 0,88     |
| 32      | маршрутка | 22.11.2024 | 09:31        | 10:30    | BC0880AA   | Залізничний вокзал (32)             | 59                                                                | 37             | 7             | 5                                  | 49                                               | 10      | 29       | 26      | 48                                                   | 40        | 0,73          | 1,48     |
| 25      | маршрутка | 22.11.2024 | 09:36        | 10:49    | BC2491EB   | ТРЦ "King Cross Leopold"            | 81                                                                | 41             | 13            | 11                                 | 65                                               | 16      | 41       | 37      | 58                                                   | 40        | 1,03          | 2,03     |
| 84      | маршрутка | 12.11.2024 | 09:37        | 10:49    | BC0720OC   | Рудне (Духовна семінарія)           | 48                                                                | 25             | 9             | 7                                  | 41                                               | 7       | 24       | 22      | 37                                                   | 40        | 0,60          | 1,20     |
| 57      | маршрутка | 21.11.2024 | 9:41         | 10:35    | AA9812PH   | вул. Ярослава Гашека                | 34                                                                | 19             | 5             | 5                                  | 29                                               | 5       | 18       | 16      | 38                                                   | 40        | 0,45          | 0,85     |
| 19      | маршрутка | 20.11.2024 | 09:41        | 10:56    | BC1142ET   | вул. Щурата                         | 56                                                                | 0              | 8             | 5                                  | 13                                               | 43      | 28       | 27      | 41                                                   | 40        | 0,70          | 1,40     |
| 23      | маршрутка | 20.11.2024 | 09:42        | 11:07    | BC8679PX   | вул. Суботівська                    | 112                                                               | 71             | 14            | 8                                  | 93                                               | 19      | 32       | 29      | 36                                                   | 80        | 0,40          | 1,40     |
| 30      | маршрутка | 18.11.2024 | 09:44        | 10:51    | AA7693PH   | вул. Віденська                      | 12                                                                | 7              | 2             | 0                                  | 9                                                | 3       | 10       | 10      | 26                                                   | 40        | 0,25          | 0,30     |
| 59      | маршрутка | 22.11.2024 | 09:58        | 10:47    | BC1502AA   | вул. Ветеранів                      | 43                                                                | 19             | 2             | 7                                  | 28                                               | 15      | 31       | 27      | 28                                                   | 40        | 0,78          | 1,08     |
| 63      | маршрутка | 26.11.2024 | 10:14        | 10:56    | BC 8221EH  | вул. Ветеранів                      | 25                                                                | 17             | 4             | 1                                  | 22                                               | 3       | 25       | 25      | 23                                                   | 40        | 0,63          | 0,63     |
| 27      | маршрутка | 14.11.2024 | 10:55        | 11:52    | BC0554BT   | станція Сквили                      | 28                                                                | 15             | 7             | 0                                  | 22                                               | 6       | 15       | 13      | 29                                                   | 40        | 0,38          | 0,70     |
| 63      | маршрутка | 12.11.2024 | 11:30        | 12:03    | BC8221EH   | с. Воля-Гомулецька (кінцева)        | 13                                                                | 2              | 0             | 0                                  | 2                                                | 11      | 13       | 12      | 20                                                   | 40        | 0,33          | 0,33     |
| 41      | маршрутка | 20.11.2024 | 11:52        | 13:10    | BC3163AA   | вул. Івана Кавалерідзе              | 59                                                                | 31             | 9             | 12                                 | 52                                               | 7       | 19       | 17      | 46                                                   | 80        | 0,24          | 0,74     |
| 37      | маршрутка | 12.11.2024 | 11:55        | 12:50    | BC5018VC   | вул. Гната Хоткевича                | 51                                                                | 36             | 8             | 3                                  | 47                                               | 4       | 23       | 22      | 48                                                   | 40        | 0,58          | 1,28     |

## Продовження табл. АЗ

| 1   | 2         | 3          | 4     | 5     | 6        | 7                               | 8   | 9  | 10 | 11 | 12  | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18   | 19   |
|-----|-----------|------------|-------|-------|----------|---------------------------------|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|------|------|
| 84  | маршрутка | 12.11.2024 | 11:55 | 13:03 | BC8209AP | вул. Шурата                     | 89  | 51 | 15 | 15 | 81  | 8  | 32 | 30 | 63 | 40 | 0,80 | 2,23 |
| 27  | маршрутка | 14.11.2024 | 11:55 | 12:49 | BC0554BT | вул. Пасична                    | 17  | 7  | 4  | 1  | 12  | 5  | 13 | 11 | 28 | 40 | 0,33 | 0,43 |
| 14  | маршрутка | 22.11.2024 | 11:55 | 12:50 | BC7510CI | Санта Барбара (14)              | 68  | 38 | 10 | 13 | 61  | 7  | 30 | 28 | 33 | 80 | 0,38 | 0,85 |
| 45  | маршрутка | 22.11.2024 | 11:57 | 12:33 | BC6128TK | ТЦ "Вікторія Гарденс"           | 30  | 15 | 12 | 0  | 27  | 3  | 21 | 19 | 36 | 40 | 0,53 | 0,75 |
| 11  | маршрутка | 12.11.2024 | 12:00 | 13:05 | BC2313CX | Рясне-2                         | 81  | 43 | 8  | 2  | 53  | 28 | 29 | 26 | 46 | 40 | 0,73 | 2,03 |
| 12  | маршрутка | 18.11.2024 | 12:00 | 12:40 | AI6670HP | м/н Рясне-2                     | 21  | 10 | 3  | 3  | 16  | 5  | 15 | 13 | 30 | 40 | 0,38 | 0,53 |
| 20  | маршрутка | 14.11.2024 | 12:01 | 12:51 | BC4030AO | вул. Польова                    | 29  | 13 | 2  | 7  | 22  | 7  | 13 | 12 | 42 | 40 | 0,33 | 0,73 |
| 21  | маршрутка | 14.11.2024 | 12:04 | 12:46 | BC1503AA | пл. Різні                       | 27  | 15 | 5  | 1  | 21  | 6  | 18 | 17 | 40 | 40 | 0,45 | 0,68 |
| 51  | маршрутка | 12.11.2024 | 12:08 | 13:11 | BC1706AA | Галицьке перехрестя             | 80  | 44 | 11 | 11 | 66  | 14 | 36 | 34 | 45 | 40 | 0,90 | 2,00 |
| 19  | маршрутка | 20.11.2024 | 12:09 | 13:22 | BC1137ET | вул. Антонича                   | 88  | 49 | 9  | 12 | 70  | 18 | 36 | 32 | 42 | 40 | 0,90 | 2,20 |
| 23  | маршрутка | 20.11.2024 | 12:11 | 13:40 | BC7260TC | Товариство "Провесін-агроінвес" | 118 | 84 | 17 | 7  | 108 | 10 | 47 | 46 | 48 | 80 | 0,59 | 1,48 |
| 31  | маршрутка | 14.11.2024 | 12:13 | 12:47 | BC3096OE | Галицьке перехрестя             | 28  | 10 | 6  | 1  | 17  | 11 | 18 | 17 | 33 | 40 | 0,45 | 0,70 |
| 25  | маршрутка | 22.11.2024 | 12:13 | 13:44 | BC1089AA | вул. Заклинських                | 73  | 42 | 12 | 13 | 67  | 6  | 34 | 31 | 45 | 40 | 0,85 | 1,83 |
| 43  | маршрутка | 22.11.2024 | 12:14 | 13:06 | BC8152EO | Лікарня Святого Луки Першого    | 71  | 38 | 9  | 7  | 54  | 17 | 33 | 31 | 50 | 40 | 0,83 | 1,78 |
| 62  | маршрутка | 20.11.2024 | 12:15 | 12:54 | BC4221AB | с. Малі Грибовичі               | 28  | 7  | 1  | 0  | 8   | 20 | 24 | 22 | 26 | 40 | 0,60 | 0,70 |
| 34  | маршрутка | 22.11.2024 | 12:17 | 13:10 | BC7422PK | вул. Чигиринська                | 60  | 25 | 15 | 12 | 52  | 8  | 25 | 24 | 51 | 40 | 0,63 | 1,50 |
| 22  | маршрутка | 18.11.2024 | 12:25 | 13:30 | BC3774PH | Брюховичі (вул. Під Осовою)     | 27  | 12 | 6  | 2  | 20  | 7  | 20 | 19 | 24 | 40 | 0,50 | 0,68 |
| 63  | маршрутка | 12.11.2024 | 12:30 | 13:05 | BC8221EH | вул. Ветеранів                  | 19  | 14 | 2  | 1  | 17  | 2  | 15 | 15 | 22 | 40 | 0,38 | 0,48 |
| 32  | маршрутка | 22.11.2024 | 12:34 | 13:15 | BC0880AA | Санта Барбара                   | 37  | 17 | 3  | 1  | 21  | 16 | 21 | 20 | 28 | 40 | 0,53 | 0,93 |
| 45  | маршрутка | 22.11.2024 | 12:36 | 13:03 | BC6128TK | пл. Галицька                    | 16  | 7  | 5  | 3  | 15  | 1  | 12 | 11 | 31 | 40 | 0,30 | 0,40 |
| 7   | маршрутка | 12.11.2024 | 12:44 | 14:04 | BC0886EM | Санта Барбара                   | 67  | 40 | 14 | 7  | 61  | 6  | 23 | 20 | 52 | 40 | 0,58 | 1,68 |
| 20  | маршрутка | 14.11.2024 | 12:53 | 13:39 | BC2044AA | вул. Суботівська                | 46  | 29 | 6  | 0  | 35  | 11 | 22 | 21 | 45 | 40 | 0,55 | 1,15 |
| 27  | маршрутка | 14.11.2024 | 12:55 | 13:59 | BC0554BT | станція Сквили                  | 51  | 23 | 14 | 0  | 37  | 14 | 22 | 20 | 43 | 40 | 0,55 | 1,28 |
| 62  | маршрутка | 20.11.2024 | 12:56 | 13:33 | BC4221AB | станція Підзамче                | 28  | 11 | 3  | 2  | 16  | 12 | 24 | 21 | 23 | 40 | 0,60 | 0,70 |
| 59  | маршрутка | 22.11.2024 | 12:57 | 14:05 | BC1759AA | с. Заруді                       | 49  | 25 | 1  | 3  | 29  | 20 | 45 | 44 | 28 | 40 | 1,13 | 1,23 |
| 30  | маршрутка | 18.11.2024 | 12:58 | 13:51 | AA7610PH | м/н Рясне-2                     | 35  | 16 | 4  | 3  | 23  | 12 | 15 | 12 | 33 | 40 | 0,38 | 0,88 |
| 58  | маршрутка | 14.11.2024 | 13:00 | 13:56 | BC1759AA | с. Заруді                       | 46  | 12 | 3  | 2  | 17  | 29 | 41 | 40 | 26 | 40 | 1,03 | 1,15 |
| 37  | маршрутка | 12.11.2024 | 13:01 | 14:00 | BC5018VC | вул. Під Голоском               | 56  | 34 | 10 | 8  | 52  | 4  | 31 | 27 | 46 | 40 | 0,78 | 1,40 |
| 60  | маршрутка | 14.11.2024 | 13:01 | 13:58 | BC8201EH | с. Ситихів                      | 28  | 8  | 2  | 0  | 10  | 18 | 24 | 21 | 29 | 40 | 0,60 | 0,70 |
| 14  | маршрутка | 22.11.2024 | 13:01 | 13:55 | BC4060KO | ТЦ "МЕТРО", Автостанція "Захід" | 58  | 42 | 9  | 5  | 56  | 2  | 30 | 27 | 33 | 80 | 0,38 | 0,73 |
| 31  | маршрутка | 14.11.2024 | 13:02 | 13:40 | BC4166ET | Залізничний вокзал              | 43  | 24 | 8  | 4  | 36  | 7  | 22 | 20 | 40 | 40 | 0,55 | 1,08 |
| 21  | маршрутка | 14.11.2024 | 13:05 | 13:54 | BC0785MX | ТЦ "Три слони"                  | 47  | 27 | 6  | 6  | 39  | 8  | 24 | 20 | 42 | 40 | 0,60 | 1,18 |
| 39A | маршрутка | 22.11.2024 | 13:10 | 13:37 | BC8219EH | Авторинок                       | 10  | 7  | 2  | 0  | 9   | 1  | 8  | 8  | 20 | 40 | 0,20 | 0,25 |
| 34  | маршрутка | 22.11.2024 | 13:11 | 14:03 | BC7422PK | с. Білогорща                    | 38  | 17 | 4  | 5  | 26  | 12 | 18 | 16 | 32 | 40 | 0,45 | 0,95 |
| 43  | маршрутка | 22.11.2024 | 13:14 | 14:03 | BC8152EO | вул. Суботівська                | 68  | 40 | 9  | 5  | 54  | 14 | 36 | 34 | 53 | 40 | 0,90 | 1,70 |
| 51  | маршрутка | 12.11.2024 | 13:18 | 14:21 | BC1706AA | ТЦ "Вікторія Гарденс"           | 68  | 40 | 13 | 10 | 63  | 5  | 29 | 27 | 51 | 40 | 0,73 | 1,70 |
| 12  | маршрутка | 18.11.2024 | 13:20 | 13:58 | AI6670HP | Автостанція М2                  | 27  | 14 | 3  | 3  | 20  | 7  | 15 | 13 | 27 | 40 | 0,38 | 0,68 |
| 41  | маршрутка | 20.11.2024 | 13:21 | 14:39 | BC3163AA | Галицьке перехрестя             | 56  | 37 | 4  | 5  | 46  | 10 | 21 | 19 | 39 | 80 | 0,26 | 0,70 |
| 32  | маршрутка | 22.11.2024 | 13:23 | 14:23 | BC2029AA | Залізничний вокзал (32)         | 50  | 33 | 8  | 7  | 48  | 2  | 25 | 23 | 34 | 40 | 0,63 | 1,25 |
| 84  | маршрутка | 12.11.2024 | 13:29 | 14:40 | BC2279AO | Рудне (Духовна семінарія)       | 113 | 66 | 21 | 8  | 95  | 18 | 46 | 44 | 60 | 40 | 1,15 | 2,83 |
| 22  | маршрутка | 18.11.2024 | 13:31 | 14:20 | BC3774PH | вул. Зернова                    | 29  | 18 | 6  | 4  | 28  | 1  | 25 | 22 | 28 | 40 | 0,63 | 0,73 |
| 19  | маршрутка | 20.11.2024 | 13:37 | 14:53 | BC2128ET | вул. Шурата                     | 79  | 48 | 19 | 6  | 73  | 6  | 38 | 35 | 40 | 40 | 0,95 | 1,98 |
| 55  | маршрутка | 21.11.2024 | 13:37 | 14:24 | BC8216EH | с. Збіранка (Центр)             | 17  | 14 | 0  | 1  | 15  | 2  | 16 | 15 | 22 | 40 | 0,40 | 0,43 |
| 56  | маршрутка | 12.11.2024 | 13:40 | 14:15 | BC8223EH | Дубляни                         | 17  | 5  | 5  | 0  | 10  | 7  | 13 | 11 | 23 | 40 | 0,33 | 0,43 |
| 25  | маршрутка | 22.11.2024 | 13:45 | 15:09 | BC1089AA | ТРИЦ "King Cross Leopolis"      | 81  | 45 | 21 | 12 | 78  | 3  | 38 | 34 | 46 | 40 | 0,95 | 2,03 |
| 23  | маршрутка | 20.11.2024 | 13:46 | 15:15 | BC7260TC | вул. Суботівська                | 149 | 94 | 16 | 15 | 125 | 24 | 48 | 44 | 45 | 80 | 0,60 | 1,86 |
| 11  | маршрутка | 12.11.2024 | 13:48 | 14:55 | BC1039AA | Санта Барбара                   | 97  | 30 | 8  | 4  | 42  | 55 | 26 | 24 | 53 | 40 | 0,65 | 2,43 |
| 39A | маршрутка | 22.11.2024 | 13:48 | 14:14 | BC8219EH | пл. Галицька                    | 12  | 3  | 1  | 1  | 5   | 7  | 7  | 6  | 20 | 40 | 0,18 | 0,30 |
| 58  | маршрутка | 14.11.2024 | 14:00 | 14:48 | BC1759AA | пл. 700-річчя Львова            | 44  | 19 | 5  | 3  | 27  | 17 | 31 | 28 | 26 | 40 | 0,78 | 1,10 |
| 59  | маршрутка | 22.11.2024 | 14:06 | 15:07 | BC1759AA | вул. Ветеранів                  | 37  | 23 | 3  | 4  | 30  | 7  | 32 | 30 | 23 | 40 | 0,80 | 0,93 |
| 60  | маршрутка | 14.11.2024 | 14:10 | 15:00 | BC8201EH | пр. Вячеслава Чорновола         | 7   | 2  | 1  | 0  | 3   | 4  | 7  | 7  | 18 | 40 | 0,18 | 0,18 |
| 30  | маршрутка | 18.11.2024 | 14:12 | 15:13 | AA7610PH | вул. Віденська                  | 23  | 13 | 6  | 1  | 20  | 3  | 11 | 9  | 24 | 40 | 0,28 | 0,58 |
| 56  | маршрутка | 12.11.2024 | 14:20 | 14:57 | BC8223EH | пл. 700-річчя Львова            | 22  | 2  | 6  | 3  | 11  | 11 | 12 | 11 | 25 | 40 | 0,30 | 0,55 |
| 55  | маршрутка | 21.11.2024 | 14:25 | 14:58 | BC8216EH | пл. 700-річчя Львова            | 13  | 5  | 3  | 0  | 8   | 5  | 13 | 12 | 20 | 40 | 0,33 | 0,33 |
| 7   | маршрутка | 12.11.2024 | 14:26 | 15:48 | BC0886EM | вул. Чигиринська                | 60  | 35 | 14 | 7  | 56  | 4  | 30 | 29 | 48 | 40 | 0,75 | 1,50 |
| 39  | маршрутка | 20.11.2024 | 15:00 | 16:00 | BC3162AA | Авторинок                       | 31  | 20 | 6  | 1  | 27  | 4  | 26 | 25 | 30 | 40 | 0,65 | 0,78 |
| 59  | маршрутка | 22.11.2024 | 15:55 | 17:02 | BC1502AA | с. Заруді                       | 70  | 45 | 4  | 4  | 53  | 17 | 63 | 63 | 28 | 40 | 1,58 | 1,75 |
| 39  | маршрутка | 20.11.2024 | 16:05 | 17:16 | BC3162AA | вул. Грінченка (39)             | 32  | 17 | 7  | 6  | 30  | 2  | 19 | 17 | 28 | 40 | 0,48 | 0,80 |
| 30  | маршрутка | 18.11.2024 | 16:10 | 17:24 | AA7693PH | м/н Рясне-2                     | 65  | 41 | 4  | 4  | 49  | 16 | 33 | 30 | 36 | 40 | 0,83 | 1,63 |

## Продовження табл. АЗ

| 1   | 2         | 3          | 4     | 5     | 6        | 7                              | 8   | 9   | 10 | 11 | 12  | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18   | 19   |
|-----|-----------|------------|-------|-------|----------|--------------------------------|-----|-----|----|----|-----|----|----|----|----|----|------|------|
| 12  | маршрутка | 18.11.2024 | 16:12 | 17:01 | А16670НР | м/н Рясне-2                    | 49  | 27  | 11 | 5  | 43  | 6  | 28 | 24 | 27 | 40 | 0,70 | 1,23 |
| 27  | маршрутка | 14.11.2024 | 16:28 | 17:50 | BC0554BT | вул.Пасічна                    | 53  | 35  | 9  | 2  | 46  | 7  | 28 | 25 | 30 | 40 | 0,70 | 1,33 |
| 14  | маршрутка | 22.11.2024 | 16:30 | 17:43 | BC4038PB | Санта Барбара (14)             | 57  | 36  | 5  | 8  | 49  | 8  | 30 | 28 | 36 | 80 | 0,38 | 0,71 |
| 7   | маршрутка | 12.11.2024 | 16:35 | 18:05 | BC1488AA | Санта Барбара                  | 91  | 51  | 22 | 9  | 82  | 9  | 39 | 34 | 64 | 40 | 0,98 | 2,28 |
| 62  | маршрутка | 20.11.2024 | 16:35 | 17:08 | BC4221AB | с. Малі Грибовичі              | 31  | 22  | 3  | 0  | 25  | 6  | 25 | 23 | 33 | 40 | 0,63 | 0,78 |
| 43  | маршрутка | 22.11.2024 | 16:40 | 17:45 | BC6922PX | Лікарня Святого Луки Першого   | 63  | 34  | 7  | 5  | 46  | 17 | 28 | 26 | 37 | 40 | 0,70 | 1,58 |
| 23  | маршрутка | 20.11.2024 | 16:46 | 18:45 | BC7230TC | Товариство "Провесін-агроінвес | 170 | 111 | 26 | 15 | 152 | 18 | 59 | 56 | 49 | 80 | 0,74 | 2,13 |
| 51  | маршрутка | 12.11.2024 | 16:47 | 18:08 | BC2623AA | Галицьке перехрестя            | 82  | 46  | 17 | 10 | 73  | 9  | 38 | 35 | 56 | 40 | 0,95 | 2,05 |
| 39A | маршрутка | 22.11.2024 | 16:47 | 17:24 | BC8219EH | Авториннок                     | 27  | 19  | 4  | 0  | 23  | 4  | 25 | 24 | 31 | 40 | 0,63 | 0,68 |
| 84  | маршрутка | 12.11.2024 | 16:48 | 18:10 | BC0485PI | вул. Щурата                    | 77  | 52  | 14 | 5  | 71  | 6  | 43 | 40 | 46 | 40 | 1,08 | 1,93 |
| 32  | маршрутка | 22.11.2024 | 16:48 | 18:00 | BC1982AA | Санта Барбара                  | 83  | 40  | 11 | 9  | 60  | 23 | 34 | 30 | 48 | 40 | 0,85 | 2,08 |
| 20  | маршрутка | 14.11.2024 | 16:49 | 17:46 | BC0599EA | вул. Польова                   | 78  | 41  | 15 | 7  | 63  | 15 | 30 | 27 | 50 | 40 | 0,75 | 1,95 |
| 41  | маршрутка | 20.11.2024 | 16:49 | 18:37 | BC9098PK | вул. Івана Кавалерідзе         | 132 | 82  | 31 | 10 | 123 | 9  | 48 | 45 | 49 | 80 | 0,60 | 1,65 |
| 34  | маршрутка | 22.11.2024 | 16:50 | 18:02 | BC2644CX | вул. Чигиринська               | 73  | 35  | 23 | 8  | 66  | 7  | 27 | 25 | 46 | 40 | 0,68 | 1,83 |
| 22  | маршрутка | 18.11.2024 | 16:54 | 17:39 | BC2393AA | Брюховичі (вул. Під Осовою)    | 28  | 13  | 5  | 1  | 19  | 9  | 22 | 20 | 24 | 40 | 0,55 | 0,70 |
| 11  | маршрутка | 12.11.2024 | 16:55 | 18:29 | BC1102AA | Рясне-2                        | 103 | 66  | 16 | 3  | 85  | 18 | 41 | 38 | 48 | 40 | 1,03 | 2,58 |
| 55  | маршрутка | 21.11.2024 | 16:55 | 17:30 | BC8216EH | с. Збиранка (Центр)            | 28  | 11  | 4  | 2  | 17  | 11 | 25 | 24 | 34 | 40 | 0,63 | 0,70 |
| 45  | маршрутка | 22.11.2024 | 16:56 | 17:40 | BC6128TK | ТЦ "Вікторія Гарденс"          | 46  | 16  | 12 | 0  | 28  | 18 | 37 | 33 | 42 | 40 | 0,93 | 1,15 |
| 25  | маршрутка | 22.11.2024 | 17:01 | 18:51 | BC2539EE | вул. Заклинських               | 101 | 62  | 25 | 13 | 100 | 1  | 54 | 48 | 61 | 40 | 1,35 | 2,53 |
| 59  | маршрутка | 22.11.2024 | 17:03 | 17:59 | BC1502AA | вул. Ветеранів                 | 19  | 12  | 2  | 0  | 14  | 5  | 18 | 18 | 24 | 40 | 0,45 | 0,48 |
| 31  | маршрутка | 14.11.2024 | 17:04 | 17:54 | BC4166ET | Галицьке перехрестя            | 55  | 24  | 9  | 4  | 37  | 18 | 28 | 26 | 38 | 40 | 0,70 | 1,38 |
| 19  | маршрутка | 20.11.2024 | 17:14 | 18:45 | BC1145ET | вул. Антонича                  | 98  | 60  | 20 | 4  | 84  | 14 | 51 | 46 | 48 | 40 | 1,28 | 2,45 |
| 60  | маршрутка | 14.11.2024 | 17:16 | 18:19 | BC8201EH | с. Ситихів                     | 47  | 18  | 1  | 4  | 23  | 24 | 44 | 42 | 29 | 40 | 1,10 | 1,18 |
| 12  | маршрутка | 18.11.2024 | 17:16 | 18:13 | А16670НР | Автостанція №2                 | 38  | 18  | 7  | 1  | 26  | 12 | 25 | 23 | 30 | 40 | 0,63 | 0,95 |
| 39A | маршрутка | 22.11.2024 | 17:24 | 18:05 | BC8219EH | пл. Галицька                   | 13  | 8   | 4  | 0  | 12  | 1  | 12 | 11 | 23 | 40 | 0,30 | 0,33 |
| 58  | маршрутка | 14.11.2024 | 17:26 | 18:21 | BC1650AA | с. Завадів                     | 45  | 38  | 5  | 0  | 43  | 2  | 42 | 38 | 27 | 40 | 1,05 | 1,13 |
| 30  | маршрутка | 18.11.2024 | 17:30 | 18:48 | AA7693PH | вул. Віденська                 | 19  | 9   | 5  | 2  | 16  | 3  | 10 | 10 | 30 | 40 | 0,25 | 0,48 |
| 62  | маршрутка | 20.11.2024 | 17:30 | 17:58 | BC4221AB | станція Підзамче               | 24  | 1   | 1  | 0  | 2   | 22 | 21 | 19 | 26 | 40 | 0,53 | 0,60 |
| 55  | маршрутка | 21.11.2024 | 17:30 | 17:57 | BC8216EH | пл. 700-річчя Львова           | 6   | 1   | 1  | 0  | 2   | 4  | 6  | 6  | 18 | 40 | 0,15 | 0,15 |
| 22  | маршрутка | 18.11.2024 | 17:42 | 18:26 | BC2393AA | вул. Зернова                   | 20  | 13  | 2  | 0  | 15  | 5  | 15 | 14 | 30 | 40 | 0,38 | 0,50 |
| 21  | маршрутка | 14.11.2024 | 17:43 | 18:31 | BC1527AA | пл. Різні                      | 51  | 33  | 8  | 2  | 43  | 8  | 23 | 20 | 40 | 40 | 0,58 | 1,28 |
| 56  | маршрутка | 12.11.2024 | 17:44 | 18:22 | BC8223EH | Дубляни                        | 37  | 11  | 3  | 3  | 17  | 20 | 26 | 24 | 34 | 40 | 0,65 | 0,93 |
| 14  | маршрутка | 22.11.2024 | 17:44 | 19:05 | BC4038PB | ТЦ "МЕТРО", Автостанція "Захід | 63  | 37  | 12 | 6  | 55  | 8  | 35 | 32 | 34 | 80 | 0,44 | 0,79 |
| 45  | маршрутка | 22.11.2024 | 17:45 | 18:22 | BC6128TK | пл. Галицька                   | 29  | 21  | 8  | 0  | 29  | 0  | 21 | 19 | 44 | 40 | 0,53 | 0,73 |
| 43  | маршрутка | 22.11.2024 | 17:47 | 18:58 | BC6922PX | вул. Суботівська               | 58  | 27  | 13 | 3  | 43  | 15 | 38 | 36 | 49 | 40 | 0,95 | 1,45 |
| 20  | маршрутка | 14.11.2024 | 17:48 | 18:53 | BC0599EA | вул. Суботівська               | 70  | 44  | 9  | 4  | 57  | 13 | 38 | 36 | 53 | 40 | 0,95 | 1,75 |
| 27  | маршрутка | 14.11.2024 | 17:56 | 19:15 | BC0554BT | станція Скинів                 | 68  | 38  | 19 | 2  | 59  | 9  | 34 | 32 | 43 | 40 | 0,85 | 1,70 |
| 31  | маршрутка | 14.11.2024 | 17:56 | 18:50 | BC4166ET | Залізничний вокзал             | 20  | 10  | 4  | 3  | 17  | 3  | 12 | 10 | 38 | 40 | 0,30 | 0,50 |
| 34  | маршрутка | 22.11.2024 | 18:03 | 19:10 | BC2644CX | с. Білогорща                   | 49  | 25  | 3  | 3  | 31  | 18 | 19 | 18 | 36 | 40 | 0,48 | 1,23 |
| 15  | маршрутка | 15.11.2024 | 18:05 | 19:00 | BC1046AA | Приміський вокзал              | 27  | 8   | 5  | 2  | 15  | 12 | 21 | 20 | 33 | 40 | 0,53 | 0,68 |
| 7   | маршрутка | 12.11.2024 | 18:06 | 18:57 | BC1488AA | ТРЦ "Скриня"                   | 33  | 20  | 7  | 6  | 33  | 0  | 25 | 24 | 37 | 40 | 0,63 | 0,83 |
| 51  | маршрутка | 12.11.2024 | 18:14 | 19:23 | BC7381HT | ТЦ "Вікторія Гарденс"          | 52  | 28  | 12 | 7  | 47  | 5  | 26 | 25 | 48 | 40 | 0,65 | 1,30 |
| 32  | маршрутка | 22.11.2024 | 18:14 | 19:18 | BC2029AA | Залізничний вокзал (32)        | 41  | 20  | 11 | 1  | 32  | 9  | 31 | 29 | 31 | 40 | 0,78 | 1,03 |
| 84  | маршрутка | 12.11.2024 | 18:18 | 19:36 | BC5921PP | Рудне (Духовна семінарія)      | 54  | 26  | 13 | 7  | 46  | 8  | 29 | 27 | 45 | 40 | 0,73 | 1,35 |
| 60  | маршрутка | 14.11.2024 | 18:23 | 19:11 | BC8201EH | пр. В'ячеслава Чорновола       | 6   | 4   | 0  | 1  | 5   | 1  | 5  | 5  | 19 | 40 | 0,13 | 0,15 |
| 56  | маршрутка | 12.11.2024 | 18:24 | 19:01 | BC8223EH | пл. 700-річчя Львова           | 20  | 15  | 4  | 0  | 19  | 1  | 11 | 9  | 24 | 40 | 0,28 | 0,50 |
| 58  | маршрутка | 14.11.2024 | 18:26 | 19:06 | BC1650AA | пл. 700-річчя Львова           | 11  | 5   | 1  | 2  | 8   | 3  | 9  | 9  | 26 | 40 | 0,23 | 0,28 |
| 63  | маршрутка | 12.11.2024 | 18:28 | 19:06 | BC8221EH | с. Воля-Гомулецька (кінцева)   | 41  | 7   | 2  | 0  | 9   | 32 | 39 | 38 | 36 | 40 | 0,98 | 1,03 |
| 37  | маршрутка | 12.11.2024 | 18:30 | 19:33 | BC5072PH | вул. Під Голоском              | 37  | 16  | 14 | 0  | 30  | 7  | 20 | 18 | 47 | 40 | 0,50 | 0,93 |
| 21  | маршрутка | 14.11.2024 | 18:31 | 19:32 | BC1527AA | ТЦ "Три слони"                 | 45  | 21  | 15 | 3  | 39  | 6  | 34 | 29 | 44 | 40 | 0,85 | 1,13 |
| 11  | маршрутка | 12.11.2024 | 18:40 | 19:51 | BC2313CX | Санта Барбара                  | 41  | 29  | 9  | 2  | 40  | 1  | 17 | 16 | 40 | 40 | 0,43 | 1,03 |
| 41  | маршрутка | 20.11.2024 | 18:41 | 19:52 | BC9098PK | Галицьке перехрестя            | 65  | 39  | 11 | 1  | 51  | 14 | 27 | 25 | 48 | 80 | 0,34 | 0,81 |
| 19  | маршрутка | 20.11.2024 | 18:45 | 19:52 | BC1145ET | вул. Щурата                    | 44  | 22  | 9  | 6  | 37  | 7  | 25 | 20 | 43 | 40 | 0,63 | 1,10 |
| 23  | маршрутка | 20.11.2024 | 18:47 | 20:12 | BC7230TC | вул. Суботівська               | 90  | 52  | 17 | 6  | 75  | 15 | 38 | 35 | 38 | 80 | 0,48 | 1,13 |
| 25  | маршрутка | 22.11.2024 | 18:52 | 20:04 | BC2539EE | ТРЦ "King Cross Leopold"       | 86  | 27  | 8  | 6  | 41  | 45 | 43 | 39 | 52 | 40 | 1,08 | 2,15 |
| 63  | маршрутка | 12.11.2024 | 19:29 | 19:56 | BC8221EH | вул. Ветеранів                 | 2   | 1   | 0  | 0  | 1   | 1  | 2  | 2  | 15 | 40 | 0,05 | 0,05 |

## Додаток Б

Результати імітаційного моделювання з визначення показників у транспортних потоках в системі координованого регулювання

## Таблиця Б1

Результати імітаційного моделювання з визначення показників у транспортних потоках в системі координованого регулювання (ситуація 1)

| № пункту вимірювання | Рівень завантаження | Частка дозвільного сигналу | Середня довжина черги, м | Максимальна довжина черги, м | Затримка ТЗ ГТ, с/1ТЗ | Затримка інших ТЗ, с/1ТЗ | Середня швидкість руху ТП, км/год |
|----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1                    | 2                   | 3                          | 4                        | 5                            | 6                     | 7                        | 8                                 |
| 2                    | 0,60                | 0,45                       | 37                       | 161                          | 0                     | 30                       | 26,77                             |
| 4                    | 0,60                | 0,33                       | 42                       | 134                          | 31                    | 34                       | 19,79                             |
| 6                    | 0,64                | 0,40                       | 44                       | 197                          | 48                    | 32                       | 28,16                             |
| 8                    | 0,60                | 0,53                       | 72                       | 311                          | 38                    | 33                       | 28,16                             |
| 10                   | 0,61                | 0,23                       | 285                      | 440                          | 169                   | 150                      | 7,00                              |
| 2                    | 0,62                | 0,45                       | 40                       | 172                          | 0                     | 31                       | 26,43                             |
| 4                    | 0,62                | 0,33                       | 47                       | 154                          | 29                    | 36                       | 19,50                             |
| 6                    | 0,66                | 0,40                       | 42                       | 162                          | 46                    | 30                       | 28,61                             |
| 8                    | 0,62                | 0,53                       | 61                       | 318                          | 31                    | 29                       | 28,61                             |
| 10                   | 0,63                | 0,23                       | 271                      | 440                          | 152                   | 139                      | 7,59                              |
| 2                    | 0,65                | 0,45                       | 59                       | 239                          | 0                     | 37                       | 23,00                             |
| 4                    | 0,63                | 0,33                       | 50                       | 163                          | 32                    | 37                       | 19,52                             |
| 6                    | 0,66                | 0,40                       | 52                       | 209                          | 53                    | 36                       | 27,12                             |
| 8                    | 0,60                | 0,53                       | 118                      | 422                          | 46                    | 42                       | 27,12                             |
| 10                   | 0,62                | 0,23                       | 301                      | 440                          | 163                   | 148                      | 6,75                              |
| 2                    | 0,75                | 0,45                       | 76                       | 248                          | 0                     | 40                       | 19,93                             |
| 4                    | 0,70                | 0,33                       | 53                       | 176                          | 36                    | 39                       | 19,22                             |
| 6                    | 0,70                | 0,40                       | 54                       | 232                          | 59                    | 38                       | 26,23                             |
| 8                    | 0,64                | 0,53                       | 103                      | 423                          | 48                    | 41                       | 26,23                             |
| 10                   | 0,64                | 0,23                       | 268                      | 440                          | 158                   | 143                      | 6,88                              |
| 2                    | 0,78                | 0,45                       | 88                       | 312                          | 0                     | 44                       | 18,84                             |

Продовження табл. Б1

| 1  | 2    | 3    | 4   | 5   | 6   | 7   | 8     |
|----|------|------|-----|-----|-----|-----|-------|
| 4  | 0,72 | 0,33 | 60  | 198 | 37  | 42  | 18,70 |
| 6  | 0,70 | 0,40 | 79  | 393 | 68  | 45  | 23,59 |
| 8  | 0,64 | 0,53 | 140 | 428 | 57  | 47  | 23,59 |
| 10 | 0,64 | 0,23 | 280 | 439 | 157 | 145 | 6,56  |
| 15 | 0,51 | 0,53 | 15  | 110 | 16  | 14  | 35,94 |
| 16 | 0,58 | 0,50 | 36  | 142 | 31  | 16  | 27,28 |
| 18 | 0,63 | 0,53 | 37  | 134 | 18  | 17  | 32,60 |
| 21 | 0,74 | 0,59 | 29  | 130 | 30  | 16  | 29,69 |
| 15 | 0,52 | 0,53 | 15  | 125 | 18  | 14  | 35,90 |
| 16 | 0,58 | 0,50 | 38  | 156 | 29  | 17  | 26,47 |
| 18 | 0,63 | 0,53 | 39  | 144 | 20  | 18  | 32,29 |
| 21 | 0,74 | 0,59 | 30  | 117 | 31  | 16  | 29,23 |
| 15 | 0,51 | 0,53 | 15  | 116 | 17  | 14  | 35,64 |
| 16 | 0,58 | 0,50 | 54  | 188 | 32  | 21  | 22,81 |
| 18 | 0,63 | 0,53 | 37  | 131 | 20  | 18  | 32,56 |
| 21 | 0,74 | 0,59 | 31  | 116 | 31  | 16  | 29,16 |
| 15 | 0,55 | 0,53 | 15  | 120 | 16  | 14  | 35,47 |
| 16 | 0,62 | 0,50 | 42  | 206 | 34  | 18  | 24,24 |
| 18 | 0,66 | 0,53 | 34  | 135 | 20  | 17  | 32,48 |
| 21 | 0,78 | 0,59 | 28  | 123 | 31  | 16  | 29,05 |
| 15 | 0,56 | 0,53 | 14  | 119 | 16  | 13  | 35,82 |
| 16 | 0,63 | 0,50 | 39  | 157 | 32  | 17  | 25,42 |
| 18 | 0,67 | 0,53 | 36  | 151 | 22  | 18  | 32,18 |
| 21 | 0,78 | 0,59 | 28  | 117 | 31  | 15  | 29,23 |

Таблиця Б2

Результати імітаційного моделювання з визначення показників у транспортних потоках в системі координованого регулювання (ситуація 2)

| № пункту вимірювання | Рівень завантаження | Частка дозвільного сигналу | Середня довжина черги, м | Максимальна довжина черги, м | Затримка ТЗ ГТ, с/1ТЗ | Затримка інших ТЗ, с/1ТЗ | Середня швидкість руху ТП, км/год |
|----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1                    | 2                   | 3                          | 4                        | 5                            | 6                     | 7                        | 8                                 |
| 2                    | 0,60                | 0,44                       | 36,57                    | 160,68                       | -                     | 30,38                    | 26,77                             |
| 4                    | 0,60                | 0,34                       | 42,04                    | 134,10                       | 31,22                 | 34,24                    | 19,79                             |
| 6                    | 0,64                | 0,40                       | 43,64                    | 196,99                       | 48,24                 | 31,50                    | 28,16                             |
| 8                    | 0,60                | 0,53                       | 71,88                    | 311,39                       | 37,71                 | 32,92                    | 28,16                             |
| 10                   | 0,61                | 0,23                       | 284,56                   | 440,06                       | 168,81                | 149,89                   | 7,00                              |
| 2                    | 0,62                | 0,49                       | 34,52                    | 162,81                       | -                     | 27,86                    | 28,07                             |
| 4                    | 0,61                | 0,39                       | 40,57                    | 127,51                       | 28,48                 | 33,56                    | 19,99                             |
| 6                    | 0,65                | 0,45                       | 34,94                    | 141,13                       | 42,55                 | 25,94                    | 29,86                             |
| 8                    | 0,62                | 0,58                       | 38,45                    | 221,06                       | 18,22                 | 21,65                    | 29,86                             |
| 10                   | 0,64                | 0,28                       | 234,53                   | 434,73                       | 136,45                | 132,70                   | 8,57                              |
| 2                    | 0,65                | 0,54                       | 31,62                    | 168,14                       | -                     | 24,28                    | 29,76                             |
| 4                    | 0,61                | 0,44                       | 36,30                    | 111,68                       | 27,04                 | 30,14                    | 21,08                             |
| 6                    | 0,65                | 0,50                       | 31,49                    | 135,50                       | 36,57                 | 24,01                    | 30,31                             |
| 8                    | 0,64                | 0,63                       | 18,85                    | 130,20                       | 8,36                  | 14,25                    | 30,31                             |
| 10                   | 0,66                | 0,33                       | 159,45                   | 395,91                       | 108,47                | 104,26                   | 11,62                             |
| 2                    | 0,76                | 0,59                       | 28,79                    | 143,34                       | -                     | 22,39                    | 30,68                             |
| 4                    | 0,67                | 0,49                       | 34,17                    | 113,07                       | 28,48                 | 29,01                    | 21,51                             |
| 6                    | 0,69                | 0,55                       | 29,26                    | 128,84                       | 37,26                 | 23,85                    | 29,90                             |
| 8                    | 0,66                | 0,68                       | 16,62                    | 124,23                       | 6,93                  | 13,46                    | 29,90                             |
| 10                   | 0,69                | 0,38                       | 106,23                   | 315,93                       | 93,94                 | 84,81                    | 14,08                             |
| 2                    | 0,78                | 0,64                       | 28,73                    | 162,31                       | -                     | 21,04                    | 31,33                             |
| 4                    | 0,67                | 0,54                       | 33,86                    | 109,47                       | 29,11                 | 27,97                    | 22,21                             |
| 6                    | 0,68                | 0,60                       | 24,72                    | 131,75                       | 34,15                 | 20,71                    | 31,27                             |

Продовження табл. Б2

| 1  | 2    | 3    | 4     | 5      | 6     | 7     | 8     |
|----|------|------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 8  | 0,66 | 0,73 | 15,23 | 125,64 | 4,56  | 12,72 | 31,27 |
| 10 | 0,69 | 0,43 | 89,00 | 258,19 | 81,95 | 75,72 | 15,60 |
| 15 | 0,51 | 0,53 | 15,31 | 109,99 | 15,88 | 13,64 | 35,94 |
| 16 | 0,58 | 0,50 | 36,14 | 142,05 | 31,05 | 16,28 | 27,28 |
| 18 | 0,63 | 0,53 | 37,40 | 134,09 | 18,27 | 16,87 | 32,60 |
| 21 | 0,74 | 0,59 | 28,88 | 129,99 | 29,82 | 16,04 | 29,69 |
| 15 | 0,51 | 0,58 | 13,49 | 108,16 | 15,17 | 12,33 | 36,66 |
| 16 | 0,58 | 0,55 | 25,42 | 127,38 | 26,43 | 12,11 | 30,87 |
| 18 | 0,63 | 0,58 | 35,65 | 134,28 | 18,54 | 16,36 | 33,16 |
| 21 | 0,73 | 0,64 | 25,08 | 105,44 | 29,61 | 13,04 | 30,80 |
| 15 | 0,50 | 0,63 | 11,78 | 106,29 | 13,10 | 11,04 | 37,24 |
| 16 | 0,58 | 0,60 | 19,25 | 104,44 | 24,27 | 10,14 | 33,06 |
| 18 | 0,62 | 0,63 | 31,97 | 133,13 | 15,28 | 13,98 | 34,07 |
| 21 | 0,72 | 0,69 | 20,99 | 94,88  | 24,18 | 11,14 | 29,70 |
| 15 | 0,55 | 0,68 | 10,67 | 108,27 | 13,82 | 10,06 | 37,94 |
| 16 | 0,63 | 0,65 | 15,92 | 105,92 | 22,22 | 9,08  | 33,55 |
| 18 | 0,66 | 0,68 | 28,27 | 135,32 | 13,89 | 12,73 | 34,89 |
| 21 | 0,75 | 0,74 | 17,02 | 90,08  | 23,46 | 9,53  | 29,65 |
| 15 | 0,56 | 0,73 | 9,44  | 103,27 | 13,15 | 8,89  | 38,85 |
| 16 | 0,63 | 0,70 | 17,36 | 113,65 | 22,23 | 8,90  | 33,74 |
| 18 | 0,66 | 0,73 | 32,21 | 177,37 | 13,93 | 12,33 | 34,39 |
| 21 | 0,74 | 0,79 | 14,30 | 86,24  | 19,96 | 7,98  | 31,15 |

Таблиця БЗ

Результати імітаційного моделювання з визначення показників у транспортних потоках в системі координованого регулювання (ситуація 3)

| № пункту вимірювання | Рівень завантаження | Частка дозвільного сигналу | Середня довжина черги, м | Максимальна довжина черги, м | Затримка ТЗ ГТ, с/1ТЗ | Затримка інших ТЗ, с/1ТЗ | Середня швидкість руху ТП, км/год |
|----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1                    | 2                   | 3                          | 4                        | 5                            | 6                     | 7                        | 8                                 |
| 2                    | 0,63                | 0,44                       | 81                       | 320                          | 14                    | 75                       | 14,00                             |
| 4                    | 0,69                | 0,34                       | 240                      | 489                          | 30                    | 62                       | 9,00                              |
| 6                    | 0,68                | 0,40                       | 112                      | 365                          | 42                    | 57                       | 12,00                             |
| 8                    | 0,71                | 0,53                       | 103                      | 340                          | 18                    | 49                       | 18,48                             |
| 10                   | 0,54                | 0,23                       | 217                      | 496                          | 68                    | 126                      | 7,88                              |
| 2                    | 0,63                | 0,44                       | 85                       | 396                          | 13                    | 82                       | 17,00                             |
| 4                    | 0,69                | 0,34                       | 254                      | 495                          | 41                    | 64                       | 10,00                             |
| 6                    | 0,67                | 0,40                       | 123                      | 465                          | 37                    | 61                       | 16,43                             |
| 8                    | 0,71                | 0,53                       | 120                      | 399                          | 13                    | 48                       | 16,43                             |
| 10                   | 0,54                | 0,23                       | 229                      | 500                          | 76                    | 122                      | 7,74                              |
| 2                    | 0,64                | 0,44                       | 133                      | 420                          | 20                    | 89                       | 12,00                             |
| 4                    | 0,70                | 0,34                       | 265                      | 498                          | 44                    | 63                       | 8,49                              |
| 6                    | 0,68                | 0,40                       | 129                      | 402                          | 38                    | 57                       | 15,00                             |
| 8                    | 0,72                | 0,53                       | 144                      | 420                          | 13                    | 42                       | 18,00                             |
| 10                   | 0,55                | 0,23                       | 233                      | 506                          | 72                    | 126                      | 9,55                              |
| 2                    | 0,66                | 0,44                       | 155                      | 368                          | 14                    | 77                       | 11,00                             |
| 4                    | 0,69                | 0,34                       | 271                      | 506                          | 38                    | 68                       | 8,80                              |
| 6                    | 0,66                | 0,40                       | 103                      | 395                          | 43                    | 60                       | 16,05                             |
| 8                    | 0,71                | 0,53                       | 177                      | 436                          | 16                    | 46                       | 17,00                             |
| 10                   | 0,54                | 0,23                       | 227                      | 434                          | 73                    | 130                      | 7,44                              |
| 2                    | 0,65                | 0,44                       | 151                      | 441                          | 13                    | 66                       | 6,56                              |
| 4                    | 0,70                | 0,34                       | 294                      | 515                          | 46                    | 64                       | 8,43                              |
| 6                    | 0,67                | 0,40                       | 120                      | 444                          | 43                    | 61                       | 15,60                             |

Продовження табл. БЗ

| 1  | 2    | 3    | 4   | 5   | 6  | 7   | 8     |
|----|------|------|-----|-----|----|-----|-------|
| 8  | 0,71 | 0,53 | 106 | 424 | 12 | 44  | 20,00 |
| 10 | 0,55 | 0,23 | 244 | 512 | 68 | 127 | 7,70  |
| 15 | 0,72 | 0,53 | 104 | 296 | 18 | 27  | 27,00 |
| 16 | 0,71 | 0,50 | 220 | 495 | 29 | 72  | 14,00 |
| 18 | 0,98 | 0,53 | 255 | 526 | 22 | 53  | 12,00 |
| 21 | 1,08 | 0,59 | 241 | 456 | 35 | 45  | 14,00 |
| 15 | 0,73 | 0,53 | 115 | 280 | 19 | 28  | 24,00 |
| 16 | 0,70 | 0,50 | 190 | 450 | 28 | 68  | 11,00 |
| 18 | 0,95 | 0,53 | 208 | 469 | 26 | 51  | 12,80 |
| 21 | 1,05 | 0,59 | 204 | 401 | 30 | 54  | 14,00 |
| 15 | 0,72 | 0,53 | 121 | 274 | 25 | 26  | 26,00 |
| 16 | 0,71 | 0,50 | 205 | 445 | 32 | 75  | 10,20 |
| 18 | 0,97 | 0,53 | 180 | 413 | 28 | 51  | 14,78 |
| 21 | 1,07 | 0,59 | 225 | 487 | 33 | 52  | 12,80 |
| 15 | 0,72 | 0,53 | 104 | 221 | 27 | 36  | 23,22 |
| 16 | 0,69 | 0,50 | 225 | 468 | 24 | 73  | 11,40 |
| 18 | 0,94 | 0,53 | 251 | 534 | 29 | 52  | 11,91 |
| 21 | 1,05 | 0,59 | 230 | 500 | 32 | 48  | 14,76 |
| 15 | 0,73 | 0,53 | 111 | 268 | 19 | 30  | 25,40 |
| 16 | 0,69 | 0,50 | 190 | 455 | 27 | 68  | 12,60 |
| 18 | 0,96 | 0,53 | 214 | 489 | 27 | 51  | 13,70 |
| 21 | 1,06 | 0,59 | 204 | 506 | 29 | 56  | 12,72 |

Таблиця Б4

Результати імітаційного моделювання з визначення показників у транспортних потоках в системі координованого регулювання (ситуація 4)

| № пункту вимірювання | Рівень завантаження | Частка дозвільного сигналу | Середня довжина черги, м | Максимальна довжина черги, м | Затримка ТЗ ГТ, с/1ТЗ | Затримка інших ТЗ, с/1ТЗ | Середня швидкість руху ТП, км/год |
|----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1                    | 2                   | 3                          | 4                        | 5                            | 6                     | 7                        | 8                                 |
| 2                    | 0,63                | 0,44                       | 115,51                   | 340,24                       | 6,00                  | 68,31                    | 13,80                             |
| 4                    | 0,69                | 0,34                       | 298,72                   | 476,47                       | 24,45                 | 56,39                    | 11,00                             |
| 6                    | 0,68                | 0,40                       | 147,43                   | 499,08                       | 36,05                 | 55,48                    | 18,48                             |
| 8                    | 0,71                | 0,53                       | 146,90                   | 417,92                       | 7,64                  | 36,99                    | 18,48                             |
| 10                   | 0,54                | 0,23                       | 251,79                   | 432,92                       | 63,71                 | 121,97                   | 7,88                              |
| 2                    | 0,67                | 0,49                       | 120,00                   | 285,50                       | 8,00                  | 54,51                    | 16,70                             |
| 4                    | 0,71                | 0,39                       | 276,74                   | 476,41                       | 28,77                 | 53,27                    | 12,00                             |
| 6                    | 0,69                | 0,45                       | 145,68                   | 504,89                       | 35,49                 | 51,40                    | 19,42                             |
| 8                    | 0,73                | 0,58                       | 152,53                   | 422,20                       | 6,29                  | 36,26                    | 19,42                             |
| 10                   | 0,55                | 0,28                       | 255,72                   | 438,78                       | 65,68                 | 119,51                   | 7,99                              |
| 2                    | 0,71                | 0,54                       | 90,00                    | 239,79                       | 8,00                  | 41,99                    | 21,66                             |
| 4                    | 0,74                | 0,44                       | 198,96                   | 429,92                       | 25,58                 | 50,30                    | 12,30                             |
| 6                    | 0,72                | 0,50                       | 160,66                   | 508,99                       | 31,32                 | 49,88                    | 18,07                             |
| 8                    | 0,76                | 0,63                       | 170,42                   | 425,57                       | 6,52                  | 37,00                    | 18,07                             |
| 10                   | 0,58                | 0,33                       | 264,95                   | 432,47                       | 57,57                 | 114,41                   | 9,00                              |
| 2                    | 0,75                | 0,59                       | 75,00                    | 184,57                       | 9,00                  | 31,57                    | 26,57                             |
| 4                    | 0,77                | 0,49                       | 210,00                   | 398,49                       | 21,71                 | 45,85                    | 13,30                             |
| 6                    | 0,75                | 0,55                       | 168,85                   | 500,22                       | 32,33                 | 48,26                    | 18,66                             |
| 8                    | 0,78                | 0,68                       | 128,23                   | 408,92                       | 5,04                  | 30,96                    | 18,66                             |
| 10                   | 0,60                | 0,38                       | 283,00                   | 433,70                       | 67,05                 | 105,00                   | 11,00                             |
| 2                    | 0,78                | 0,64                       | 44,99                    | 213,69                       | 4,00                  | 29,72                    | 26,48                             |
| 4                    | 0,79                | 0,54                       | 119,89                   | 334,58                       | 23,93                 | 39,70                    | 16,82                             |

Продовження табл. Б4

| 1  | 2    | 3    | 4      | 5      | 6     | 7      | 8     |
|----|------|------|--------|--------|-------|--------|-------|
| 6  | 0,76 | 0,60 | 116,99 | 465,48 | 29,25 | 41,82  | 22,43 |
| 8  | 0,79 | 0,73 | 151,29 | 428,78 | 4,76  | 32,81  | 22,43 |
| 10 | 0,61 | 0,43 | 251,72 | 436,03 | 56,37 | 102,79 | 12,00 |
| 15 | 0,72 | 0,53 | 110,00 | 216,76 | 11,99 | 20,84  | 30,60 |
| 16 | 0,71 | 0,50 | 280,00 | 504,88 | 22,57 | 66,37  | 16,00 |
| 18 | 0,98 | 0,53 | 340,00 | 510,67 | 16,21 | 47,01  | 11,00 |
| 21 | 1,08 | 0,59 | 131,55 | 620,00 | 23,49 | 38,77  | 15,00 |
| 15 | 0,73 | 0,58 | 98,00  | 223,91 | 12,31 | 17,58  | 33,16 |
| 16 | 0,73 | 0,55 | 265,00 | 504,89 | 21,87 | 63,10  | 17,00 |
| 18 | 1,01 | 0,58 | 196,94 | 493,51 | 15,84 | 38,44  | 16,22 |
| 21 | 1,11 | 0,64 | 184,83 | 399,55 | 21,01 | 44,64  | 13,55 |
| 15 | 0,72 | 0,63 | 53,00  | 177,56 | 9,58  | 13,95  | 35,58 |
| 16 | 0,77 | 0,60 | 259,85 | 340,00 | 21,42 | 51,11  | 18,00 |
| 18 | 1,08 | 0,63 | 360,00 | 345,12 | 13,19 | 28,20  | 21,94 |
| 21 | 1,16 | 0,69 | 131,96 | 420,00 | 22,22 | 33,63  | 17,00 |
| 15 | 0,72 | 0,68 | 18,60  | 184,94 | 9,31  | 11,02  | 36,90 |
| 16 | 0,80 | 0,65 | 156,76 | 378,27 | 18,17 | 38,62  | 15,73 |
| 18 | 1,13 | 0,68 | 290,00 | 335,23 | 9,98  | 25,17  | 19,00 |
| 21 | 1,19 | 0,74 | 69,91  | 360,00 | 17,16 | 20,44  | 23,35 |
| 15 | 0,72 | 0,73 | 18,04  | 183,55 | 8,62  | 10,60  | 36,96 |
| 16 | 0,80 | 0,70 | 165,59 | 404,66 | 16,62 | 39,63  | 26,00 |
| 18 | 1,14 | 0,73 | 68,90  | 241,11 | 9,27  | 17,72  | 30,66 |
| 21 | 1,20 | 0,79 | 37,57  | 350,00 | 17,27 | 13,29  | 28,18 |

## Додаток В1

# Акт про використання результатів дисертаційної роботи у навчальному процесі кафедри «Транспортні технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор

науково-педагогічної роботи

національного університету

«Львівська політехніка»

доцент Олег ДАВИДЧАК

05 2025 р.



про використання у навчальному процесі кафедри транспортних технологій матеріалів і результатів дисертаційної роботи Євчука Юрія Юрійовича «Обґрунтування режимів світлофорного регулювання з урахуванням пріоритету для громадського транспорту»

Результати дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії Євчука Юрія Юрійовича впровадженні в навчальний процес з підготовки здобувачів:

1. Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» спеціалізація 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», які навчаються за освітньо-професійною програмою «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» у навчальній дисципліні: «Організація дорожнього руху»: використані матеріали щодо визначення закономірностей у транспортних потоках, пофазного роз'їзду транспортних потоків, розрахунку часових параметрів світлофорного регулювання, пріоритизації учасників дорожнього руху на регульованих перехрестях (Тема 6 – «Транспортний потік. Якісний стан транспортного потоку»; Тема 7 – «Світлофорне регулювання»)

2. Другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» спеціалізація 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», які навчаються за освітньо-професійною програмою «Організація і регулювання дорожнього руху» у навчальній дисципліні: «Планування мобільності з використанням засобів імітаційного моделювання»: використані матеріали щодо визначення основних характеристик дорожнього руху та вулично-дорожніх мереж, методів збору початкових даних для транспортного моделювання, інструментів оперативного транспортного моделювання та планування (Тема 5 – «Основні показники дорожнього руху, які характеризують транспортні потоки», Тема 6 – «Моделювання руху транспортних засобів у транспортному потоці та визначення його основних показників»).

Матеріали дисертаційної роботи Євчука Юрія Юрійовича використовуються під час курсового та дипломного проектування, а також виконання магістерських кваліфікаційних робіт на освітніх програмах спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)».

Завідувач кафедри  
транспортних технологій,  
голова методичної комісії спеціальності  
275 «Транспортні технології (за видами)»  
канд. техн. наук, доцент

Юрій РОЙКО

## Додаток В2

**Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи у  
ПП «Інжинірингова компанія «ДорПроектСтандарт»»**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**  
Директор  
ПП «Інжинірингова компанія  
«ДорПроектСтандарт»»  
  
Роман ГАЙВАНОВИЧ  
05 2025 р.

**АКТ**

про впровадження результатів дисертаційної роботи  
Євчука Юрія Юрійовича  
«Обґрунтування режимів світлофорного регулювання з урахуванням пріоритету  
для громадського транспорту»

Цим актом підтверджується, що в роботі ПП «Інжинірингова компанія  
«ДорПроектСтандарт»» під час проектування організації руху транспортних  
потоків на вулично-дорожній мережі використовуються такі результати  
дисертаційної роботи Євчука Юрія Юрійовича:

1. Методика дослідження взаємозв'язків між показниками у транспортних потоках на міській вулично-дорожній мережі із використанням імітаційного моделювання;
2. Способи застосування часових та просторових пріоритетів для громадського транспорту під час розроблення схем організації дорожнього руху;
3. Науково-прикладні підходи до планування вуличної інфраструктури.

Використання цього дисертаційного дослідження дозволяють покращити рівень та якість транспортного обслуговування на магістральній вулично-дорожній мережі, зменшити витрати часу на пересування мешканців, а також підвищити ефективність роботи громадського транспорту у містах.

Директор  
ПП «Інжинірингова компанія  
«ДорПроектСтандарт»»

  
Роман ГАЙВАНОВИЧ

## Додаток В3

## Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи у ТОВ «Ежіс Україна»

### АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи  
Євчука Юрія Юрійовича  
на тему: «Обґрунтування режимів світлофорного регулювання з урахуванням пріоритету  
для громадського транспорту»

Дисертаційна робота «Обґрунтування режимів світлофорного регулювання з урахуванням пріоритету для громадського транспорту», що виконана у Національному університеті «Львівська політехніка», присвячена дослідженню закономірностей руху громадського транспорту в околі регульованих перехресть з урахуванням різних варіантів забезпечення його пріоритету (просторового та часового), а також і координованого світлофорного регулювання.

Отримані у дисертаційній роботі результати мають як наукову, так і значну практичну цінність. Тому під час розроблення стратегічних планувальних документів щодо розвитку міської транспортної системи, техніко-економічного оцінювання проектів реконструкції вулиць, формуванні рекомендацій щодо оптимізації системи громадського транспорту експерти та фахівці ТОВ «Ежіс Україна» використовують такі результати цієї дисертаційної роботи:

- ✓ Результати опрацювання попередніх досліджень щодо потреби врахування руху громадського транспорту під час розрахунку режимів світлофорного регулювання, включаючи адаптивне світлофорне регулювання;
- ✓ Науково-практичні підходи щодо удосконалення схем руху громадського транспорту та розрахунку режимів світлофорного регулювання;
- ✓ Уточнені підходи щодо впровадження систем координованого світлофорного регулювання на вулицях з рухом громадського транспорту;
- ✓ Методику імітаційного моделювання руху транспортних потоків в урбанізованих просторах з урахуванням взаємодії приватного та громадського транспорту в околі регульованих перехресть.

Використання цих результатів дозволяє краще враховувати планувальні особливості вулично-дорожньої мережі міст та вимоги щодо організації руху громадського транспорту під час проектування регульованих перехресть. Це в свою чергу дає змогу підвищувати ефективність управління дорожнім рухом, покращувати мобільність мешканців міст та забезпечувати ефективне транспортне планування в урбанізованих просторах.

Заступник директора,  
керівник департаменту транспортної інженерії  
ТОВ «Ежіс Україна»

Директор  
ТОВ «Ежіс Україна»

07 травня 2025 року



Іван КОНОПЛИЦЬКИЙ

Андрій СОБА