

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Гіць Іванна Іванівна

УДК 656.072

ДИСЕРТАЦІЯ

**ВПЛИВ ПОПИТУ НА ТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ З ПЕРЕВЕЗЕННЯ
ПАСАЖИРІВ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТ**

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

І. І. Гіць

Науковий керівник Жук Микола Миколайович, кандидат технічних наук, доцент

Львів – 2024

АНОТАЦІЯ

Вплив попиту на транспортні послуги з перевезення пасажирів на функціонування транспортної системи міст. – 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, 2024.

Ефективність функціонування міської транспортної системи залежить від сталих видів переміщень (громадський транспорт, велосипедний рух, альтернативні види транспорту) та зменшення рівня використання індивідуального транспорту.

Громадський транспорт як транспорт загального користування та великої провізної здатності повинен забезпечувати зручне та комфортне переміщення. Для забезпечення таких переміщень необхідне визначення структури та прогнозування попиту на міські переміщення з урахуванням поведінки користувачів громадського транспорту та оцінки параметрів цих переміщень.

Користувачі транспортних послуг надають перевагу громадському транспорту за умови, що час добирання до кінцевої точки та фінансові витрати на виконання переміщень зменшаться.

У першому розділі розглянуто теоретичні основи формування попиту на транспортні послуги з перевезення пасажирів. Варто зазначити, що зміна рівня попиту на транспортні послуги залежить від потреб самих користувачів та якості обслуговування. Більшість поїздок мають обов'язковий характер (робота, навчання), тому на вибір способу переміщення впливає саме якість транспортних послуг. До показників, які стимулюють обрати громадський транспорт, відносяться тривалість та вартість поїздки, інтервали руху на маршруті, доступність, мобільність, надійність, зручність та комфорт. Для ефективної роботи громадського транспорту варто застосовувати заходи щодо управління

попитом на транспорті (оплата відповідно до відстані поїздки, вдосконалення перевезень громадським транспортом, переміщення альтернативними видами транспорту).

Визначено, що до основних складових переміщення, що впливають на якість надання послуг громадського транспорту, відносять час підходу до зупинки, тривалість очікування, час подорожі та можливість пересадки.

Аналіз методів оцінки попиту на пасажирські перевезення проведено в другому розділі. Зокрема розглянуто методи натурних та соціологічних досліджень, моделювання пасажирських потоків, оцінки якості надання послуг громадського транспорту, метод багатокритеріального аналізу, триетапний метод на основі транзитно-орієнтованого розвитку, метод краудшипінгу, методи використання концепції рівнів задоволеності користувачів. Наведено теоретичні основи моделей Байеса та класичної 4-етапної моделі транспортного планування для подальшого використання в програмному середовищі PTV Visum.

У третьому розділі розглянуто систему громадського пасажирського транспорту Львова. У структурі громадського транспорту міста є 126 маршрутів, з них 18 автобусних маршрутів (обслуговують автобуси великої вмістимості), 31 автобусний маршрут (обслуговують автобуси середньої вмістимості), 8 трамвайних, 10 тролейбусних маршрутів та 59 приміських маршрутів громадського пасажирського транспорту, які частково проходять територією міста.

Визначено регіональні особливості поведінки користувачів громадського транспорту, встановлено тривалості очікування, при яких користувачі вибирають поїздки з пересадкою, проаналізовано показники впливу на якість громадського транспорту. Серед основних – виділено мету та тривалість поїздки, наповненість салону, відстань пішого підходу до зупинки та вид громадського транспорту. Визначення проведено за результатами анкетування пасажирів на зупинках громадського транспорту та за допомогою онлайн-сервісів (Google Forms).

У програмному середовищі PTV Visum проведено моделювання ймовірності виконання пересадки із застосуванням Байєсівських мереж на

зупинках різних типів (залежно від виду маршрутів, які вони обслуговують). Аналізом даних анкетування було виявлено залежності ймовірності виконання пересадок від соціоекономічних характеристик пасажирів (стать, вік, рівень доходів) та характеристик поїздки (період початку поїздки, тривалість очікування на зупинці громадського транспорту, загальна тривалість переміщення). Також досліджено вплив наявності електронного табло на вибір зупинки громадського транспорту (з наявним інформаційним забезпеченням чи без нього). Встановлено, що при майже однаковій відстані підходу користувачі послуг оберуть зупинку саме з наявним інформаційним забезпеченням.

Крім цього, виконано оцінювання впливу карантинних обмежень, пов'язаних з пандемією Covid-19, на рівень користування послугами громадського транспорту. Отримані дані дають можливість прогнозувати попит на переміщення під час дії чинників техногенного і природного характеру.

У четвертому розділі спрогнозовано попит на переміщення в системі громадського транспорту великих міст (на прикладі міста Львова) з урахуванням поведінки користувачів шляхом моделювання в програмному середовищі PTV Visum.

Визначено кількісні характеристики якісної оцінки рівня обслуговування пасажирів міським пасажирським транспортом. Проведено порівняння існуючих параметрів функціонування маршрутної мережі Львова з оцінкою цих параметрів користувачами громадського транспорту. Визначено діапазони тривалостей очікування на зупинці під час поїздки громадським транспортом, які пасажирів вважають комфортним (очікування до 5 хв), добрим (очікування в межах 10 – 15 хв) та достатнім (очікування в межах 15 – 20 хв). Також визначено прийнятні для пасажирів тривалості очікування пересадки (до 8 хв), що потрібно враховувати при узгодженні розкладів руху на маршрутах.

Загалом у випадках «відмінної», «доброї» або «допустимої» оцінки (3 і більше балів за 5-тибальною системою) імовірність вибору громадського транспорту користувачами для переміщення міською територією більші ніж 50%. При нижчих оцінках користувач імовірніше обере інший тип переміщення

міською територією (індивідуальний автомобіль, немоторизовані транспортні засоби, пішки).

У програмному середовищі PTV Visum змодельовано показники функціонування міської пасажирської системи за різної оцінки якості транспортних послуг: середньодобова кількість пасажирських поїздок у системі громадського транспорту, часові параметри переміщень, кількість пересадок. Отримано також математичну залежність зміни ймовірності вибору маршруту з пересадкою залежно від різниці в тривалості переміщення прямим та трансферним маршрутом.

У роботі запропонована методика прогнозування попиту на пасажирські перевезення, яка враховує поведінку користувачів транспортних послуг. Вона передбачає використання 4-етапної моделі транспортного планування, яка додатково враховує показники якості транспортних послуг та можливість пересадок у системі громадського транспорту міст. Спрогнозовано попит за різної оцінки якості транспортних послуг (відмінно, добре та достатньо). Визначений рівень попиту дає можливість передбачити функціонування міської маршрутної мережі за різних умов.

Запропонована методика дає можливість міській пасажирській транспортній системі бути адаптивною, щоб реагувати на змінний попит на перевезення з достатнім рівнем якості обслуговування, враховуючи при цьому певні економічні обмеження.

Результати роботи можуть бути використані надавачами (операторами) транспортних послуг для оптимізації маршрутів та планування розкладів руху, для узгодження розкладів на критичних зупинках для комфортної поїздки з пересадкою. Отримані рекомендації можуть бути застосовані для значних міст з переважною часткою автобусних маршрутів та співвідношенням маршрутів різної конфігурації за таким принципом: діаметральні маршрути > радіальні маршрути > хордові маршрути.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані муніципальними органами влади при замовленні послуг з перевезень та оцінці якості задоволення

потреб у переміщеннях, зокрема для моделювання попиту на окремі маршрути, визначення комфортної тривалості очікування, визначення якості надання транспортних послуг та обґрунтування рішень щодо відкриття нових маршрутів або зміни конфігурації існуючих.

Ключові слова: попит, громадський пасажирський транспорт, транспортна система міста, пасажиропотік, маршрутна мережа міста, пересадки, тривалість переміщення, транспортні райони, транспортне очікування, поведінка користувачів громадського транспорту.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації
Статті у наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до
міжнародних науково-метричних баз*

1. Pivtorak H., Zhuk M., Gits I., Galkin A. Shifting the population mobility of the Ukraine western region on the strength of the Covid-19 pandemic // Archives of Transport. 2022. Vol. 62, No. 2. P.7–23.

2. Pivtorak H., Zhuk M., Kovalyshyn V., Gits I. Simulation of the Transfers Probability in the City Route Network (the Case of Lviv, Ukraine). Periodica Polytechnica Transportation Engineering. Volume 51. 2023.

Стаття у виданнях України, що включені до міжнародних науково-метричних баз

3. Zhuk M., Pivtorak H., Kovalyshyn V., Gits I. Development of a multinomial logit-model to choose a transportation mode for intercity travel // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2020. № 3/3 (105). P. 69–77.

Статті у фахових виданнях України

4. Жук М. М., Півторак Г. В., Гіць І. І., Козак М. М. Прогнозування вибору виду транспорту у разі міських переміщень на основі класифікаційних дерев

рішень // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2020. Т. 31 (70), № 4. С. 221–226.

5. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I., Kozak M. Application of bayesian networks to estimate the probability of a transfer at a public transport stop // *Transport Technologies*. 2022. Vol.3, № 2. С. 22–32.

6. Жук М. М., Півторак Г. В., Гіць І. І. Застосування нейромережевого моделювання для прогнозування тривалості перебування транспортного засобу на зупинці громадського транспорту // *Розвиток транспорту*. 2022. № 1 (12). С. 156–167.

7. Півторак Г. В., Гіць І. І., Жила М. П. Оцінка розподілу пасажиропотоків в транспортно-пересадочному вузлі // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2022. Т. 33 (72), № 2. С. 215–220.

8. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I. Assessment of the service quality in public transport (analysis of research in Lviv, Ukraine) // *Transport Technologies*. – 2023. – Vol. 4, № 2. – С. 12–22.

9. Півторак Г. В., Гіць І. І., Півторак С. І. Оцінка параметрів доставки останньої милі з використанням нечіткого аналітичного підходу // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2024. – Т. 35 (74), № 3. – С. 202–207.

Статті у інших виданнях

10. Gits I., Zhuk M., Pivtorak H. Analysis of demand for public transport service in Lviv city // *Transport Technologies*. 2020. Vol. 1, № 2. С. 57–64.

11. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I. Assessment of sustainability of the Lviv city transport system according to the indicator of accessibility // *Transport Technologies*. 2021. Vol. 2, № 2. С.11–19.

Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Гіць І. І. Оцінка впливу тривалості переміщення на вибір виду транспорту // Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем : матеріали Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції, 28–29 листопада 2019 р., Рівне. – 2019. – С. 41–43.

2. Гіць І.І. Про послуги інтелектуальних транспортних систем для користувачів // Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання : тези доповідей III Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 28–30 березня 2019 року, Львів. – 2021. – С. 41–42.

3. Півторак Г. В., Гіць І. І. Оцінка якості систем громадського транспорту найкрупніших міст на основі показника насиченості // Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути : матеріали IX Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Київ, 16 жовтня 2020 р.). – 2020. – С. 660–666.

4. Жук М. М., Гіць І. І. Зміна вибору способу переміщення під впливом обмежень, пов’язаних з Covid-19 // Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання : тези доповідей IV Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 25–26 березня 2021 року, Львів. – 2021. – С. 90–91.

5. Гіць І. І., Погорельчук В. В., Красилівський Є. В. Прогнозування пасажиропотоків з використанням методу Хольта-Вінтерса // Матеріали до IV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні світові тенденції розвитку науки та інформаційних технологій», Одеса, 2021. – С. 124-127. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://novaosvita.com/>.

6. Гіць І. І. Характеристика системи громадського транспорту / І. І. Гіць, В. В. Євпак, Є. В. Красилівський. // Науковий простір: актуальні питання, досягнення та інновації: матеріали IV Міжнародної наукової конференції, м. Івано-Франківськ. – 2022. – С. 133–134.

7. Гіць І. І. Особливості вантажних перевезень в умовах військового стану / І. І. Гіць, А. В. Кучер, А. Р. Ярецький. // Науковий простір: актуальні питання,

досягнення та інновації: матеріали IV Міжнародної наукової конференції, м. Івано-Франківськ. – 2022. – С. 131–132.

8. Гіць І. І., Кадюк Д. Р. Функціонування громадського транспорту під час воєнного стану // Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання : тези доповідей V Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 23–24 березня 2023 року, Львів. – 2023. – С. 109–110.

9. Півторак Г. В., Гіць І. І., Мохняк Р. Р. Оцінка впливу інформаційного забезпечення на ймовірність виконання пересадки на зупинці // Транспортні технології та безпека дорожнього руху: збірник тез доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції, 13–14 квітня 2023 р., Запоріжжя. – 2023. – С. 73–75.

10. Жук М. М., Гіць І. І. Аналіз методів оцінки попиту на перевезення громадським транспортом у містах // Вплив інновацій на розвиток судової експертизи: від традиційних методів до цифрової трансформації : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 26 квітня 2024 року, Львів. – 2024. – С. 58–61.

SUMMARY

Gits I.I. The impact of the demand for passenger transport services on the functioning of the transport system of cities. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 275 "Transport technologies (by types)" – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2024.

The efficiency of the functioning of the urban transport system depends on the level of use of individual transport, and the popularization of sustainable modes of movement (public transport, cycling, alternative modes of transport) leads to the successful functioning of all its subsystems.

Public transport, as transport with a large carrying capacity, should provide convenient and comfortable movement. To ensure such movements, it is necessary to determine the structure and forecast the demand for urban movements, taking into

account the behavior of public transport users and evaluating the parameters of these movements.

Users of transport services will prefer public transport, provided that the time to get to the final destination and the financial costs on travelling will decrease.

The first chapter deals with the theoretical foundations of the formation of demand for passenger transport services. It is worth noting that the change in the level of demand for transport services depends on the quality of service and on the needs of the users themselves. Most trips are mandatory (work, study), so the choice of the method of movement is influenced by the quality of transport services. Factors that stimulate the choice of public transport include the duration and cost of the trip, the intervals of traffic on the route, accessibility, mobility, reliability, convenience, and comfort. For the efficient operation of public transport, it is necessary to apply transport demand management measures (payment according to the distance of the trip, improvement of public transportation, and movement by alternative modes of transport).

It was determined that the main components of movement that affect the quality of public transport services include the time of approach to the stop, the time of the wait, travel time, and the possibility of a transfer.

The analysis of the methods of assessing the demand for passenger transportation is carried out in the second chapter. In particular, the methods of field and sociological research, modeling of passenger flows, evaluation of the quality of public transport services, the method of multi-criteria analysis, the three-stage method based on transit-oriented development, the crowdshipping method, methods of using the concept of user satisfaction levels are considered. The theoretical foundations of Bayesian models and the classical 4-stage model of transport planning are presented for further use in the PTV Visum software environment.

In the third chapter, the system of public passenger transport in Lviv is considered. The public transport structure of the city consists of 126 routes, of which 18 bus routes (served by large-capacity buses), 31 bus routes (served by medium-capacity

buses), 8 tram routes, 10 trolleybus routes, and 59 suburban routes of public passenger transport, which partially pass through the city.

The regional characteristics of the behavior of public transport users were determined, the waiting times at which users choose trips with a transfer were determined, and the factors affecting the quality of public transport were analyzed. Among the main factors, the purpose and duration of the trip, the fullness of the cabin, the walking distance to the stop, and the type of public transport are highlighted. The determination was made based on the results of passenger surveys at public transport stops and with the help of online services (Google Forms).

In the PTV Visum software environment, the simulation of the probability of making a transfer using Bayesian networks was carried out at stops of different types (depending on the type of routes they serve). During the analysis of the questionnaire data, the dependence of the probability of transfers on the socio-economic characteristics of the passenger (gender, age, income level) and trip characteristics (the period of the start of the trip, the length of waiting at the public transport stop, the total duration of the trip) was revealed. The influence of the presence of an electronic board on the choice of a public transport stop (with or without available information support) was also investigated. It was established that with almost the same approach distance, service users will choose a stop with the available information support.

An assessment of the impact of quarantine restrictions related to the Covid-19 pandemic on the level of use of public transport services was also carried out. The obtained data make it possible to forecast the demand for movement during the action of man-made and natural factors.

In the fourth chapter, the demand for movement in the public transport system of large cities (in the example of the city of Lviv) is determined, taking into account user behavior by modeling in the PTV Visum software environment.

In order to obtain quantitative characteristics of the qualitative assessment of the level of passenger service by the city passenger transport system, a comparison of the existing parameters of the route network of Lviv with the evaluation of these parameters by public transport users was carried out. The ranges of waiting times at a stop during a

trip by public transport, which passengers consider comfortable (waiting up to 5 minutes), good (waiting within 10-15 minutes) and sufficient (waiting within 15-20 minutes), have been determined. Acceptable waiting times for passengers for transfers (up to 8 minutes) have also been determined, which must be taken into account when coordinating traffic schedules on routes.

In general, in cases of "excellent", "good" or "acceptable" ratings (3 or more points according to the 5-point system), the probability of users choosing public transport to move around the city territory is more than 50%, with lower ratings, the user is more likely to choose another type of transportation urban area (private car, non-motorized vehicles, on foot).

In the PTV Visum software environment, indicators of the functioning of the city passenger system are modeled under different evaluations of the quality of transport services: the average daily number of passenger trips in the public transport system, the time parameters of movements, and the number of transfers. The mathematical dependence of the change in the probability of choosing a route with a transfer depending on the difference in the duration of the direct and transfer route was also obtained.

The paper proposes a method of forecasting the demand for passenger transportation, which takes into account the behavior of users of transport services. It involves the use of a 4-stage model of transport planning, which additionally takes into account indicators of the quality of transport services and the possibility of transfers in the public transport system of cities. The demand for different evaluations of the quality of transport services (excellent, good, and acceptable) is forecasted. The determined level of demand makes it possible to predict the functioning of the city route network under different conditions.

The proposed methodology enables the urban passenger transport system to be adaptive in order to respond to the changing demand for transportation with a sufficient level of service quality while taking into account certain economic constraints.

The results of the research can be used by public transport management bodies and providers (operators) of transport services to optimize routes and plan traffic

schedules, to coordinate schedules at critical stops for a comfortable trip with a transfer. The obtained recommendations can be applied to large cities with a predominant share of bus routes and the ratio of routes of different configurations according to the principle: diametrical routes > radial routes > chordal routes.

The results of the dissertation work can also be used by both transport service providers and municipal authorities when ordering transport services and assessing the quality of meeting transport needs, namely: for modeling demand for individual routes, determining comfortable waiting times, planning public transport timetables, planning the arrival of vehicles at transfer stops, determining the quality of the provision of transport services and justifying decisions on opening new routes or changing the configuration of existing ones.

Key words: demand, public passenger transport, urban transport system, passenger flow, city route network, transfers, duration of movement, transport areas, transport waiting, behavior of public transport users.

AUTHOR'S PUBLICATIONS ON THE SUBJECT OF THE THESIS

Articles in scientific and professional journals

1. Pivtorak H., Zhuk M., Gits I., Galkin A. Shifting the population mobility of the Ukraine western region on the strength of the Covid-19 pandemic // *Arkhivy transportu*. 2022. Vol. 62, No. 2. S.7–23.

2. Pivtorak H., Zhuk M., Kovalyshyn V., Gits I. Simulation of the Transfers Probability in the City Route Network (the Case of Lviv, Ukraine). *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. Volume 51. 2023.

3. Zhuk M., Pivtorak H., Kovalyshyn V., Gits I. Development of a multinomial logit-model to choose a transportation mode for intercity travel // *Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*. 2020. № 3/3 (105). S. 69–77.

4. Zhuk M. M., Pivtorak H. V., Hits I. I., Kozak M. M. Prohnozuvannia vyboru vydu transportu u razi miskykh peremishchen na osnovi klasyfikatsiinykh derev rishen

// Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii: tekhnichni nauky. 2020. T. 31 (70), № 4. S. 221–226.

5. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I., Kozak M. Application of bayesian networks to estimate the probability of a transfer at a public transport stop // *Transport Technologies*. 2022. Vol.3, № 2. S. 22–32.

6. Zhuk M. M., Pivtorak H. V., Hits I. I. Zastosuvannia neiromerezhevoho modeliuvannia dlia prohnozuvannia tryvalosti perebuvannia transportnoho zasobu na zupyntsi hromadskoho transportu // *Rozvytok transportu*. 2022. № 1 (12). S. 156–167.

7. Pivtorak H. V., Hits I. I., Zhyla M. P. Otsinka rozpodilu pasazhyropotokiv v transportno-peresadochnomu vuzli // *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho*. Serii: Tekhnichni nauky. 2022. T. 33 (72), № 2. S. 215–220.

8. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I. Assessment of the service quality in public transport (analysis of research in Lviv, Ukraine) // *Transport Technologies*. – 2023. – Vol. 4, № 2. – C. 12–22.

9. Pivtorak H. V., Hits I. I., Pivtorak S. I. Otsinka parametriv dostavky ostannoï myli z vykorystanniam nechitkoho analitychnoho pidkhodu // *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho*. Serii: Tekhnichni nauky. – 2024. – T. 35 (74), № 3. – S. 202–207.

Articles in other journals

10. Gits I., Zhuk M., Pivtorak H. Analysis of demand for public transport service in Lviv city // *Transport Technologies*. 2020. Vol. 1, № 2. S. 57–64.

11. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I. Assessment of sustainability of the Lviv city transport system according to the indicator of accessibility // *Transport Technologies*. 2021. Vol. 2, № 2. S.11–19.

Abstracts of the conferences

1. Hits I. I. Otsinka vplyvu tryvalosti peremishchennia na vybir vydu transportu // *Innovatsiini tekhnolohii rozvytku mashynobuduvannia ta efektyvnoho funktsionuvannia*

transportnykh system : materialy Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii, 28–29 lystopada 2019 r., Rivne. – 2019. – S. 41–43.

2. Hits I.I. Pro posluhy intelektualnykh transportnykh system dlia korystuvachiv // Problemy z transportnymy potokamy i napriamy yikh rozviazannia : tezy dopovidei III Vseukrainskoi naukovo-teoretychnoi konferentsii, 28–30 bereznia 2019 roku, Lviv. – 2021. – S. 41–42.

3. Pivtorak H. V., Hits I. I. Otsinka yakosti system hromadskoho transportu naikrupnishykh mist na osnovi pokaznyka nasychenosti // Suchasni vyklyky i aktualni problemy nauky, osvity ta vyrobnytstva: mizhhaluzevi dysputy : materialy IV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii (Kyiv, 16 zhovtnia 2020 r.). – 2020. – S. 660–666.

4. Zhuk M. M., Hits I. I. Zmina vyboru sposobu peremishchennia pid vplyvom obmezhen, poviazanykh z Covid-19 // Problemy z transportnymy potokamy i napriamy yikh rozviazannia : tezy dopovidei IV Vseukrainskoi naukovo-teoretychnoi konferentsii, 25–26 bereznia 2021 roku, Lviv. – 2021. – S. 90–91.

5. Hits I. I., Pohorelchuk V. V, Krasylivskiy Ye. V. Prohnozuvannia pasazhyropotokiv z vykorystanniam metodu Kholta-Vintersa // Materialy do IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni svitovi tendentsii rozvytku nauky ta informatsiinykh tekhnolohii», Odesa, 2021. – S. 124-127. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://novaosvita.com/>.

6. Hits I. I. Kharakterystyka systemy hromadskoho transportu / I. I. Hits, V. V. Yevpak, Ye. V. Krasylivskiy. // Naukovyi prostir: aktualni pytannia, dosiahnennia ta innovatsii: materialy IV Mizhnarodnoi naukovo konferentsii, m. Ivano-Frankivsk. – 2022. – S. 133–134.

7. Hits I. I. Osoblyvosti vantazhnykh perevezen v umovakh viiskovoho stanu / I. I. Hits, A. V.Kucher, A. R.Iaretskyi. // Naukovyi prostir: aktualni pytannia, dosiahnennia ta innovatsii: materialy IV Mizhnarodnoi naukovo konferentsii, m. Ivano-Frankivsk. – 2022. – S. 131–132.

8. Hits I. I., Kadiuk D. R. Funktsionuvannia hromadskoho transportu pid chas voiennoho stanu // Problemy z transportnymy potokamy i napriamy yikh rozviazannia :

tezy dopovidei V Vseukrainskoi naukovo-teoretychnoi konferentsii, 23–24 bereznia 2023 roku, Lviv. – 2023. – S. 109–110.

9. Pivtorak H. V., Hits I. I., Mokhniak R. R. Otsinka vplyvu informatsiinoho zabezpechennia na ymovirnist vykonannia peresadky na zupyntsi // Transportni tekhnolohii ta bezpeka dorozhnoho rukhu : zbirnyk tez dopovidei IV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 13–14 kvitnia 2023 r., Zaporizhzhia. – 2023. – S. 73–75.

10. Zhuk M. M., Hits I. I. Analiz metodiv otsinky popytu na perevezennia hromadskym transportom u mistakh // Vplyv innovatsii na rozvytok sudovoi ekspertyzy: vid tradytsiinykh metodiv do tsyfrovoy transformatsii : materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 26 kvitnia 2024 roku, Lviv. – 2024. – S. 58–61.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	19
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ПОПИТУ НА ТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ З ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ	26
1.1. Характеристика системи громадського транспорту міст	26
1.2. Структура попиту на транспортні послуги з перевезення пасажирів та його вплив на транспортні системи міст.....	34
1.3. Транспортно – пересадкові вузли в міській мережі	40
1.4. Висновки до розділу.....	44
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ПОПИТУ НА ТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ З ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ	45
2.1. Методи оцінки попиту на пасажирські перевезення у містах.....	45
2.2. Моделі задач про потоки в міській маршрутній мережі.....	49
2.3. Використання 4-етапної моделі транспортного планування для визначення попиту на переміщення	55
2.4. Методика визначення переміщень	60
2.5. Методика виконання транспортних досліджень з використанням програмного забезпечення PTV Visum	64
2.6. Висновки до розділу.....	71
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ПОПИТУ НА ПЕРЕМІЩЕННЯ ГРОМАДСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ.....	72
3.1. Маршрутна мережа громадського транспорту великих міст (на прикладі м. Львів).....	72
3.2. Визначення сприйняття користувачами якості транспортних послуг	80
3.3. Оцінка ймовірності пересадки на зупинці громадського транспорту (із застосуванням Байєсівських мереж).....	86
3.4. Пересадки в міській маршрутній мережі	92
3.5. Зміна попиту під впливом зовнішніх чинників природного або техногенного характеру (Covid-19).....	98
3.6. Висновки до розділу.....	100
РОЗДІЛ 4. ПРОГНОЗОВАНІ ЗМІНИ ПОПИТУ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ МІСТ	105
4.1. Вплив поведінки користувачів транспортних послуг на функціонування міського пасажирського транспорту	102
4.2. Прогнозування попиту на пасажирські перевезення за різних	107

умов функціонування системи громадського транспорту	
4.4. Висновки до розділу.....	118
ВИСНОВКИ.....	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	121
ДОДАТКИ.....	135
Додаток А. Маршрутна мережа міста Львова.....	136
Додаток Б. Взірець анкети досліджень.....	140
Додаток В. Результати натурних досліджень на зупинках міста Львова.....	147
Додаток Г. Фрагменти матриць отримані за допомогою програмного забезпечення PTV Visum.....	154
Додаток Д. Акти про використання результатів дисертаційної роботи у навчальному процесі кафедри «Транспортні технології»	158
Додаток Е. Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи у ТЗОВ «Успіх -БМ»	159
Додаток Є. Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи у ТОВ «Сконто»	160
Додаток Ж. Список публікацій здобувача за темою дисертації	161

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВДМ – вулично-дорожня мережа

ТЗ – транспортний засіб

ГТ – громадський транспорт

ІТ – індивідуальний транспорт

ММ –маршрутна мережа

ТС – транспортна система

ТПВ – транспортно-пересадкові вузли

ТР – транспортний район

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Для якісного функціонування системи громадського транспорту міста необхідним є успішне функціонування міської транспортної мережі. Управління попитом на перевезення має ключове значення в цій системі, адже саме забезпечення якісного та комфортного перевезення дозволяє пасажиром змінити звичний для себе індивідуальний автомобіль на переміщення громадським транспортом.

У теперішніх умовах раціональна мережа маршрутів дає змогу пасажиром дістатися до потрібного місця і зробити це швидко, якісно, ще й витрачаючи менше коштів на переміщення. Для прийняття таких рішень потрібно визначити величину попиту на переміщення та показники, які на це впливають.

Поїздки людей з метою роботи чи навчання зазвичай є прогнозованими, оскільки здійснюються в певний період часу, але нерегулярні переміщення є важкопрогнозованими, оскільки залежать від якості надання послуг та особливостей поведінки користувачів громадського транспорту. Маючи дані щодо потреб у переміщеннях з району в район та особливості регіональної поведінки користувачів транспорту, ми можемо прогнозувати як попит на переміщення, так і умови якісного функціонування системи міських пасажирських перевезень. Прогнозування попиту на транспортні послуги надає можливість забезпечити функціонування маршрутної мережі з певним рівнем якості надання послуг, який може задовільнити потреби користувачів у переміщенні.

Результати прогнозування та моделювання переміщень дають змогу отримати розподіл здійснених поїздок індивідуальним і громадським транспортом, а також альтернативними видами транспорту (велосипед, самокат тощо) або ж рухом пішки. Також ми можемо отримати розподіл пасажиропотоків мережею міста та середні величини кількості пасажирів на маршрутах, відтак з більшою точністю можна оцінити якість надання послуг з перевезення пасажирів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напряму кафедри «Транспортні технології» Національного університету «Львівська політехніка».

Дисертація виконана в межах науково-дослідних робіт 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.); згідно з «Транспортною стратегією України на період до 2030 року», схваленою Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. 19 №430-р; згідно зі «Стратегією розвитку Львівської області на період 2021-2027 років», затвердженою рішенням сесії Львівської обласної ради від 24.12.2019 р № 1599-ПР; в рамках міжнародного проекту Master in SMARt transport and LOGistics for cities (SMALOG) action “Capacity Building in higher education” в рамках програми ЄС Еразмус+/КА2, що підтримує проекти, партнерства, заходи і мобільність у сфері освіти, підготовки, молоді і спорту. Номер проекту 585832-EPP-1- 2017-1-IT-EPPKA2-SBHE-JP. Сайт проекту: <http://smalog-2017.uniroma2.it>. Термін реалізації проекту 10/2017-10/2021.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування міської маршрутної мережі шляхом прогнозування попиту на пасажирські перевезення громадським транспортом.

Для досягнення мети сформульовано такі завдання:

- проаналізувати стан проблеми зі структури попиту на міські переміщення з урахуванням поведінки користувачів громадського транспорту;
- провести дослідження попиту на переміщенням громадським транспортом у міській маршрутній мережі з урахуванням транспортного очікування;
- провести транспортне дослідження (з використанням методів імітаційного моделювання) прогнозування попиту на пасажирські перевезення за різних умов функціонування громадського транспорту та кількісних показників якості надання послуг;
- провести оцінку результатів експериментів і теоретичних досліджень та сформулювати методичні рекомендації щодо їх використання.

Об'єкт дослідження – система громадського транспорту міст.

Предмет дослідження – попит на переміщення пасажирів громадським транспортом міста.

Методи дослідження – при виконанні роботи застосовувалися документальні дослідження (для дослідження та аналізу літературних джерел), натурні методи обліку пасажиропотоків, анкетування на зупинках громадського транспорту та маршрутах м. Львова (для збору даних про характеристику переміщення та якості потреб у переміщенні), теорії ймовірностей та математичної статистики (для опрацювання великої кількості даних), імітаційного моделювання в програмному середовищі PTV Visum (для опрацювання сценаріїв функціонування громадського транспорту).

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше запропоновано методіку прогнозування попиту на пасажирські перевезення з урахуванням поведінки користувачів громадського транспорту;
- вдосконалено підходи до визначення якості задоволення потреб у переміщеннях, які, на відміну від існуючих, враховують регіональні особливості сприйняття користувачів транспортних послуг;
- набула подальшого розвитку 4-етапна модель транспортного планування, яка враховує транспортне очікування та можливість пересадок у системі громадського транспорту міст.

Практичне значення отриманих результатів:

Результати роботи дають можливість оптимізувати маршрути громадського транспорту, узгоджувати розклади руху для можливої поїздки з пересадкою надавачами транспортних послуг. Отримані рекомендації можуть бути застосовані для використання в значних містах з різними видами громадського транспорту (трамвай>тролейбус>автобус) та переважною кількістю автобусних маршрутів.

Також результати дисертаційної роботи можуть бути використані муніципальними органами влади при замовленні послуг з перевезень та оцінці

якості задоволення потреб у переміщеннях, а саме: для моделювання попиту на окремі маршрути, визначення комфортної тривалості очікування, визначення якості надання транспортних послуг та обґрунтування рішень щодо відкриття нових маршрутів або зміни конфігурації існуючих.

Результати досліджень та запропонована методика прогнозування попиту на пасажирські перевезення з урахуванням поведінки користувачів громадського транспорту використовуються в навчальному процесі при викладанні дисциплін «Міський пасажирський транспорт» та «Організація і управління міськими пасажирськими перевезеннями» студентам-магістрам спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» (освітньо-професійна програма «Організація перевезень і управління на транспорті (за видами транспорту)» і освітньо-наукова програма «Розтрамвайумний транспорт і логістика для міст») кафедри «Транспортні технології» Національного університету «Львівська політехніка», що підтверджується відповідним актом впровадження.

Результати дисертаційної роботи впроваджені під час планування регулярних та нерегулярних маршрутів руху міською та приміською територією Львова, оцінки якості наданих послуг у ТОВ «Успіх-БМ» та під час формування маршрутів з перевезення працівників ТОВ «Сkonto».

Особистий внесок здобувача. Автором опубліковано у співавторстві 6 наукових статей у фахових виданнях України, 3 статті у виданнях, які входять до наукометричної бази Scopus, 2 статті в інших виданнях, а також 10 тез доповідей на Всеукраїнських та Міжнародних конференціях. Автору належать усі наукові результати, що виносяться на захист. У працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає в такому: проведено аналіз анкетного опитування щодо основних параметрів впливу на попит при здійсненні їздки громадським транспортом [18], визначено основні фактори, які впливають на ймовірну кількість їздки певним видом транспорту [40], проаналізовано громадський транспорт у транспортно-пересадковому вузлі та зміну пасажиропотоку в різні години доби [53], за допомогою Байєсівського методу

визначено ймовірність пересадок на зупинках громадського транспорту [92], проаналізовано маршрутну мережу міста Львова, визначено залежність впливу між збільшенням кількості маршрутів та зміною пасажиропотоку [99], визначено тривалості перебування громадського транспорту на зупинках [120], визначено атрибути впливу на вибір транспорту при переміщеннях містом [121], визначено основні чинники, які впливали на вибір міжміського сполучення під час Covid-19 [122, 123].

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень доповідалися на: Всеукраїнській науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» (м. Рівне, НУВГП, 2019 р.); III Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання» (м. Львів, НУ «ЛП», 2019 р.); IX Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути» (м. Київ, 2020 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні світові тенденції розвитку науки та інформаційних технологій» (м. Одеса, 2021 р.); IV Міжнародній науковій конференції «Науковий простір: актуальні питання, досягнення та інновації» (м. Івано-Франківськ, 2022 р.); IV Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання» (м. Львів, НУ «ЛП», 2021 р.); V Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання» (м. Львів, НУ «ЛП», 2023 р.); IV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» (м. Запоріжжя, 2023р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Вплив інновацій на розвиток судової експертизи: від традиційних методів до цифрової трансформації».

Публікації. За темою дисертації опубліковано 11 наукових праць, з яких дві у наукових періодичних виданнях інших держав, одна у виданні України, що включене до міжнародних науково-метричних баз та шість у наукових фахових

виданнях України, а також дві статті в інших виданнях, десять тез доповідей на наукових конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 124 найменування і 8 додатків. Основна частина роботи викладена на 102 сторінках. Є 40 рисунків та 16 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 164 сторінки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ПОПИТУ НА
ТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ З ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ

1.1. Характеристика системи громадського транспорту міст

Функціонування пасажирського транспорту в містах України в останні роки стало ускладненим. Сучасні темпи автомобілізації міст відбуваються настільки швидко, що загальний розвиток вулично-дорожньої мережі (ВДМ) не відповідає цим темпам. Висока інтенсивність руху транспортних засобів (ТЗ), відсутність об'їзних автодоріг та транспортних розв'язок у межах міста та за його межами спричинили критично низький рівень пропускної спроможності основних магістралей, тим самим утворюючи великі затори в пікові періоди [1].

Проблеми, які виникають на ВДМ міста, мають різний характер. Вони є індивідуальними для кожного водія, а саме: відсутність паркомісць, затори, аварійність, шкідливі наслідки від великої кількості ТЗ. При вирішенні одного з цих недоліків існує ймовірність, що інші можуть не зменшитися, а навпаки збільшитися. Рішення, якими можна змінити ситуацію з заторами та забрудненням, – це покращення якості перевезення пасажирів та популяризації систем громадського транспорту (ГТ) [2]

У структурі функціонування міста ГТ відіграє важливу роль, адже він забезпечує сполучення між різними частинами міста та є доступним у користуванні для всіх верств населення. Проте зі зростанням кількості індивідуального транспорту (ІТ) зростає і необхідність розвитку сучасного міста в умовах сталого розвитку. Шапенко Є, Гульчак О. та інші дослідники в своїй роботі наводять низку технічних, економічних, технологічних та управлінсько-організаційних проблем, нехтування якими може спричинити неналежне забезпечення населення міста перевезеннями. Серед основних – погіршення якості перевезень, зниження рівня екологічної та транспортної безпеки, зниження економічного розвитку [3].

Щоденні поїздки на роботу чи навчання мають фіксований час виїзду та прибуття. Ці поїздки є здебільшого повторюваними та запланованими, що полегшує людям процес прийняття більш обґрунтованих рішень щодо вибору транспорту. Для підвищення попиту на ГТ потрібно брати до уваги потреби його користувачів, якість обслуговування пасажирським транспортом, час на перевезення та добирання до/від зупинки [4]. Останні декілька десятиліть фіксується значне зростання користувачів ГТ. Ще зовсім недавно поїздки ГТ здійснювалися переважно за місто або на далекій відстані. На сьогоднішній день до цієї тенденції додалися перевезення містом. Застарілі ТЗ, некомфортна та дороговартісна поїздка, довге очікування свого ТЗ, недосконалі маршрути та багато інших показників мають негативний вплив на попит ГТ [5].

Попит на пасажирські перевезення спричинений [6]:

- плануванням міської мережі (окремих об'єктів житлової, торгівельної, виробничої і соціальної сфери та загалом);
- рівнем автомобілізації населення;
- економічним станом міста (враховуючи такі показники, як розташування центрів трудової та соціальної активності, кількість місць працевлаштування).

Для забезпечення привабливості ГТ варто звернути увагу на безперешкодність поїздки та ефективність перевезень (надто переповнені автобуси протягом пікових годин та майже порожні в інші частини доби).

Зменшення використання індивідуального автомобіля при поїздках у межах населеного пункту передбачає формування нової транспортної політики. У ній йдеться про вдосконалення засобів управління міським транспортом, підвищення ефективності його функціонування, впровадження методів управління попитом на транспортні послуги та елементів транспортної логістики [6].

Для того, щоб ГТ був більш привабливим, варто опиратися на такі показники: вартість проїзду, інтервал руху, розмір автобуса та кількість місць для сидіння. Тірачіні А. та співавтори проводять аналіз та доходять висновку, що, порівняно з минулими роками, люди більше користуються ГТ [7]. Автори пояснюють, що екологічна свідомість, підвищення якості послуг та високі

витрати на користування індивідуальним автомобілем спрямували людей на користування саме ГТ.

У дослідженнях щодо рівня задоволеності від поїздок, які проводив Яновський П., було встановлено, що на задоволеність поїздкою впливають тривалість поїздки та вибір ТЗ [8].

У праці [9] аналізують, чому у Німеччині ГТ є більш успішним, ніж у США, і чому німці користуються ним у 5 разів більше, ніж американці. Висновки вказують на ряд переваг у системі ГТ у Німеччині, а саме:

- якісніше обслуговування;
- кращі тарифи та більш зручний спосіб придбання квитків;
- повна мультимодальна та регіональна інтеграція;
- високі податки та обмеження на використання автомобілів;
- політика розлогих маршрутів та зручних пересадок між транспортом.

За даними досліджень Каліфорнійського університету Берклі щодо найбільш розвинених мереж ГТ у світі можна зробити висновок, що в містах, які отримали першість, переважає керована ефективна система ГТ, а також вільний доступ до інших видів мобільності. Для досліджень було обрано 60 міст світу, трійка найкращих – Гонконг, Цюрих та Стокгольм. Аналіз проводився за такими критеріями: вартість проїзду, кількість та облаштування зупинок, наявність міських електричок та залізниці [10].

Кім Іккі, Кім Хьонг-Чул та їх співавтори пропонують калібрування моделі маршруту для вибору шляху руху користувачем послуг змодельованої функцією корисності (описує мінімальні затрати при здійсненні певної події) між транспортними районами (ТР) для м. Сеул (Південна Корея). Автори враховували такі показники: час руху в ТЗ, час руху поза ТЗ, коефіцієнт пересадок, стабільність величини тривалості переміщення та індекс контуру шляху. Проте отримані функції корисності не враховують вартісні характеристики поїздки, що є важливим при виконанні міжміських переміщень, та соціально-демографічні характеристики користувачів, оскільки дані про подорожі взято із записів трансакцій смарт-карт [11].

Автори [12] пропонують використовувати маршрутну мережу (ММ) для оцінки ймовірності вибору споживачем певного способу поїздки з пересадками між різними типами транспорту (у випадку співпраці та конкуренції). Вартість проїзду, інтервали руху та тривалість поїздки є основними показниками функції корисності.

Переміщення з певною метою здійснюються не тільки містом, але й з приміських територій. Зміна вибору способу переміщень для них (на прикладі маршруту Бекасі – Джакарта, Індонезія) з метою дім-робота наведено в дослідженні Хідаятом Р. [13]. Показниками впливу, які дослідили автори, є вартість, час в дорозі, частота руху і затримка подорожі.

Кузнар М. та Вираз Е. подають результати анкетування краківських студентів щодо їхніх уподобань при виборі способу міжміського переміщення з урахуванням показників відстані, вартості, доступності та показників комфорту. Результати досліджень дають змогу покращити комфорт подорожі автобусом чи поїздом, які здійснюватимуться за адекватну ціну [14].

При вдосконаленні роботи ГТ варто опиратися на потреби користувачів транспортних послуг. Лакатош А. та Мандокі П. пропонували респондентам пройти опитування щодо їх вибору переміщення автобусом чи залізницею (питання відображали реальну дорожню ситуацію). Дослідження було проведено в Угорщині. Результати показали, що найбільший вплив мають показники потреби у переміщенні та його відстань, менше впливає час у дорозі, витрати на поїздки та комфорт. Проте при збільшенні відстані переміщення роль цих показників змінюється. Комфорт пасажира та вартість мають більший вплив на вибір способу переміщення [15].

Білоус А. та Могила І. пропонують функцію корисності, яка використовується для формування моделі попиту для здійснення туристичних поїздок між містами України. Багатовимірний нечіткий аналіз використовується для розробки детермінованих частин функції корисності. Атрибутами зони привабливості були вартість дороги для споживача (відстань, маршрут та якість переміщення) та кількість готельних номерів. Автори у своїй роботі

вдосконалювали модель попиту на туристичні поїздки, об'єднавши модель прямого попиту та модель поведінки користувачів транспортних послуг [16].

Сівільявічус Г. та Маскелюнайте Л. здійснювали оцінки часу, вартості та якості подорожі щодо вибору залізниці як засобу переміщення у випадку наявності альтернатив – автобусного та залізничного транспорту. Автори звертають особливу увагу на показники якості поїздок, але не враховують соціально-демографічні характеристики учасників подорожей [17].

У роботі [18] аналізується визначення поїздок залізничним та автомобільним транспортом у Львові за допомогою мультимодальної логіт-моделі, заснованої на розрахунку корисності вибору. Жук М. та співавтори враховували показники, які впливають на вибір та поведінку користувачів послуг у зоні проектування. Зокрема інтервали руху, тривалість і вартість поїздки. Результатом цього дослідження є визначені характеристики здійснених рейсів з хабовим розподілом.

Привабливість маршруту із формуванням функції проїзду від дому до роботи при користуванні пасажирським транспортом загального користування в Харкові досліджено Давідічем Ю. [19]. Коефіцієнт заповнення салону автобуса, вартість поїздки, тривалість переміщення та кількість пересадок є атрибутами функції корисності. У праці розглядаються поїздки з метою роботи, які, очевидно, є найбільш масовими. Проте для міст зі значною часткою студентів у структурі населення важливим є вивчення особливостей їх поведінки при виборі способу переміщення.

Дослідження, які проводили Куяла Р. та співавтори візуалізують подорожі ГТ як часову відстань та кількість необхідних пересадок при поїздки. Це залежить від того, чи є в користувача послуг графік подорожі і конкретні затрати часу на неї, чи поїздка є спонтанною і має неочікуваний характер [20].

Напевно, кожному з нас, хто користується послугами ГТ, було б зручно вийти з будинку та потрапити одразу на зупинку ГТ. У публікації [21] проведено дослідження, як впливає піша доступність до зупинки на користування ГТ. Визначено, що велика відстань від зупинки часто є однією з причин, що обмежує

більш часте його використання. Також на користування ГТ впливають демографічні характеристики (вік, стать, наявність дитини в сім'ї) та наявність індивідуального автомобіля.

У роботі [22] стверджується, що скупчення потенційних користувачів послуг на зупинках ГТ, а надалі і в самому транспорті, має негативний вплив на попит. Автори вказують, що якщо попит на ГТ оцінюється без явного врахування скупчення людей, то він буде завищеним.

Автори Жук М. та співавтори проводили аналіз оцінки попиту на перевезення пасажирів ГТ. У статті досліджували кількісні значення показників впливу на попит, які показали, що найбільше поїздок здійснюється з метою роботи та навчання. Комфортною вважається поїздка при наповненості рухомого складу не більше 80%, яка здійснюється автобусами великої вмістимості; оптимальна тривалість поїздки 15–45хв [23]. Відтак визначення попиту на послуги з перевезення пасажирів відіграє велику роль у наданні якісних послуг ГТ. Кожне місто, незважаючи на свої розміри, працює над зменшенням кількості поїздок індивідуальними ТЗ. Дослідження цього питання показує, що користувачі транспортних послуг пересядуть на ГТ, якщо зменшаться час добирання до кінцевої точки та фінансові витрати, проте буде забезпечена комфортна поїздка.

Рейдж Ф. вважає, що система ГТ визначається як система, яка служить для задоволення потреб людей у транспорті та задоволення прагнень транспортування окремої людини, сім'ї, громади та бізнесу [24].

Будь-яке сучасне місто, в першу чергу, характеризує його система ГТ. Чим ефективніше, доступніше та злагоженіше організовано рух саме ГТ, тим більша ймовірність, що саме тут збільшуватиметься приріст населення та кількість туристів. Таке місто буде комфортним для життя та виконання щоденних обов'язків [25].

У загальному вигляді транспортну систему (ТС) можна розглядати як сукупність таких елементів [26]:

- інфраструктура (наприклад, мережа доріг);
- система управління (наприклад, правила дорожнього руху);

- сукупність видів транспорту та їх операторів.

Складові подорожі від початку запланованого маршруту до місця призначення при користуванні ГТ наведено на рис. 1.1 [27].

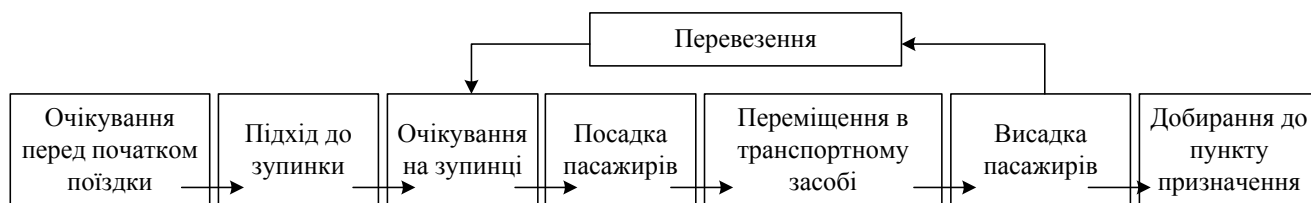


Рис. 1.1. Складові тривалості подорожі пасажирів [27]

У Національній транспортній стратегії України йдеться про те, що транспортна галузь задовільняє перевезення лише за обсягом, проте не за якістю [28]. Через недофінансування, велику кількість пільгових перевезень, неналежне та недостатнє технічне обслуговування транспорту та інфраструктури рівень розвитку транспортної галузі вважається критичним.

У праці [29] автори виділяють такі показники якісного автобусного сполучення: мобільність, доступність, надійність, кількість маршрутів, інтервал руху, час роботи.

Коли йде мова про системи ГТ міст, то ми маємо брати до уваги певні аспекти, а саме: безпеку перевезень, надійність та регулярність, доступність, комфорт, зручність та сталість [30]. Саме комплексне забезпечення збільшує попит на перевезення ГТ.

Тао С. та співавтори, досліджуючи питання лояльності ГТ, мали на меті виявити постійних користувачів транспортних послуг та показники, які на них впливають при здійсненні вибору переміщення. Результати показали, що основний вплив мають саме надійність, комфорт та економія часу. Лояльні користувачі висловлюють занепокоєння щодо екологічної ситуації та вартості переміщення ГТ, що певною мірою стримує їх намір користуватися ГТ. Також ці дослідження показали, що більшість населення, яке обирає систему ГТ, має низький та середній дохід, у той час як ГТ користуються саме люди в достатком вище за середній [31].

Для забезпечення якісного обслуговування Дулеба С. та Мослем С. вважають, що необхідною складовою є думка зацікавлених груп щодо зміни чи покращення якості системи ГТ [32], а Заблодська І., Бузько І. та співавтори вважають, що найнеобхіднішою ланкою якісного функціонування всіх систем є елементи планування [33].

Для збільшення привабливості системи ГТ міста необхідно зменшити використання ІТ, що популяризуватиме економічний ефект від цього і матиме сприятливі наслідки для довкілля, здоров'я, а також інфраструктури міста (рис. 1.2) [34].



Рис. 1.2. Переваги планування попиту на транспорті [34]

Система міського ГТ повинна не тільки чітко працювати, але й охоплювати майже всю територію міста; піша доступність мусить забезпечувати комфортне та недовге добирання до зупинки. Автори [35] виявили залежність, що час ходьби до зупинки найбільше впливає на людей з неповною зайнятістю та високим доходом, а також літніх людей. Найменш важливим цей показник є для студентів, які навчаються та працюють одночасно.

Жердев М. та Мирошніченко Ю. вважають, що основною метою побудови нових систем ГТ є зменшення заторів на дорогах, що знизить вплив на навколишнє середовище. Проте міська територія потребує якісного вдосконалення інфраструктури, яка б надавала пріоритетність руху ГТ [36].

Отже, ефективність роботи системи ГТ залежить від сукупності всіх його елементів. Частота руху ТЗ, зручне добирання до зупинок ГТ, безпека перевезень, доступність, надійність, сталість – все це є гарантією функціонування ТС міст.

1.2. Структура попиту на транспортні послуги з перевезення пасажирів та його вплив на транспортні системи міст

Підвищення якості обслуговування користувачів транспортних послуг є основним показником при визначенні попиту на переміщення. На зміну попиту пасажирів впливають різні показники, які пов'язані між собою. Їх розділяють на об'єктивні та суб'єктивні [37]. До об'єктивних чинників відносять:

- економічні, що обумовлюють економічну стабільність країни (ступінь інфляції), розміщення виробництва і продуктивних сил, розвиток суспільного виробництва в цілому по країні та по окремих галузях (наприклад, розвиток туризму) і фактичний рівень доходів населення;

- соціальні, що включають стабільність соціально-політичного устрою регіонів і країни в цілому, зростання населення, структуру населення за професіями і його розподілом за місцем проживання (у містах і сільській місцевості), зміну в розміщенні населення в часі та просторі, міграцію, розвиток культурно-матеріального рівня життя населення, національні, релігійні, місцеві та традиційні звички (споживчі смаки);

- природні: клімат, кількість опадів, рельєф місцевості, екологічна безпека регіонів та інші.

До суб'єктивних чинників впливу відносять:

- наявність різних видів транспорту, вартість проїзду і рівень якості перевезень, рівень і характер конкуренції на транспортному ринку;

- платоспроможність пасажирів, на яку впливає: ціна (тариф), якість обслуговування пасажирів та різноманітність послуг на конкретному виді транспорту.

Попит на транспортні послуги визначається характером та кількістю просторових зв'язків між тими, хто надає ці послуги, та споживачами. Конкретні потреби в перевезеннях виникають залежно від характеристики розміщення потенційних місць попиту. У більшості випадків для правильної організації цього процесу потрібно проводити натурні дослідження, які вимагають великих затрат часу та коштів [38].

У праці [39] зазначається, що кількість поїздок людей прямо залежить від різних потреб населення з використанням ГТ, а саме: поїздки з дому на навчання/на роботу та назад мають постійний характер і є обов'язковими; крім того, люди можуть їздити з метою відвідування культурних центрів та відпочинку.

Перевезення ГТ можна збільшити, зменшивши вартість проїзду. Півторак Г. та співавтори розглядають показники впливу на попит ГТ. Автори виділяють щільність, доступність пунктів призначення, відстані до центральних ділових районів та демографічні особливості пасажирів. Результати досліджень опубліковано у праці [40].

Для найбільш якісного функціонування системи ГТ Куевас В. та співавтори [41] пропонують комплексну тріступеневу стратегію, яка має на меті збільшити попит на перевезення ГТ (рис. 1.3), а також заходи щодо управління попитом на транспортні послуги (табл. 1.1).



Рис. 1.3. Комплексна тріступенева стратегія управління попитом на перевезення ГТ [41]

Заходи щодо управління попитом на транспорті послуги [41]

Розширення альтернатив для руху ГТ	<ul style="list-style-type: none"> - вдосконалення перевезень ГТ; - вдосконалення велосипедного руху; - програми регулювання мобільності; - виділені смуги для ГТ; - служби прокату автомобілів; - вдосконалення роботи служби таксі; - програма доїзду додому з роботи; - служба прокату велосипедів.
Економічні заходи	<ul style="list-style-type: none"> - платні дороги; - підвищення цін на паркування; - підвищення податку на пальне; - заохочення до транзитного руху.
Політика раціонального використання земельних ресурсів	<ul style="list-style-type: none"> - раціональна забудова; - регулювання паркування; - планування, вільне від автомобілів; - заспокоєння руху; - реформи транспортного планування.
Інші програми	<ul style="list-style-type: none"> - регулювання транспорту в напрямку шкіл та студмістечок; - регулювання вантажних перевезень; - регулювання туристичних перевезень.

Надмірна наповненість, відсутність комфорту в ГТ, не завжди виправдана висока вартість проїзду спонукає користувачів послуг шукати альтернативні способи переміщення. Таким чином, все більшої популярності набуває концепція мобільності, яка пропонує транспортування пасажирів від дверей до дверей, при цьому немає необхідності мати індивідуальний автомобіль [41].

Важливим аспектом при здійсненні пасажирських перевезень є забезпечення комфортної та швидкої поїздки. Автори [42] враховують у своїх дослідженнях продуктивність перевезень та місткість салону автобуса. Комаргіані М. та Лі В. пропонують замінити жорсткий розклад на адаптивний, опираючись на попит під час перевезень, що, згідно з дослідженнями, суттєво знижує витрати на обслуговування [42].

Підвищення ефективності функціонування логістичної системи ГТ – завдання, яке є основним, на сьогоднішній день. Крихтіна Ю. вважає, що розвиток

ТС в цілому визначає якість життя міського населення. Отже, якщо орієнтуватись на задоволення потреб саме користувача послуг, то попит на перевезення пасажирів зростатиме [43].

Якщо говорити про вартість поїздок ГТ та її вплив на попит, то дослідження, які проводилися в цій сфері, показали негативну кореляцію (вища ціна проїзду – менший попит на перевезення, і навпаки, нижча вартість проїзду сприяє збільшенню перевезень). Це стосувалося не тільки людей з низьким доходом, але і вищого соціального класу [44]. Автори [45], досліджуючи вплив вартості на попит користування ГТ, виявили, що в міських системах зниження цін не мало суттєвого значення на користування ГТ.

Поїздки також класифікуються за метою: робочі, навчальні та за покупками тощо [46, 47].

Різні автори у своїх дослідженнях подають свої заходи щодо удосконалення послуг на перевезення ГТ:

- зміна протяжності маршрутів (збільшення відстані проїзду тягне за собою збільшення кількості пасажирів) [48];
- надійний, комфортний, зручний ТЗ [48, 48];
- забезпечення додаткових переваг порівняно з використанням індивідуального автомобіля (менша вартість та час проїзду) [48,49];
- зміна часу роботи та інтенсивності руху ТЗ на маршрутах [48,49];
- інформаційне забезпечення користувачів транспортних послуг, обладнані зупинки [50];
- влаштування вузлів пересадок з одного ТЗ на інший (за ті самі гроші) [48,51];
- організація безпечних перевезень на законодавчому рівні [58].

Автори Кузькін О., Башинська І. та співавтори вважають, що проведення та аналіз досліджень сприйняття послуг на користувача, а в подальшій роботі і врахування думки респондентів матиме найбільший ефект на прийняття управлінських рішень. Для вдалого забезпечення функціонування вищенаведених

заходів щодо вдосконалення ММ, необхідно проаналізувати їх за допомогою методів експертної оцінки [52].

Робота ГТ значною мірою залежить від якості надання послуг. Ця тема активно досліджувалася різними вченими у різних країнах світу. У таблиці 1.2. наведено результати щодо досліджень важливості окремих компонентів показників якості обслуговування ГТ на основі опитування населення в різних країнах. Дані систематизовано Жуком М. та Півторак Г. у роботі [53].

Таблиця 1.2

**Важливість окремих компонентів показника якості транспортних послуг
(аналіз літературних джерел) [53]**

Літера- тура	Місцезна- ходження	Обсяг вибірки	Показники якості ГТ		
			найважливіше	середньої важливості	найменш важливе
Інгвардсон Д. Б. та інше	Німеччина	>3000	Час в дорозі, зручність пересадок	Вартість проїзду, час очікування	Час затримки, доступу та виходу
Танко М. та інші	Гранада (Іспанія)	858	Частота, швидкість, інформатив- ність, пунктуальність	Безпека, час доступу та виходу	Чистота
Баррос дон Сантос Ю. та інші	Мадрид (Іспанія)	293+ 520	Частота, безпека, пунктуальність	Час у дорозі, інформація, комфорт і доступ до вільних місць, мережа, час доступу та вихід	Чистота, безпека, ввічливість водіїв, мережа, комфорт,
Біраго Д. та інші	Стокгольм (Швеція)	Опиту- вання задово- леності клієнтів 2008– 2016	Періодичність, надійність	Скупченість, люб'язність водіїв	Чистота, інформація
Мугіон Р. та інші	Стокгольм (Швеція)	859	Чистота, частота, пунктуальність, надійність	Інформація, комфорт і доступ до вільних місць	Можливість працювати під час подорожі

Продовження табл. 1.1.

Літера-тура	Місцезна-ходження	Обсяг вибірки	Показники якості ГТ		
			найважливіше	середньої важливості	найменш важливе
Круз І.С. та інші	Ітажуба (Бразилія)	220	Безпека, ввічливість водіїв, пунктуальність, адаптація автомобіля для людей з особливими потребами	Вартість проїзду, чистота, інформація, умови очікування, комфорт	Час у дорозі, вік автомобіля, інтермодальність
Мослем С. та інші	Аккра (Гана)	134	Час у дорозі, скупченість, комфорт і доступність вільних місць, пунктуальність	Легкість перенесення	Безпека, збереження багажу
Янг І. та інші	Амман (Йорданія)	210	Безпека, комфорт і доступ до вільних місць	Вартість подорожі, час у дорозі, швидкість, надійність, прямота	Інформація
Дел Оліо Л.	Шеньян (Китай)	424	Чистота, легкість пересадки, швидкість, безпека, скупченість, комфорт і доступ до вільних місць, пунктуальність, умови очікування	Інформація, люб'язність водіїв	Температура в салоні ТЗ

Під час проведення літературного аналізу було виявлено, що для мешканців різних країн важливими є різні показники якості. Для одних респондентів важливими будуть чистота в салоні ТЗ та безпека, інші респонденти надаватимуть цим показникам менше значення.

Іншою ознакою попиту можуть бути такі характеристики користувачів: їх зайнятість, рівень доходу або наявність водійських прав. Група користувачів з однаковими соціально-економічними характеристиками називається сегментом ринку [54].

Відтак, аналізуючи дослідження різних авторів, можемо зазначити, що найбільший вплив на користувачів транспортних послуг при виборі способу переміщення мають такі показники: частота й регулярність руху, вартість, безпека та інформація, яку користувач може отримати про поїздку.

1.3. Транспортно – пересадкові вузли в міській мережі

Транспортно-пересадкові вузли (ТПВ) є важливим елементом міської ТС, місцем взаємодії міського та позаміського транспорту [55]. Вивчення характеристик розподілу пасажирів між зонами ТПВ, а також визначення виду переміщень, яким користуються пасажирів при русі в напрямках «місто-ТПВ» та «ТПВ-місто», дозволить оптимізувати пропускну здатність вузла, покращити рівень обслуговування пасажирів та функціонування ТС міста загалом. Організація роботи ТПВ в межах міста відбувається у взаємозв'язку з діяльністю всієї міської ТС. Виділяють два рівні цього процесу: організація пасажиропотоків, що в'їжджають в місто, та розподіл цих потоків міською територією [56].

У праці [57] автори на основі проведеного аналізу виділяють такі основні параметри пересадок, які впливають на сприйняття їх пасажирями:

- наявність та повнота інформації щодо пересадки (карти маршрутів, розклади, інтерактивні табло на зупинках з інформацією щодо прибуття ТЗ у режимі реального часу);
- безпека (погане освітлення на зупинці чи небезпечний, на думку пасажирів, район, в якому зупинка розташована, суттєво зменшують ймовірність використання її як ТПВ);
- невизначеність (користувач транспортних послуг має бути достатньо впевненим, що він вчасно прибуде до місця призначення);

- частота (частота руху ТЗ на маршрутах є визначальним показником впливу на тривалість очікування пересадки);
- надійність (точність дотримання розкладів);
- облаштування зупинки (наявність захисту від опадів, місць для сидіння, ескалаторів);
- спосіб пересадки (на зупинці висадки чи з переходом на іншу зупинку; наявність інтегрованих систем продажу квитків);
- наявність вільних місць чи рівень заповненості ТЗ, на який здійснюється пересадка.

В іншій праці виділяють три групи чинників, які впливають на бажання пасажирів робити пересадку: політичні, психологічні та операційні [58].

Психологічні чинники напряду залежать від особистих характеристик користувача транспортних послуг: віку, статі, наявності дітей чи багажу, мети поїздки, розташування станції [59]

До операційних чинників, які впливають на сприйняття пересадки пасажирів, відносяться [59]:

- довжина поїздки;
- час виконання поїздки (період доби);
- поєднання режимів переміщення (автобус-автобус, автобус-залізниця);
- відстань пішого переходу при пересадці;
- тривалість очікування пересадки;
- умови виконання пересадки.

Ці компоненти потрібно розглядати комплексно, незважаючи на те, що проектування ТПВ та розробка його дизайну, складання маршрутної мережі та розкладів чи формування системи обслуговування пасажирів, що очікують пересадку, зазвичай відрізняються за відповідальними виконавцями цих рішень, а також за масштабами інвестицій. Відсутність контролю чи наявність проблем в диспетчерському управлінні можуть бути причиною надто малої чи великої тривалості пересадки. Кожен з цих випадків негативно сприймається пасажирів [60].

Ганзер У. та інші автори виділяють 3 групи показників, які впливають на можливість пересадки, а саме: витрата часу, зручність поїздки та фінансові затрати. Зазначається, що користувач послуг буде порівнювати саме ці показники для вибору і шукати потрібну йому альтернативу [61].

Методологія визначення значущих для маршрутної мережі ТПВ, яку пропонують автори [69], використовуючи показники топографії мереж, дає можливість визначити найбільш завантажені зупинки. Проте запропонована методика вимагає матриці даних про пересадки пасажирів.

Моделювання, проведені з використанням теорії кумулятивної перспективи та нечіткої логіки, виявили вплив між прогнозованістю тривалості очікування пересадки та її сприйняттям пасажиром [62]. Для пересадок тривалістю до 5 хв точний час очікування не був особливо важливим, проте для більш тривалих пересадок спостерігалася значна кореляція між поінформованістю пасажирів щодо точного часу очікування та позитивним сприйняттям пересадки.

У роботі [63] автор моделює можливість виконання пересадки на зупинці ГТ, на якій перетинаються два маршрути, шляхом порівняння середніх та максимальних значень обсягів відправлень із зупинки. Можливість пересадки визначається за критеріями:

- середня кількість відправок із зупинки є меншою за максимальну кількість відправок;
- середня кількість прибуттів на зупинку є меншою за максимальну кількість прибуттів.

Дослідження авторів [64] стосувалися пересадок з різних видів ГТ (автобус, трамвай, метро) на поїзд, а також між поїздами. Функцію корисності переміщення трансформовано в час поїздки і визначено залежність між загальною величиною корисності та тривалістю пересадки. Загалом оптимальним часом пересадки є 8 хв. Як менша, так і більша тривалість збільшує некорисність переміщення.

У роботі [65] автори розділяють переміщення користувачів транспортного вузла на макроскопічні (характеризують рух всіх пасажирів) та мікроскопічні (характеризують рух окремих пасажирів). Проте, як наголошують автори, жодна з

цих моделей не може точно передбачити, як вестиме себе клієнт щодо вибору транспорту.

Дослідження авторів [66] показали, що при формуванні маршрутів та зупинок необхідно звертати увагу на геоінформаційні технології. Саме вони допомагають врахувати просторові дані та відображати їх. Також автори зазначили, що ця система дає змогу корегувати рух вже існуючих маршрутів відповідно до потреб користувачів, а також створювати, за потреби, нові маршрути.

У публікації [67] автори досліджують вплив корекції руху ТЗ ГТ на маршрутах для покращення синхронізації прибуття цих ТЗ у пункти пересадки. Результати експериментального моделювання авторів підтверджують, що таке керування в режимі реального часу сприяє кількості успішних пересадок і скорочує тривалість переміщення пасажирів.

Нейронні мережі застосовуються для прогнозування пасажиропотоку в залізничному вузлі (на прикладі залізничної станції в Пекіні) у праці [68]. У дослідженні враховуються такі чинники: погодні умови, наявність свят, а також коефіцієнти нерівномірності пасажиропотоку протягом дня, визначені на основі даних попередніх періодів.

Автори [69] досліджували переміщення пішохідних потоків в межах ТПВ для визначення «вузьких» місць, де виникають найбільші затримки, з використанням аналітичного та імітаційного моделювання (у програмному середовищі PTV Vissim/Viswalk). Таке моделювання доцільно застосовувати при оцінці функціонування ММ, зокрема новопроекттованих чи реконструйованих ТПВ.

Дослідженням часових показників функціонування ТПВ займалися і науковці у праці [70, 71]. На основі даних опитувань щодо тривалості та умов очікування пасажирами пересадки у ТПВ формуються рекомендації щодо планування та розмірів зон очікування пасажирів з урахуванням структури пасажиропотоку в цих зонах та пропонується методика розрахунку мінімальної тривалості пересадки [72].

ТПВ мають значний вплив на функціонування ТС міста. Після проведеного вище аналізу публікацій варто зазначити, що цьому питанню приділено недостатньо уваги, оскільки пересадка є необхідністю (проектування ММ не може забезпечити безпересадковий проїзд у всі його частини).

1.4. Висновки до розділу

1. Формування попиту на пасажирські перевезення спричинене планувальними характеристиками міста, економічним станом його мешканців, привабливістю ГТ та якістю транспортних послуг. Прогнозування попиту на перевезення пасажирів відіграє велику роль у наданні якісних послуг ГТ. Користувачі транспортних послуг нададуть перевагу ГТ за умови, що час добирання до кінцевої точки та фінансові витрати зменшаться.

2. Проведений аналіз наукових праць демонструє, що дослідники виділяють різні показники якісного функціонування системи ГТ, а саме: інтервал руху, час роботи на маршруті, доступність, надійність, мобільність, комфорт та зручність. Проте питання щодо врахування впливу поведінки користувачів ГТ на формування попиту на переміщення висвітлено не повною мірою.

3. Визначення ТПВ є важливим елементом у структурі попиту на переміщення в ММ. У них відбувається пересадка між міськими, приміськими та міжміськими маршрутами. Деякі автори пропонують здійснювати синхронізацію між маршрутами для збільшення попиту на переміщення у ТПВ.

4. Якість обслуговування користувачів ГТ суттєво впливає на попит на переміщення. Проте при визначенні цього показника необхідно врахувати поведінку користувачів транспортних послуг. Структура попиту на переміщення в ММ складається з поїздок, пересадок на транспортних зупинках та пересадок у ТПВ. Якість надання транспортних послуг та поведінка користувачів ГТ мають важливе значення при прогнозуванні попиту на переміщення в ММ.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ПОПИТУ НА ТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ З ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ

2.1. Методи оцінки попиту на пасажирські перевезення у містах

Постійне збільшення темпів використання ІТ в різних країнах призводить до зменшення комфорту користувача транспортних послуг, збільшення екологічних проблем, надмірного споживання природних викопних та енергетичних ресурсів [73].

Оскільки процес інтеграції ГТ потребує детального аналізу, Носаль К. та Солецька К. пропонують використовувати метод багатокритеріальної оцінки прийняття рішень [74]. На сьогоднішній день розробляють багато варіантів інтеграції ГТ, проте важко визначити найкращий варіант, який принесе найбільшу вигоду перевізникам, владі та користувачам транспортних послуг. Оцінка варіантів за методом багатокритеріальної оцінки допоможе вибрати найоптимальніший варіант для користувачів та надавачів послуг. Ця методика прийняття рішень може включати проблему вибору щодо прийняття рішення (або є її підмножиною), проблему класифікації (сортування) та проблему ранжування.

Щоб вибрати найкраще рішення, пропонується використовувати комплексну методологію, яка складається з 5 етапів:

- етап 1: діагностика та оцінка поточного стану системи ГТ;
- етап 2: формулювання концепції оцінки як багатокритеріальної задачі ранжування заданих варіантів;
- етап 3: огляд та оцінка методів багатокритеріального ранжування заданих варіантів;
- етап 4: проведення обчислювальних експериментів з використанням обраних методів ранжування варіантів;
- етап 5: підведення підсумків обчислювальних експериментів.

У роботі [75] цей метод запропонований для міста Кракова (Польща) і базується на ранжуванні варіантів інтеграції від найкращого до найгіршого на основі критерію часу поїздки, індексу використання рухомого складу, надійності, безпеки, рентабельності перевезень, інвестиційних витрат.

Автори [76] пропонують методологію на основі концепції індексу стійкості для оцінки рівнів інтеграції між двома видами ГТ (метро та автобусні перевезення). У статті проводився аналіз поточної системи оплати проїзду, зручних пересадок та інтервалів руху транспорту для міст Індії.

У праці [77] розглядається підхід для вимірювання відносної пропозиції транзиту для населення на основі кривих Лоренца. Цей підхід є поширеним графічним представленням кривої АВС аналізу. Алгоритм цього методу можна представити пунктами:

- 1) мета аналізу;
- 2) ідентифікація об'єктів керування;
- 3) виділення основних ознак, за якими буде проводитися класифікація;
- 4) оцінка об'єктів керування за класифікацією;
- 5) об'єднання в групи (в порядку зменшення ознаки);
- 6) побудова кривої Лоренца.

Після побудови кривої Лоренца проводиться її аналіз. Чим більше відхилення від кривої рівності, тим більш нерівномірний розподіл показників за даним методом.

Автори Дельбокс А. та Каррі Г. розглядають новий підхід оцінки надання послуг із використанням кривих Лоренца для вимірювання відносної пропозиції переміщення населення. Метод базується на порівнянні розподілу ГТ відповідно до соціального статусу та зайнятості пасажирів в Мельбурні (Австралія).

Ще один новий підхід до оцінки доступності ГТ щодо задоволення окремих потреб людей із особливими транспортними потребами розглядається у праці [78]. За допомогою моделі ГТ визначається доступність для окремих груп населення та потреба в наданні конкретних послуг на основі методу вимірювання просторового розподілу потреб у ГТ та якості надання цих послуг.

Жоховська Р., Клос М. та їх співавтори представляють метод оцінки доступності послуг ГТ за допомогою просторово-часового аналізу. У цій роботі запропоновано розділити територію міста на окремі зони і окремо оцінювати рівень послуг у кожній з них. Аналіз результатів зможе вказати на території, де варто було б покращити поточну систему ГТ [79].

Для вибору автобусних маршрутів (на прикладі міста Гдиня, Польща) автори [80] пропонують методи багатокритеріального аналізу. Користувачам послуг пропонується приймати рішення, беручи до уваги та аналізуючи соціальні, економічні, екологічні та технологічні аспекти. На основі аналізу пропонується оптимальний сценарій поїздки, який здійснюється на початковому етапі – прийняття рішення щодо вибору маршруту.

У праці [81] аналізується триетапний метод на основі транзитно-орієнтованого розвитку, який застосовується до цілей планування сталого розвитку. Тут автори розробляють вимірювальний індекс для оцінки інфраструктури, далі будується модель і на останньому етапі проводиться аналіз.

У праці [82] проводилося дослідження щодо готовності пасажирів міста Рим (Італія) виконувати тільки необхідні поїздки (наприклад, додому або на роботу) методом краудшипінгу, таким чином уникаючи додаткових поїздок. Метод базується на визначенні пріоритетних поїздок, які є необхідними; всі інші (додаткові) поїздки визнаються з точки зору економічних та екологічних впливів.

Організація перевезень ГТ потребує оптимізації багатьох параметрів. Автори [83] вважають, що найважливішим є інтервал руху. Цей показник супроводжується привабливістю маршруту, попитом на нього через пасажиропотік методом оцінки ефективності інтервалів, що має на мені оптимізувати параметри часу відповідно до пасажиропотоку.

Робота ГТ залежить від рівня обслуговування. У статті [84] аналізуються методи використання концепції рівнів задоволеності користувачів та їх зон терпимості, щоб визначити необхідність надання послуг у місті Колката (Індія). За допомогою цього визначення постачальники послуг розглядають покращення рівня обслуговування.

Коли йде мова про визначення пасажиропотоків на маршрутах чи на зупинках ГТ, то варто застосовувати метод натурних досліджень. Цей метод є трудомістким, бо потребує великої затрати часу на самі дослідження та їх опрацювання. Збір даних проводять обліковці, які здійснюють розрахунок за допомогою натурних обстежень на маршрутах чи зупинках ГТ [85]. Під час натурних досліджень безпосередньо фіксуються показники в конкретний момент. Цей метод є найбільш достовірним, оскільки дозволяє оцінити наявний пасажиропотік.

Для визначення оцінки впливу різних показників на користувача послуг варто застосовувати метод соціологічних досліджень. Сюди входить аналіз документів, анкетування або опитування та експеримент [86]. Анкетування використовується, коли є необхідність отримати найбільш точну інформацію від певної кількості респондентів. Варто зазначити, що при застосуванні цього методу можна проаналізувати та отримати всю необхідну інформацію, яка стосується досліджуваного питання, від імені респондента. Цей метод відрізняється від інших простотою виконання та універсальністю. Може застосовуватися як для роботи з невеликими групами опитаних, так і для аналізу великомасштабних досліджень. Зі збільшенням кількості респондентів збільшується величина вибірки, а точність результатів зростає. Анкетування можна проводити декількома способами: за допомогою письмової анкети та онлайн-сервісів. При здійсненні анкетування онлайн система видає вже опрацьовані дані. На етапі розроблення анкети необхідно, щоб зберігалася певна структура: вступ (вказується, хто і для чого проводить опитування), блок питань (формується питання про самого респондента, а також про дослідження, яке проводиться) та завершальна частина (подяка респонденту за час, який він витратив). У блоках питань можуть бути основні запитання, на які давати відповідь треба обов'язково, або ж неосновні, де респондент сам вирішує, чи хоче він відповідати. Загалом метод анкетування широко застосовується у всіх сферах.

Відтак при визначенні попиту автори пропонують різні методи оцінки. Зокрема автори виділяють метод натурних досліджень, метод анкетного аналізу,

моделювання пасажирських потоків, багатокритеріальної допомоги в прийнятті рішень, метод оцінки доступності послуг, метод краудшипінгу та інші. Визначення пасажиропотоку будь-яким з методів дає змогу з більшою точністю оцінити попит на перевезення ГТ.

2.2. Моделі задач про потоки в міській маршрутній мережі

Попит на послуги в складних транспортно-логістичних системах, до яких відноситься система ГТ, характеризується невизначеністю, пов'язаною з неповною або нечіткою інформацією про функціонування окремих елементів системи та впливом людського фактору. Для рішень, пов'язаних із прогнозуванням чи оптимізацією таких систем, доцільно застосовувати методи системного аналізу та теорії прийняття рішень.

Байєсівські мережі з прихованими змінними є одним із високоефективних методів системного підходу до вирішення слабкоструктурованих задач. Вони можуть на основі неповних даних знайти причинно-наслідкові зв'язки між параметрами та отримати на виході адекватну ймовірну прогностичну модель [87].

Байєсівські мережі – це представлення системи ймовірнісних процесів у вигляді графа, де вузли є випадковими величинами, а ребра – наявністю зв'язків між вузлами (тобто вплив одних змінних на інші). Кожному вузлу мережі присвоюється таблиця умовних або безумовних (для незалежних змінних) ймовірностей [88]. Перевагою при використанні Байєсівської мережі є можливість використання різних типів вхідних даних (наприклад, статистична інформація та змінні різних типів (неперервних або дискретних)).

При прогнозуванні попиту на перевезення в системі ГТ проблематично врахувати ймовірність пересадки пасажирів на зупинці. Пересадка є одним з елементів структури вартості часу в дорозі (поряд з тривалою дорогою, підходом і часом очікування). Ці витрати характеризують рівень транспортної доступності як одного з основних критеріїв якості міського транспортного середовища [89].

Мінімізація часу очікування трансферу шляхом синхронізації роботи ГТ та моніторингу його роботи в режимі реального часу дозволяє досягти належного рівня якості обслуговування пасажирів. Методика визначення Байєсівських мереж наведена авторами Бідюк П. та Коршевніук Л. [90].

Аналіз Байєсівської мережі починається з моделі логістичної регресії [90]:

$$P(s|pa, \theta) = g((2s-1) \sum_j \theta_j x_j), \quad (2.1)$$

де $g(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$ – логістична функція,

s – двійкова змінна відповіді,

$pa = \{x_1, \dots, x_n\}$ – набір пояснювальних змінних;

θ – невизначене значення параметру, представлене Гауссовим розподілом (з можливою повною коваріацією системи).

Відповідно до попередньої формули прогнозний розподіл матиме вигляд [90]:

$$P(s|pa) = \int (s|pa, \theta) P(\theta) d\theta. \quad (2.2)$$

Модель із трьома параметрами – традиційна логістична крива, яка використовується для моделювання різних типів даних, і її також можна розпізнати як функцію, яка використовується для активації вихідного рівня класифікатора двійкової нейронної мережі.

П'ятипараметрична модель – логістична модель, яка фактично є різницею двох логістичних кривих, кожна зі спільною верхньою межею, але різними характеристиками середньої точки та швидкості. Дані моделюються за допомогою логістичного рівняння з п'ятьма параметрами. До кожної симуляції ($n=20$) додавався випадковий шум, щоб створити ієрархічну структуру даних.

Теорема Байєса та формування висновку на її основі дозволяє визначити імовірність одночасної появи двох незалежних подій D і S та визначається за виразом [90]:

$$p(D, S) = p(D) p(S). \quad (2.3)$$

Якщо події D і S є залежними, то поява однієї з них дає певну інформацію про можливість настання іншої та є рівною ймовірності настання події S за умови, що подія D відбулася.

Враховуючи комутативність виразу (2.3), теорему Байєса можна записати [90]:

$$p(D,S) = p(S)p(D|S) = p(D)p(S|D).$$

Звідси маємо просту форму теорему Байєса [90]:

$$p(D|S) = \frac{p(D)p(S|D)}{p(S)}. \quad (2.4)$$

Модель Байєса можна аналізувати як вираз, який поєднує «апріорну» та «правдоподібну» (з літератури дослівно) інформацію та має вигляд [90]:

$$p(D|S) = \alpha p(D)p(S|D), \quad (2.5)$$

де $\alpha = 1/p(S)$ – нормуюча стала.

Отже, $p(D)$ можна розглядати як апріорну інформацію, бо вона була відома перед отриманням вимірів; $p(S|D)$ – правдоподібна інформація, яку ми отримуємо в результаті аналізу вимірювання. У деяких випадках ми можемо обчислити попередні ймовірності на основі статистичних даних. Однак це не можна зробити в кожному випадку через суб'єктивні труднощі отримання статистичних даних, але попередні значення можуть бути представлені в інших формах.

Розглянемо випадок, коли дані про проблему можна переглянути з кількох джерел. Тепер теорема Байєса має такий вигляд [96]:

$$p(D|S_1, S_2, \dots, S_n) = \frac{p(D)p(S_1, S_2, \dots, S_n|D)}{p(S_1, S_2, \dots, S_n)}. \quad (2.6)$$

У цьому випадку виникає проблема оцінювання умовної ймовірності $p(S_1, S_2, \dots, S_n|D)$ при великих значеннях n . Однак якщо припустити незалежність подій $S_i, i=1, \dots, n$ при відомому D , то отримаємо новий вигляд рівності [90]:

$$p(S_1, S_2, \dots, S_n|D) = p(S_1|D) p(S_2|D) \dots p(S_n|D). \quad (2.7)$$

У результаті подальшого вдосконалення рівності можна позбутися знаменника $p(S_1, S_2, \dots, S_n)$, що спрощує задачу формування висновку. Таким чином, отримуємо рівняння для формування висновку за теоремою Байєса [90]:

$$p(D|S_1, S_2, \dots, S_n) = \alpha p(D) p(S_1|D) p(S_2|D), \dots, p(S_n|D). \quad (2.8)$$

Це рівняння можна представити графічно, як показано на рис. 2.1. На графіку змінні представлені кругами, а стрілками вказано ймовірний зв'язок між незалежними та залежними змінними.

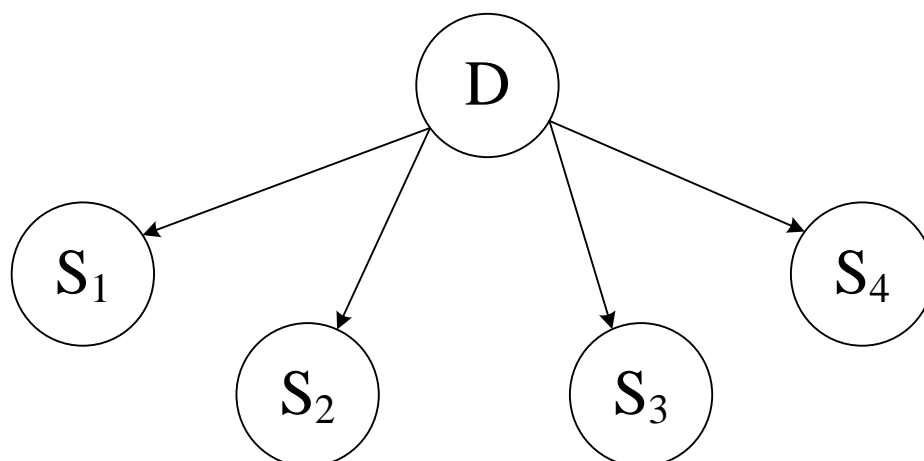


Рис. 2.1. Проста мережа Байєса [90]

Розглянемо складнішу мережу, зображену на рис. 2.2. Ця структура представляє кращу модель процесу визначення показників, оскільки вона містить новий вузол ММ. Тепер ММ можна розглядати як загальну причину введення показників S – можливість пересадки і D – переваги від здійсненої пересадки, що дозволяє не розглядати проблему їх можливої залежності.

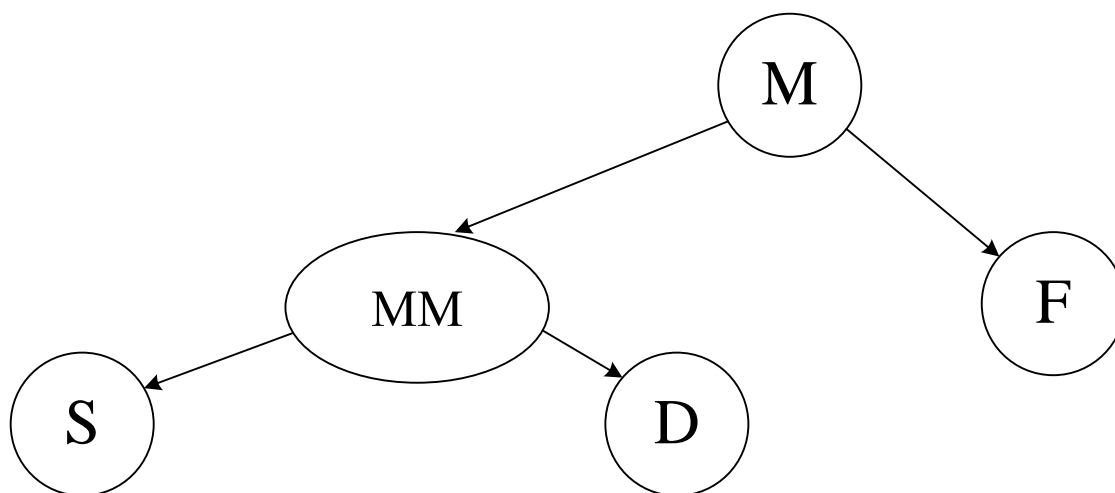


Рис. 2.2. Дерево прийняття рішень Байєса [90]

На рис. 2.2 вузли M і MM мають матрицю зв'язку $P(MM|M)$; вузли M і F – матриця $P(F|M)$; вузли кола D є матрицею $P(D|MM)$; вузли від кола S є матрицею $(S|MM)$. Необхідно визначити число станів для нового вузла. У найпростішому випадку це дихотомічна змінна з двома станами, але в цьому випадку таких станів краще ввести три: $o_1 =$ «напевно, це не шуканий показник MM », $o_2 =$ «це може бути шуканий показник MM » і $o_3 =$ «ймовірно, це шуканий показник MM ». Значення елементів матриці зв'язків можна визначити з експериментальних даних, але в цьому випадку необхідно отримати експертну оцінку про значення нетермінального вузла O і вузла M , для яких формується гіпотеза.

Під час візуалізації Байєсівських мереж потрібно заповнити типи змінних, включених до мережі. Якщо мережа складається тільки з дискретних змінних, вона називається дискретною, якщо вона складається з неперервних змінних, вона називається безперервною, а якщо обидва типи змінних об'єднані в одній мережі, вона називається гібридною.

Гібридні Байєсівські мережі мають певні обмеження [91]:

- дискретні змінні не можуть залежати від безперервних змінних;
- безперервні змінні повинні розподілятися за нормальним законом.

Для безперервних змінних будуть розраховуватися математичні сподівання та дисперсії, а для дискретних – ймовірність виникнення певної ситуації (сума ймовірностей повинна дорівнювати одиниці).

Для визначення ймовірності пересадки автори [92] пропонують саме Байєсівську модель. Вчені надають гібридну мережу Байєса (рис. 2.3) для визначення ймовірності пересадки на зупинках ГТ. Тут прибуття нового маршруту і комбінована зупинка є дискретними подіями, тоді як кількість висадок і кількість пересадок є безперервними.

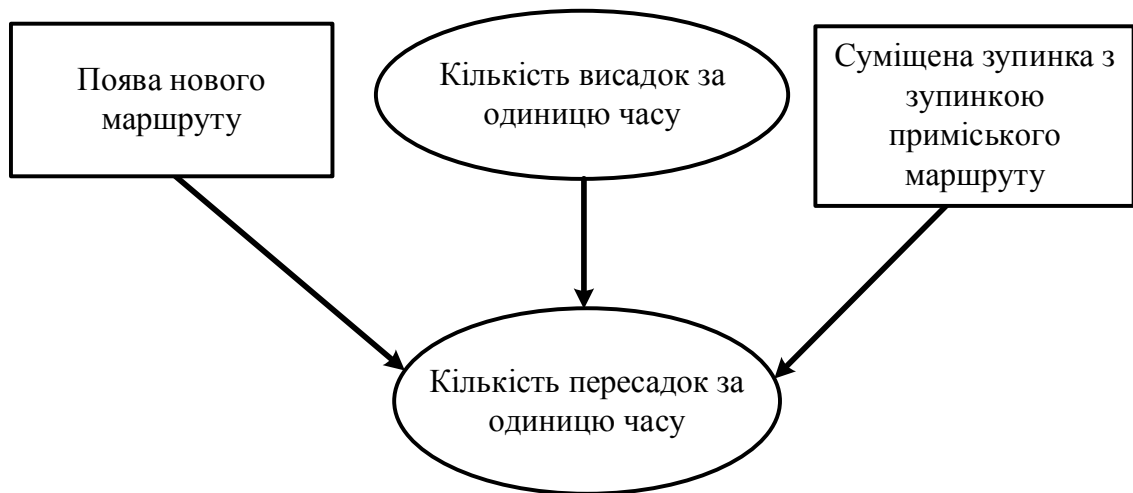


Рис. 2.3. Гібридна мережа Байєса [92]

Дискретні вершини «поява нового маршруту» і «наявність приміського маршруту на зупинці» характеризуються двома можливими станами кожної.

Безперервна випадкова величина «кількість зупинок на зупинці за одиницю часу» має безперервний нормальний розподіл із сподіванням і дисперсією.

Вплив параметрів на результат безперервної випадковості значення «кількість пересадок на зупинку за одиницю часу» оцінюється за допомогою вагових коефіцієнтів.

Розрахункові характеристики результуючої величини можна розрахувати за формулами 2.9 – 2.10 [91]:

$$\mu_y = \sum_{i=1}^2 p_{x1i} \cdot \sum_{i=1}^2 p_{x2i} (\mu_x + k_1 \cdot \mu_z), \quad (2.9)$$

$$\sigma_y = \sum_{i=1}^2 p_{x1i} \cdot \sum_{i=1}^2 p_{x2i} ((\mu_x + k_1 \cdot \mu_z)^2 + \sigma_x + k_1^2 \cdot \sigma_z) - \mu_y^2. \quad (2.10)$$

Ймовірність настання події «пересадка» становитиме [91]:

$$P(X | Y = y, Z = z) = N\left(\mu_x(\mu_y, \mu_z), \sqrt{\sigma_x(\sqrt{\sigma_y})}\right). \quad (2.11)$$

Щоб визначити вагові коефіцієнти, необхідно мати велику вибірку даних. Проведення натурних досліджень та анкетних опитувань для збору необхідної інформації надає можливість отримати дані, які важко доступні через воєнний стан та обмеження пов'язані з пандемією в Україні. Тому моделювання з

наступною перевіркою результатів у вибраних контрольних точках на адекватність може допомогти отримати достовірний обсяг інформації.

Отже, проаналізовано просту мережу Байєса, дерево прийняття рішень та гібридну модель Байєса для визначення ймовірностей пересадок. Ці моделі дозволять визначити ймовірність пересадки на зупинці, використовуючи додаткові показники, які мають на неї безпосередній вплив.

2.3. Використання 4-етапної моделі транспортного планування для визначення попиту на переміщення

Прогнозування попиту на пасажирські перевезення є важливим елементом при формуванні та побудові маршрутів ММ. 4-етапна модель транспортного планування найкраще, на думку Годмаре С. та Ядав Г., відображає таке прогнозування. При цьому автори посилаються на такі етапи: генерування, розподіл, призначення та вибір режиму поїздки. Проте ці моделі не враховують показники, пов'язані з рішеннями людей, відтак працюють на основі нечіткої логіки. Формульний апарат моделі відображено у праці [93].

Модель попиту має вигляд [93]:

$$d_{od}^i[s, m, h, k] = d(SE, T). \quad (2.12)$$

Для визначення моделі попиту потрібні певні показники, визначені під час поїздки:

- i – група користувача транспортних послуг (з урахуванням соціально-економічних показників);
- s – основне завдання поїздки;
- h – час здійснення поїздки;
- o, d – початкові та кінцеві пункти поїздки;
- m – режим руху, який буде використано під час здійснення поїздки;
- k – маршрут, за яким буде здійснюватися поїздка від початкового (o) до кінцевого (d) пункту режимом (m) для надання послуги.

Для детальнішого вигляду моделі добутки варто «розділити», тоді модель набуде вигляду [93]:

$$d_{od}^i[s, h, m, k] = d[sh](SE, T) \cdot p^i[m/osh](SE, T) \times p^i[d/osh](SE, T) \cdot p^i[k/oshdm](SE, T), \quad (2.13)$$

де $d[sh](SE, T)$ – модель генерування поїздки;

$p^i[m/osh](SE, T)$ – модель вибору поїздки;

$p^i[d/osh](SE, T)$ – модель розподілу поїздки;

$p^i[k/oshdm]$ – модель призначення поїздки або вибору маршруту.

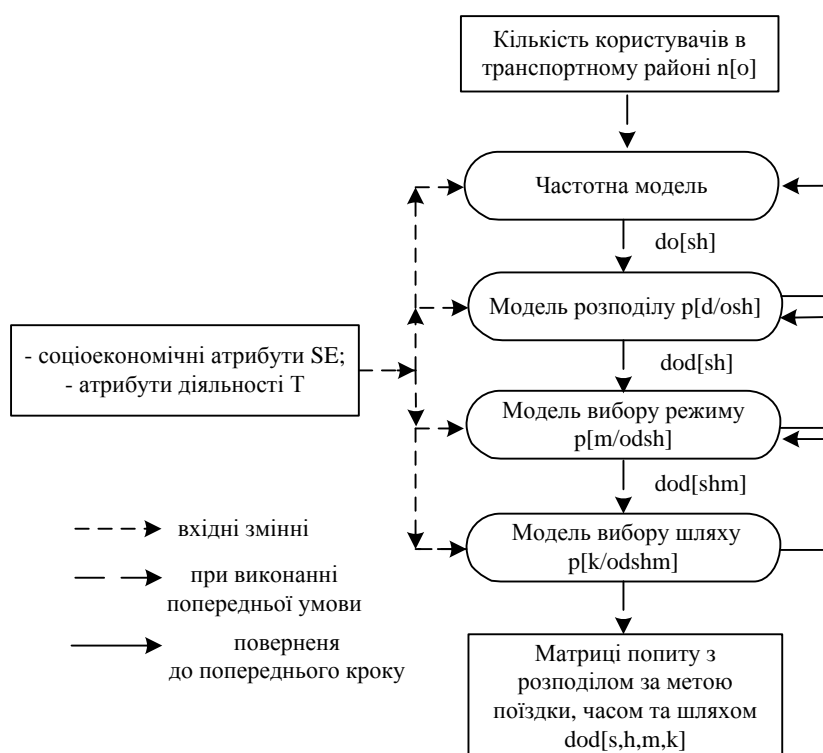


Рис. 2.4. Схема 4-етапної моделі транспортного планування [94]

Модель генерування поїздки (рис. 2.4) має на меті оцінити загальну кількість поїздок, зроблених користувачами певного класу з конкретною метою за заданий час із зони транспортування.

На етапі формування поїздки оцінюються характеристики ТР як відправної точки для її здійснення. Загалом кожна транспортна станція служить пунктом відправлення та прибуття. Мешканці району – резиденти, а особи, що здійснюють свою поїздку з метою роботи чи навчання – нерезиденти. Поїздки резидентів

певного району вважаються генерованими, а поїздки нерезидентів – притягнутими. Цей розподіл можна пояснити тим, що статистичні дані про жителів районів більш стабільні, їх легше отримати і, відповідно, попит на поїздки з боку жителів легше передбачити.

Найбільш поширеною моделлю генерації поїздок є модель багатофакторного аналізу, у якій групи поділяються за пунктами призначення, а середня кількість поїздок домогосподарств прогнозується на основі даних статистичних досліджень залежно від різних факторів. Враховуються деякі з них: розмір домогосподарства (кількість членів сім'ї), рівень доходу, кількість приватних автомобілів у домогосподарстві. За цими даними формуються класифікаційні таблиці, у яких представлена середня кількість поїздок користувачів певного класу, здійснених за певний час за певну плату [95, 96]. Ці моделі в основному використовуються для регулярних поїздок (дім – робота, дім – навчання і т.д.).

Більш складними вважаються регресійні моделі, які визначають кількість рухів з певною метою як функцію змінних (як правило, лінійну), що відповідають групі цього користувача та регіону походження [97].

Модель теорії корисності випадкового вибору зазвичай використовується для представлення нерегулярних поїздок.

Кількість альтернатив у цьому випадку залежить від періоду часу аналізу. Якщо час поїздки є коротким, то ймовірністю здійснення більш ніж однієї поїздки можна знехтувати, і вибірка має в собі дві альтернатив: одна поїздка або її відсутність. Для більш тривалих періодів розмах вибірки обмежується альтернативами: одна поїздка або більше.

Як правило, функції корисності включають змінні, які характеризують домогосподарство (наприклад, його розмір або наявність автомобіля) або індивіда (наприклад, стать, вік, професійний статус), а також територію призначення та особливо її доступність щодо можливих напрямків поїздки.

При розподілі поїздок між районами їх поділяють за цілями: робочі, навчальні, ділові (щодо робочих питань), побутові (до магазинів чи послуг),

соціально-культурні тощо [98]. Також доцільно розділяти поїздки на пікові та позапікові. Тому моделі розподілу виражають ймовірність поїздок, здійснених користувачами групи, яка прямує до пункту призначення, відправляючись із зони транспортування з певною метою в заданий період часу.

Моделі розподілу поділяють на поведінкові та описові. Гравітаційна модель є відомою серед описових моделей розподілу.

Модель вибору подорожі використовується для розрахунку ймовірності того, що група користувачів вибере спосіб переміщення з однієї транспортної зони в іншу в заданий період часу.

Фактори впливу, що виникають на етапі вибору способу переміщення, поділяються на три групи [99]:

- характеристика виду транспорту;
- соціально-економічні характеристики населення;
- характеристика поїздки.

Найпростішими моделями вибору виду транспорту є ентропійні моделі, які відображають залежність між певними показниками (наприклад, тривалістю поїздки) і часткою користувачів транспортних послуг.

Більш складними є моделі, засновані на ймовірнісному дискретному виборі, у яких як критерій вибору використовується максимізація корисності або мінімізація витрат для користувача.

Зазвичай у моделі вибору способу переміщення в якості альтернативи виступають окремі види транспорту. У деяких випадках можуть використовуватися «змішані» режими, тобто поєднання різних режимів (наприклад, автомобіль + автобус). Ідентифікація можливих альтернатив вибору залежить від типу ТС, що досліджується, і є особливо важливою для моделей вибору виду транспорту: не всі можливі види транспорту доступні для всіх типів поїздок через об'єктивну неможливість. До прикладу, поїздка ІТ не можлива для користувача без водійських прав. На сьогодні модальний розподіл є найкращим показником для оцінки якості ТС міста [100-103].

На четвертому етапі 4-ступеневої моделі транспортного планування відбувається розподіл поїздок по мережі, тобто прогнозується, який маршрут буде використовуватися між транспортними зонами. Під час переміщення ІТ чи пішки вибір здійснюватиметься між різними варіантами дорожньої мережі, під час подорожі ГТ – між різними альтернативами маршрутів.

Для прогнозування обсягів пасажиропотоку на кожній із зупинок використовувалася 4-ступенева модель транспортного попиту, розглянута в роботі Півторак Г. [94]. Перерозподіл проведено на основі інтервалів, параметри перерозподілу наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Параметри процедури перерозподілу [94]

Параметр процедури	Метод розрахунку	Формульний апарат
Метод визначення інтервалів руху	На основі середньої тривалості часу очікування $\tau^{a,b}$ (згідно з розкладами)	$\tau^{a,b} = \frac{1}{b-a} \sum_{i=0}^n \Delta_i$ $\Delta_0 = (x_1 - a)^2$ $\Delta_i = (x_{i+1} - x_i)^2$ $\Delta_n = (x_{n+1} - x_n)^2 - (x_{n+1} - b)^2$ <p>де a, b – інтервал часу, для якого визначається середній час очікування; n – кількість поїздок у межах інтервалу $[a, b]$; Δ_i – інтервал часу між двома сусідніми відправками x_i – час i-ої відправки</p>
Функція опору переміщенню		$IMP = PJT \cdot k_1 + NFP \cdot k_2$ <p>де PJT – сприйнята тривалість поїздки; NFP – вартість проїзду; k_1, k_2 – коефіцієнти впливу сприйнятої тривалості поїздки та вартості проїзду на опір переміщенню.</p>
Сприйнята тривалість переміщення		$PJT = T_{iv} + T_a + T_e + T_{tr.walk} \cdot k_1 + T_{owalk} + T_{tr.wait} + k_2 \cdot N_{tr}$ <p>де T_{iv} – час перебування в автомобілі, хв; T_a – час доступу; T_e – час виходу; $T_{tr.walk}$ – час трансферної прогулянки; T_{owalk} – час очікування джерела;</p>

Параметр процедури	Метод розрахунку	Формульний апарат
Сприйнята тривалість переміщення		$PJT = T_{iv} + T_a + T_e + T_{tr.walk} \cdot k_1 + T_{owalk} + T_{tr.wait} + k_2 \cdot N_{tr}$ де T_{iv} – час перебування в автомобілі, хв; T_a – час доступу; T_e – час виходу; $T_{tr.walk}$ – час трансферної прогулянки; T_{owalk} – час очікування джерела; $T_{tr.wait}$ – час очікування трансферу; N_{tr} – кількість пересадок.
Модель вибору пасажиром маршруту	Відсутність інформації, постійні інтервали	Імовірність вибору пасажиром маршруту з множини можливих: $\pi_i = \lambda_i \int_0^{\bar{h}} \prod (1 - \lambda_j \cdot w) dw$ $\bar{h} = \min \{h_i\}$ – мінімальний інтервал з наявного набору; λ_i – частота роботи і-го маршруту; w – час очікування, хв.

4-етапна модель транспортного планування дає можливість визначити (спрогнозувати), яким саме шляхом відбудеться переміщення між ТР. Якщо користувач транспортних послуг обиратиме рух ІТ чи пішки, то модель шукатиме альтернативні маршрути ММ. При здійсненні поїздки ГТ модель обиратиме альтернативу між різними маршрутами.

2.4. Методика визначення переміщень

Математичне відображення визначення переміщень відбувається з допомогою функції корисності.

Розподіл переміщень між районами відбувається за залежністю [94]:

$$F_{ij} = k_{ij} \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot f(U_{ij}), \quad (2.14)$$

де Q_i – генеруюча здатність і-го району відправки;

Z_j – притягуюча здатність j -го району прибуття;

U_{ij} – значення корисності переміщення між ТР;

k_{ij} – коефіцієнт нормування для переміщень з району в район (використовується для визначення сумарних обсягів відправок і прибуттів).

При моделюванні використано функцію корисності типу ВохСох [94]:

$$f(U_{ij}) = e^{\frac{U_{ij}^b - 1}{c}}, \quad (2.15)$$

де a , b , c – параметри функції корисності, які підбираються шляхом порівняння змодельованих результатів з фактичними (отриманими під час натурних обстежень, опитувань тощо).

Корисність переміщення є лінійною комбінацією параметрів, що визначають ступінь впливу на учасника руху різних показників [94]:

$$U_{ij} = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot X_i, \quad (2.16)$$

де X_i – показник, який впливає на вибір користувача;

β_i – коефіцієнт оцінки ступеня впливу фактора на загальну ймовірність вибору

При розподілі переміщень у межах транспортної розв'язки тривалість або відстань переміщення не має особливого значення для користувача транспортних послуг. Розподіл відбувається залежно від вибору подальшого способу переміщення.

Перший етап вибору для пасажирів може відбутися на етапі планування подорожі. Якщо в пішохідній доступності від пасажирів є альтернативні зупинки ГТ, з яких він може дістатися до пункту призначення, але одна із зупинок має лише прямий маршрут, а інша має як прямий маршрут, так і маршрути з пересадкою, у такому випадку пасажир може обрати, який варіант кращий саме для нього. Ймовірність вибору пасажирів є функцією наступних параметрів [94]:

$$p_{pas} = f(s, l, \eta, i) \quad (2.17)$$

де s – соціоекономічні характеристики пасажирів;

l – відстань до зупинки;

η – частота руху ТЗ на зупинці;

i – інформаційне забезпечення зупинки (зокрема наявність електронного табло).

Якщо пасажир очікує на зупинці, де є альтернативні варіанти руху, можливі такі варіанти поведінки пасажирів:

- пасажир розраховує тільки на прямий маршрут;
- пасажир користується тим маршрутом, яким під'їхав першим (незалежно від того, чи це прямий маршрут, чи з пересадкою).

Імовірність тієї чи іншої поведінки також залежить від соціально-економічних особливостей пасажирів, тривалості обраного варіанту подорожі, завантаженості ТЗ, що прибув на зупинку, і тривалості очікування на зупинці.

Після часу очікування пасажирів в ТЗ наступним елементом є час перебування в ньому до прибуття в пункт призначення. Під час поїздки ГТ може знадобитися як одна поїздка, так і поїздка з однією або декількома пересадками. Кінцева зупинка транспорту не завжди є пунктом призначення пасажирів, відтак йому потрібно трохи більше часу, щоб доїхати до потрібної зупинки та відповідно до місця призначення. Якщо точніше, то варто зупинитися на частині шляху від зупинки відправлення (j) до зупинки прибуття (k). Загальний час у дорозі у випадку безпересадкової поїздки наведено у формулі 2.18 (де символ \sim позначає стохастичні зміни). Варто зазначити, що в разі пересадки, часу очікування та часу перебування в ТЗ, окрім кожної лінії обслуговування, можна додатково розрахувати часовий інтервал. Формула 2.19 показує очікування пересадки на основі формули 2.18 [105].

$$\tilde{T}_{l,j-k}^{journey,tot} = \tilde{T}_{l,j}^{waiting_origin} + \tilde{T}_{l,j}^{access} + \tilde{T}_{l,j}^{waiting} + \tilde{T}_{l,j-k}^{in-vehicle} + \tilde{T}_{l,k}^{egress} \quad (2.18)$$

$$E(\tilde{T}_{l,j-k}^{journey,tot}) = E(\tilde{T}_{l,j}^{waiting_origin}) + E(\tilde{T}_{l,j}^{access}) + E(\tilde{T}_{l,j}^{waiting}) + E(\tilde{T}_{l,j-k}^{in-vehicle}) + E(\tilde{T}_{l,k}^{egress}) \quad (2.19)$$

де $\tilde{T}_{l,j-k}^{journey,tot}$ – час подорожі пасажирів від початкової точки до пункту призначення (на лінії l , відправлення з зупинки j та прибуття на кінцеву зупинку k);

$\tilde{T}_{l,j}^X$ – ймовірнісна тривалість часових елементів поїздки (на лінії l та відправлення з зупинки j);

$E(\tilde{T}_{l,j}^X)$ – очікувана тривалість часових елементів поїздки (на лінії l та відправлення з зупинки j);

j, k – зупинка відправлення та прибуття.

Оцінка вартості поїздки пасажирів є частиною аспекту під час вибору пасажирів виду транспорту (наприклад, маршрут, час відправлення та вид транспорту).

З практичної точки зору, розклад ГТ має відображати цей час у дорозі, що впливає на вибір пасажирів. Однак графік руху не включає зміни цих елементів, які істотно впливають на попит і пропозицію.

Ці тимчасові компоненти пасажирів сприймають по-різному. Очікування (від'їзд від зупинки та час пересадки) здаються довшими, ніж той самий час у ТЗ. Дослідження вчених Ван Дер Ваарда та Вордмана показало відносну важливість усіх цих аспектів разом із часом, проведеним у ТЗ [105]. Значення показників, наведених у таблиці 2.2, відображають залежність часу ходьби та очікування від часу проведеного в ТЗ.

Таблиця 2.2

Середнє значення показників складових елементів часу подорожі [105]

Складові елементи	Значення А (Ван Дер Ваард)	Значення В (Вардман)
Час добирання до початкової зупинки	2,2	1,8
Час очікування	1,5	1,5
Час проведений у ТЗ	1,0	1,0
Час добирання до пункту призначення (після виходу з ТЗ)	1,1	-

Інші дослідження показують, що пасажирів визначають час очікування ГТ значеннями від 1,5 до 2,3 від часу в дорозі, тим самим доводячи, що такий час очікування є важливою складовою загального часу в дорозі.

Формула (2.20) показує включення таких складових у загальну функцію часу перебування пасажирів у ГТ (за відсутності можливості пересадки). У цій функції наведено сумарний час у дорозі, що дозволяє визначити загальні витрати при поїздки за значенням (VOT). Зведені ціни, ціна квитка (TP) і константа, що відповідає режиму (ϕ), також додаються для обчислення загальної суми [105]:

$$\tilde{C} = VOT \cdot (\theta_1 \cdot \tilde{T}_{l,j}^{waiting_origin} + \theta_2 \cdot \tilde{T}_{l,j}^{access} + \theta_3 \cdot \tilde{T}_{l,j}^{waiting} + \theta_4 \cdot \tilde{T}_{l,j-k}^{in-vehicle} + \theta_5 \cdot \tilde{T}_{l,k}^{egress}) + TP + \phi \quad (2.20)$$

де \tilde{C} – загальні витрати пасажирів на ГТ;

VOT – середнє значення часу, витраченого на переміщення ГТ;

θ_x – середнє значення показників складових елементів часу подорожі x ;

TP – ціна квитка;

ϕ – коефіцієнт, який враховує ймовірність використання певного виду ГТ.

Користувачі транспортних послуг роблять свій вибір залежно від значення C (наприклад, пункт призначення, час у дорозі). Найбільш оптимальним є зниження значення C для пасажирів з одночасним підвищення оцінки якості обслуговування.

Математичне формулювання переміщень включає в себе різні показники, які у свою чергу формують показники складових елементів тривалості подорожі (час добирання до зупинки, час очікування, час, проведений у ТЗ). Значення цих показників дає нам можливість погнозувати можливі поїздки ММ.

2.5. Методика виконання транспортних досліджень з використанням програмного забезпечення PTV Visum

Функціонування ММ проходить в змінних умовах, тому характеристики попиту та пропозиція в ній змінюється в різний час по-різному (час доби, день тижня чи місяця тощо). Існує три типи тимчасових змін характеристик ГТ [106]:

- довгострокові коливання або тенденції на глобальному рівні (довгострокові коливання часто є результатом структурних змін соціально-економічних показників);

- циклічні (сезонні) коливання, що відбуваються протягом періоду аналізу (ці коливання повторюються циклічно, і їх можна спостерігати, порівнюючи кілька циклів: циклічне повторення тенденцій коливання загальної кількості пасажирів протягом декількох місяців або коливання попиту на подорож на зовнішньому транспортному вузлі впродовж звичайного робочого дня);

- міжперіодні коливання – випадкові коливання попиту та пропозиції потоку стабільних базових періодів, викликані важкопрогнозованими факторами (такими як аварія або загальноміська подія).

Визначення компонентів попиту на подорожі відіграє важливе значення в аналізі та моделюванні ТС, оскільки багато транспортних проєктів намагаються задовольнити цей попит.

Зазвичай поїздки населення містом не є самоціллю, а швидше потребою, пов'язаною з навчанням, роботою, відпочинком чи покупками тощо. Зрештою, подорож – це переміщення з одного місця в інше за допомогою одного чи кількох видів транспорту, щоб виконати заплановану роботу. Звідси значення попиту можна визначити як кількість користувачів з певними характеристиками, які споживають певні послуги, пропоновані системою ГТ протягом певного часу [107].

Мережа складається з вузлів доступу, концентраторів і каналів, що з'єднують ці вузли. При проєктуванні мережі основним завданням є визначення необхідної їй щільності. Збільшення щільності покращує якість доступу, але вносить додаткові витрати і навпаки [108].

В основу ентропійної моделі покладено уявлення про те, що процеси, які відбуваються в ТС, подібні до термодинамічних процесів. Найпоширенішою серед цих моделей є гравітаційна модель, заснована на подібності взаємодії TP міста із законом всесвітнього тяжіння [109]. Визначення значення відповідності має такий загальний вигляд :

$$h_{ij} = f(HO_i, HP_j, c_{ij}), \quad (2.21)$$

де c_{ij} – функція індивідуальних витрат пасажирів на переміщення

HP_j – кількість прибуттів у j - ий район,

HO_i – кількість відправок з i -ого району.

Загальний вигляд моделі в розрахунках (2.21) зазвичай визначають так [109]:

$$h_{ij} = HO_i \frac{HP_j \cdot c_{ij} \cdot k_j}{\sum_m^n HP_m \cdot c_{im} \cdot k_m}, \quad (2.22)$$

де k – калібрувальний коефіцієнт, що забезпечує виконання умов модельного балансу.

Кількість поїздок із зони генерації має дорівнювати сумі витрат із цієї зони до всіх зон тяжіння [109]:

$$\sum_1^n h_{ij} = HO_i; \sum_1^n h_{ij} = HP_j; \sum_1^n HO_i = \sum_1^n HP_j, \quad (2.23)$$

На основі даних матриці відстаней між районами розраховується матриця коефіцієнтів тяжіння за формулою [109]:

$$c_{ij} = \frac{1}{l_{ij}}, \quad (2.24)$$

де l_{ij} – відстані між ТР.

Наступний етап – проміжна матриця, що визначається за формулою [109]:

$$d_{ij} = HP_j \cdot c_{ij} \cdot k_j. \quad (2.25)$$

З урахуванням формули (2.25) формула (2.26) набуде вигляду [109]:

$$h_{ij} = HO_i \frac{d_{ij}}{d_\Sigma}. \quad (2.26)$$

Результати розрахунку свідчать, що умови (2.21) не виконуються відносно значень HP_j . Тому необхідно розрахувати значення коефіцієнтів коректування за формулою [109]:

$$k_j = \frac{HP_j}{HP_j}. \quad (2.27)$$

При створенні моделі запиту спочатку потрібно задати основні параметри розрахунку.

Аналізуючи переміщення містом, варто опиратися на дані ВДМ, соціальну та демографічну статистику, брати до уваги всіх учасників дорожнього руху. Програмне забезпечення PTV Visum дає можливість врахувати всі ці аспекти,

виконавши моделювання з запропонованими проектними рішеннями. А саме на етапі формування трафіку в PTV Visum відбувається формування пасажиропотоків залежно від характеристик джерела та пункту призначення, а також мети руху [110].

При визначенні мети переміщення містом ділять на різні типи, що детально розглянуто в пункті 2 розділу 1.

Шари попиту формують, ґрунтуючись на меті переміщення (наприклад, поїздки з дому на роботу, з дому на навчання, з роботи в магазини тощо). Кожен рівень запиту має одну або кілька референтних груп, тобто населення, яке здійснює переміщення.

Кількість вихідних переміщень з TP визначається ступенем генерації [110]:

$$C_{ген} = \frac{\sum Пер}{\sum РГ}, \quad (2.28)$$

де $\sum Пер$ – кількість переміщень за день для певного шару попиту;

$\sum РГ$ – величина референтної групи.

Ступінь притягання визначає кількість вхідних переміщень у TP [110]:

$$C_{пр} = \frac{\sum Пер}{\sum РГ}. \quad (2.29)$$

На етапі розподілу транспорту в PTV Visum сформовані транспортні (або пасажирські) потоки розподіляються між TP. Для цієї матриці використовуються функції вартості та оцінки.

Якщо рух у межах транспортних зон не моделюється, то необхідно змінити значення для головної діагоналі матриці витрат, на основі якої буде здійснюватися розподіл потоків. Якщо райони досить малі (наприклад, при моделюванні роботи маршруту ГТ райони формуються як мікрорайони зупинок), то для переміщень у межах одного району ГТ не застосовується, і тоді значення діагоналі матриці витрат встановлюється на досить велике число (зазвичай 99999). Це дуже великі витрати, тому здійснювати рух не вигідно. Це випадки, коли один TP відповідає одній зупинці, відтак пасажир не може в межах району використовувати ГТ, бо якщо він сяде на одній зупинці і вийде на наступній, то

він вже переїде в інший ТР. Для матриці витрат на ІТ та ГТ з великими транспортними територіями значення вартості поїздки в межах області забезпечують приблизно рівні витрати на поїздку до найближчої сусідньої території або розраховуються на основі натурних досліджень.

Функції переваги використовуються для розрахунку показників вартості проїзду з одного району в інший у показниках суб'єктивної ймовірності переїзду [110]:

$$P(U_{ij}) = P(C | A_i \cap B_j), \quad (2.30)$$

де B_j – означає, що ціль переміщення є в районі j ;

A_i – означає, що джерело переміщення є в районі i ;

C – подія, яка означає, що переміщення буде виконано.

У транспортних моделях міст на етапі розподілу попиту в PTV Visum використовуються такі основні функції переваги:

- функція *Kirchoff*: $f(U_{ij}) = U_{ij}^c$;
- функція *TModel*: $f(U_{ij}) = \frac{1}{U_{ij}^b + c \cdot U_{ij}^a}$;
- комбінована функція *Combined*: $f(U_{ij}) = a \cdot U_{ij}^b \cdot e^{c \cdot U_{ij}}$;
- *Logit*-функція: $f(U_{ij}) = e^{c \cdot U_{ij}}$;
- функція *Box-Cox*: $f(U_{ij}) = e^{\left(c \cdot \frac{U_{ij}^b - 1}{b}\right)}$;

де a, b, c – коефіцієнти;

U_{ij} – витрати (зазвичай часу) на виконання кореспонденції з району в район.

У транспортних моделях міста часто використовують *Box-Cox* [111]. Ця модель визначає транспортну поведінку людини, що забезпечує переваги при зведенні статистичних даних щодо пасажиропотоку в одну систему. У цьому методі підбирають значення коефіцієнтів, які можна представити як певну функцію від параметрів еліптичної моделі міста [112]. Якщо враховувати дослідження Дулеби С., то значення коефіцієнтів функції *Box-Cox* прийнято рівними $b=1.29155$ та $c=-0.00435$ (для країн, що розвиваються).

На етапі вибору режиму кореспонденція в PTV Visum розподіляється за видами транспорту. Також можна застосувати багатоступеневий вибір режиму, коли спочатку виконуємо поділ на ІТ та ГТ. Крім того, режими можна поділити на підвиди (наприклад, режим ГТ можна поділити на автобусний рух і рух електротранспорту, а рух електротранспорту окремо можна поділити на трамвайний, тролейбусний транспорт і метро). Для цього ми використовуємо матрицю витрат і функції оцінки.

На етапі перерозподілу трафіку PTV Visum складає результуючі матриці відповідності для ВДМ (для ІТ) або маршрутної мережі (для ГТ). Перерозподіл для ГТ може відбуватися декількома способами [112]:

- з урахуванням ТС – на основі TSys;
- на основі інтервалів – Headway-based;
- на основі графіків – Timetable-based.

Перерозподіл з урахуванням системи є найпростішим і використовується в розробці нових мереж маршрутів, оскільки результуюча завантажена мережа відображає мережу маршрутів, якій надає перевагу пасажир.

При перерозподілі за інтервалами кожен маршрут описується шляхом проходження, часом проїзду та інтервальними зупинками. Перший – інтервал руху на маршруті (як визначений користувачем атрибут профілю руху на основі середнього запланованого часу очікування між ТЗ). Далі відбувається пошук можливих шляхів і вибір оптимальних з урахуванням опорів. І на третьому етапі завантажують вибрані шляхи.

Порядок розподілу розкладу враховує всі рейси маршрутів ГТ з точним часом їх відправлення та прибуття. Цей спосіб підходить, якщо є план мережеских маршрутів і детальний розклад кожного з них. При використанні цього методу враховується узгодження схем різних маршрутів (для розрахунку часу пересадки).

Процедура перерозподілу імітує послідовне заповнення дорожньої мережі. По-перше, учасники дорожнього руху знаходяться на вільній мережі доріг, і для кожного маршруту є лише один найкоротший шлях. На кожній наступній ітерації дорожня мережа отримує додаткові навантаження за рахунок додаткових ТЗ,

відповідно додається опір навантажених ділянок і поворотів. Беручи це до уваги, на наступній ітерації можна визначити інші найкоротші шляхи.

Може бути максимум 12 ітерацій. Частки перерозподілу матриці загальної відповідності за ітераціями встановлюються користувачем.

Недоліки такого розподілу:

- кількість ітерацій має значний вплив на точність результатів, але відсутня методика розрахунку їх оптимальної кількості;
- розрахунок завершується після певної кількості ітерацій без перевірки відповідності опорних навантажень і сегментів.

Рівноважні процедури перерозподілу, засновані на першому принципі Wardrop полягають у тому, що кожен учасник мережі обирає свій шлях з точки зору мінімізації затрат. Модель доводить, що кожен учасник руху має інформацію про навантаження на ВДМ і на кожен його сегмент. Принцип моделі полягає в досягненні рівномірного навантаження всіх шляхів руху з урахуванням точок опору (різниця між мінімальним і максимальним опором була найменшою, проте не перевищувала заданого значення) [113].

Процедуру навчання перерозподілу розробив професор Лозе. Вона показує «процес навчання», під час якого учасники трафіку постійно отримують нову інформацію під час використання мережі та приймають на її основі нові рішення. Принцип розрахунку здійснюється шляхом порівняння поточних опорів мережі і опорів, отриманих при попередньому розподілі. Процедура вважається завершеною, коли час на основі вибору шляхів переміщення та час переміщення, отриманий у результаті перерозподілу, збігаються між собою з достатньою точністю [114].

Результатом розрахунку етапу перерозподілу є навантаження на сегменти мережі (з розподілом ГТ та ІТ).

2.6. Висновки до розділу

1. Проаналізовано методи оцінки попиту на пасажирські перевезення в містах, а саме метод багатокритеріальної оцінки прийняття рішень, метод Лоренца та інші. На їх основі можна визначати пасажиропотоки та оцінити попит на перевезення ГТ у ММ.

2. Наведено теоретичні основи моделей Байєса, які дають можливість визначити ймовірність здійснення пересадки в ММ на основі дерева рішень.

3. Прогнозування попиту на переміщення в ММ більшість авторів пропонують здійснювати з використанням 4-етапної моделі транспортного планування. Вона дає можливість прогнозувати, яким саме шляхом відбуватиметься переміщення між ТР.

4. Розглянуто формульний апарат математичного визначення переміщень, що включає в себе час добирання до зупинки, час очікування на зупинці, час, проведений у дорозі та час, необхідний для підходу до місця призначення після виходу з ТЗ.

5. Прогнозування попиту в ММ запропоновано виконувати за методами моделювання, які включають 4-етапну модель транспортного планування, функції корисності, гравітаційну та ентропійну моделі. Використання програмного забезпечення PTV Visum, яке включає вищеперелічені методи, дає можливість шляхом імітаційного моделювання отримати результати ймовірного попиту на переміщення.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ПОПИТУ НА ПЕРЕМІЩЕННЯ ГРОМАДСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

3.1. Маршрутна мережа громадського транспорту великих міст (на прикладі м. Львів)

У сучасних умовах правильно побудована ММ ГТ є запорукою забезпечення життєдіяльності міста та його жителів. Це відповідно час і кошти, витрачені на переміщення, безпека і комфорт поїздки, завантаженість вулиць міста.

Львів є одним із головних транспортних вузлів країни. Через місто проходять європейські та міжнародні магістралі. За даними Львівської міськради щільність населення тут становить 4816 осіб/км² [115]. У місті є значна кількість навчальних закладів, також зосереджена велика кількість працездатного населення, яке здійснює переміщення на роботу не тільки містом, а й з навколишніх населених пунктів. Однак існує значна кількість ІТ, що у свою чергу призводить до перевантаженості ВДМ. На рис. 3.1 представлена базова транспортна мережа Львова, виконана в PTV Visum, з класифікацією доріг та вулиць. Також наведено аналіз точок доступу зупинок ГТ [116].

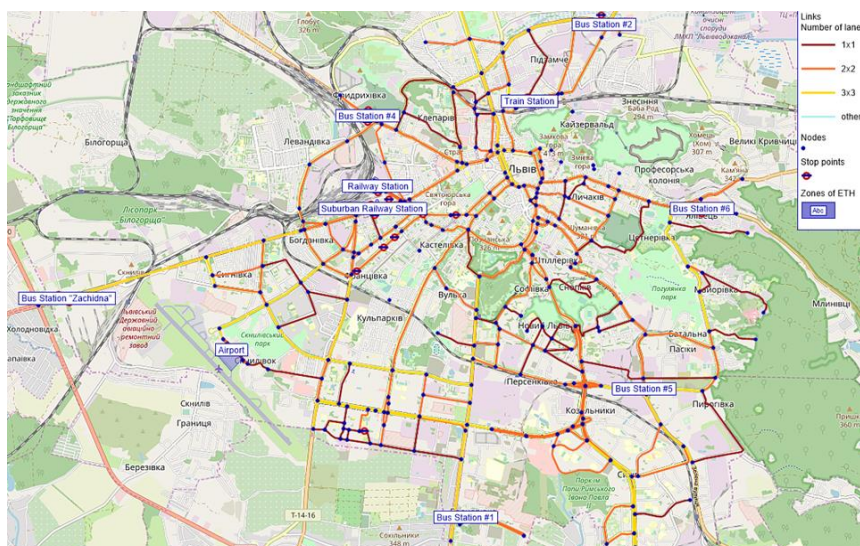


Рис. 3.1 Мережа м. Львів у програмному середовищі PTV Visum

У Львові функціонує 3 види ГТ: автобус (великої та середньої вмістимості), тролейбус, трамвай.

Станом на березень 2023 року в місті налічується 18 автобусних маршрутів (обслуговують автобуси великої вмістимості), 31 автобусний маршрут (обслуговують автобуси середньої вмістимості), 8 трамвайних і 10 тролейбусних маршрутів та 59 приміських маршрутів ГТ, які часто курсують ММ (рис. 3.2) (Додаток А).

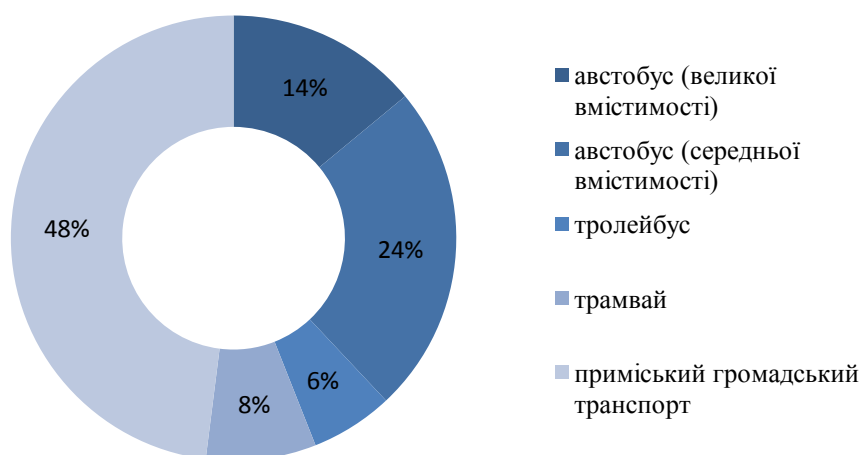


Рис. 3.2. Відсотковий розподіл кількості видів ГТ у м. Львів

За характером проходження міською територією розрізняють радіальні, діаметральні та хордові (тангенціальні) маршрути. Радіальні маршрути – це маршрути, які сполучають центральну частину міста з її периферійними районами. Їх кількість у м. Львів – 22. Діаметральні – маршрути, які сполучають два периферійні райони та проходять через центр міста. Кількість діаметральних маршрутів становить 26. Хордові або тангенціальні маршрути – ті, які об’єднують два райони міста та не проходять через центральну частину. У Львові їх налічується 20. Дані графічно наведено на рис. 3.3.

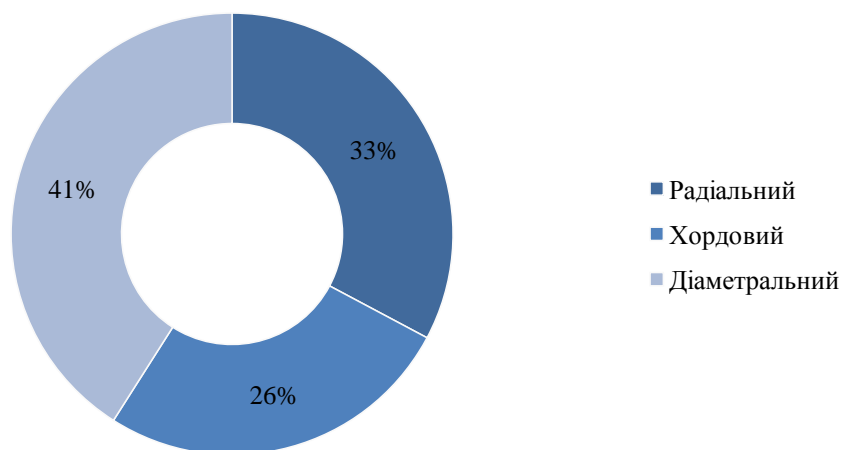


Рис. 3.3. Відсотковий розподіл маршрутів за характером проходження територією м. Львів

Кількість пасажирів (за даними Головного управління статистики у Львівській області [117]), які користуються ГТ (автобусним та залізничним), зменшилася за період з 2010 по 2018 роки (рис. 3.4). Це пов'язано з доходами користувачів транспорту, наявністю ТЗ, стилем життя та структурою пасажирських перевезень автобусним та залізничним транспортом, зменшенням кількості населення.

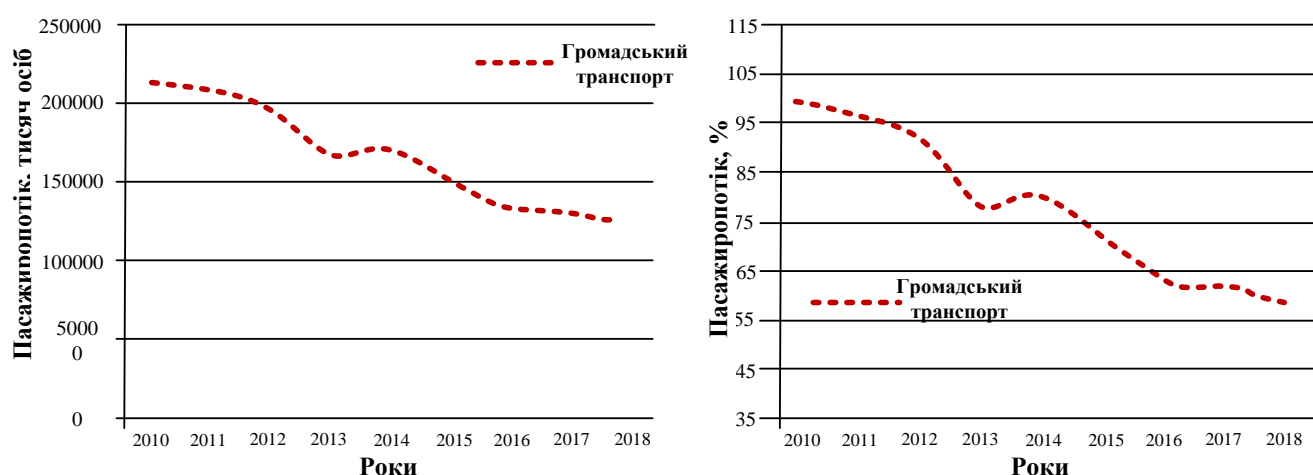


Рис. 3.4. Зміна тенденції пасажирських перевезень у Львівській області

Для забезпечення користувачів ГТ при переміщенні міською територією критерієм вибору маршруту є безпересадковий рух. В умовах, коли пересадку

доводиться оплачувати окремо, цей критерій часто важливий при врахуванні відстані або тривалості переміщення.

На території міста визначено 20 ТР для моделювання в програмному середовищі PTV Visum. Кожен район характеризується пропускною спроможністю виїзду та прибуття (кількість мешканців, які прибули до району) та пропускною спроможністю точок тяжіння для переміщення з різною метою (робота, навчання, покупки тощо) – рис. 3.5. Для оцінки взаємозв'язку ТР було визначено кількість маршрутів, що проходять через кожний ТР у ММ та побудовано матрицю кількості безпересадкових маршрутів, що з'єднують ці райони (рис. 3.6). Ця інформація міститься в моделі як вихідні дані (таблиця 3.1). Результати якого представлено у роботі [118].

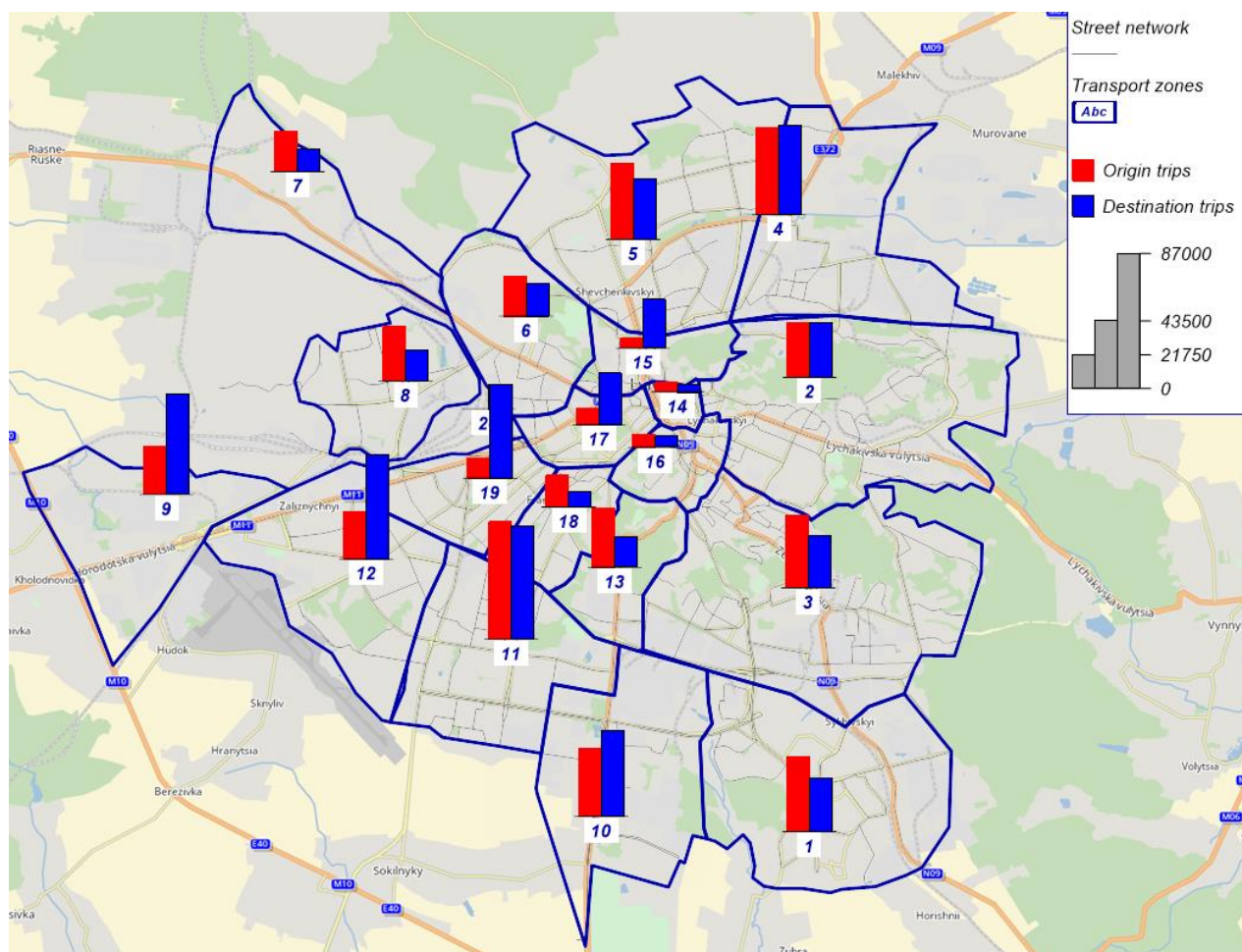


Рис. 3.5. Карта поділу території міста Львова на ТР

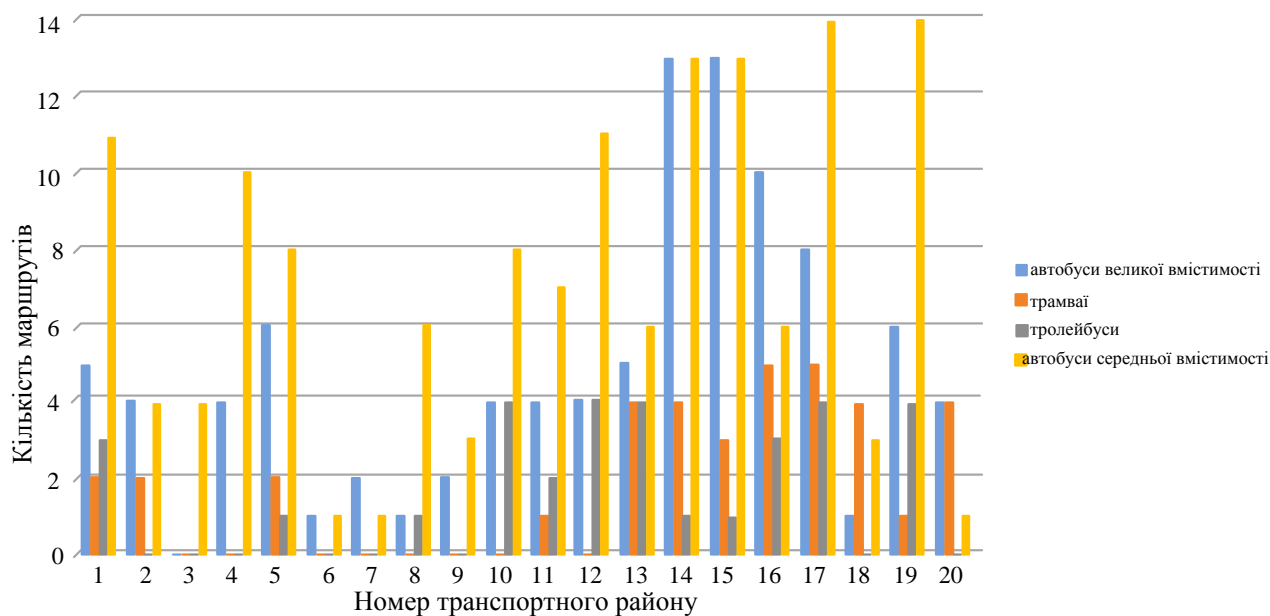


Рис. 3.6. Діаграма кількості маршрутів, які проходять через ТР Львова

Таблиця 3.1

Матриця кількості безпересадкових маршрутів ГТ, що з'єднують між собою пари ТР Львова

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	3		4	5	1	2	1	1	9	6	7	6	6	6	8	5	3	6	3
2	3	-		1				2		2		3	2	6	3	3	3	1	1	2
3			-					1			1		3	3	1	4	3	1	3	
4	4	1		-	5			2	1	3	2	3	1	11	12	3	8	2	7	1
5	5			4	-	2	1	2	1	1	2	2	1	12	16	3	4	2	5	3
6	1				2	-	1	1						2	2	1				
7	2				1	1	-			1	1	1		2	2	2	1		1	
8	1	2	1	2	2	1		-		1	2	3	3	4	3	2	4		4	
9	1			1	1				-	1	1	5		2	2	1	4		3	
10	9	2		3	1		1	1	1	-	5	7	2	4	5	3	6	2	7	2
11	6		1	2	2		1	2	1	5	-	8	5	4	3	6	6	3	4	1
12	7	3		3	2		1	3	5	7	8	-	4	5	4	2	9		10	2
13	6	2	3	1	1			3		2	5	4	-	6	3	11	5	5	4	3
14	6	6	3	11	12	2	2	4	2	4	4	5	6	-	25	16	18	5	14	5
15	6	3	1	12	16	2	2	3	2	5	2	4	1	25	-	11	15	3	11	4
16	8	3	4	3	3	4	2	2	1	3	6	2	11	16	11	-	10	6	6	2

Продовження табл. 3.1.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
17	5	3	3	8	4		1	4	4	6	6	9	3	18	15	10	-	7	22	6
18	3	1	1	2	2					2	3		5	5	3	6	7	-	4	2
19	6	1	3	7	5		1	4	3	7	4	10	4	14	11	6	22	4	-	3
20	3	2		1	3					2	1	2	3	5	4	2	6	2	3	-

Розраховано також показник кількості маршрутів на одиницю площі (км²) ТР. Цей показник є найвищим для центральних районів міста і становить 18,4 маршрути/км² (через центр проходить 31 маршрут ГТ (ТР № 14), від 24 до 30 маршрутів проходять через в'їзди до центру (15, 16, 17 та 19 райони), для інших районів коливається від 0,36 до 4,19 маршрути/км².

Серед розглянутих 190 пар ТР 38 не мають безпересадкового сполучення маршрутами ГТ (20%). Інші 16% пов'язані лише одним безпересадковим маршрутом ГТ, 29% – двома або трьома маршрутами ГТ, а 35% мають більше, ніж три варіанти маршрутів для переміщення.

Для моделювання щоденної кількості переміщень міською територією запропоновано використовувати 4-етапну модель транспортного планування. Детально 4-етапну модель розглянуто в п 2.3. 2 розділу.

У результаті моделювання з використанням PTV Visum отримано розподіл переміщень з кожного ТР за видами: ІТ, ГТ та переміщення пішки.

Аналіз отриманих результатів (рис. 3.7) показав, що збільшення відстані між районами та кількості маршрутів, що їх з'єднують, впливає на перерозподіл пасажиропотоку між видами (збільшується частка користувачів ГТ).

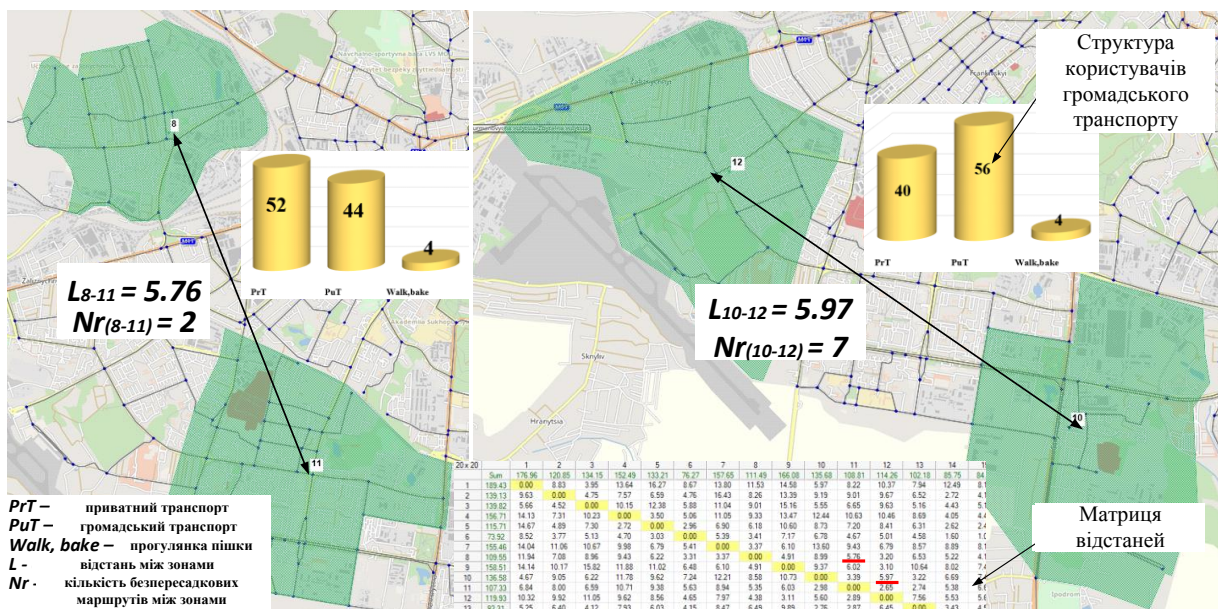


Рис.

3.7 Порівняння зміни розподілу переміщень між режимами для пар TP

На рис. 3.8. зображено залежність між кількістю безпересадкових маршрутів, які об'єднують TP, через які проходять маршрути початку та кінця переміщення та відсотком зростання кількості користувачів ГТ. Розрахунок описує логарифмічна крива з коефіцієнтом детермінації, що дорівнює 0,93. Якщо кількість маршрутів між районами зростає до 15, то кількість користувачів ГТ збільшується на 20%. При наступних збільшеннях кількості маршрутів частка перевезень ГТ зростає несуттєво: збільшення кількості маршрутів з 15 до 25 збільшує частку користувачів ГТ на 4%, а більше 25 – на 2%.

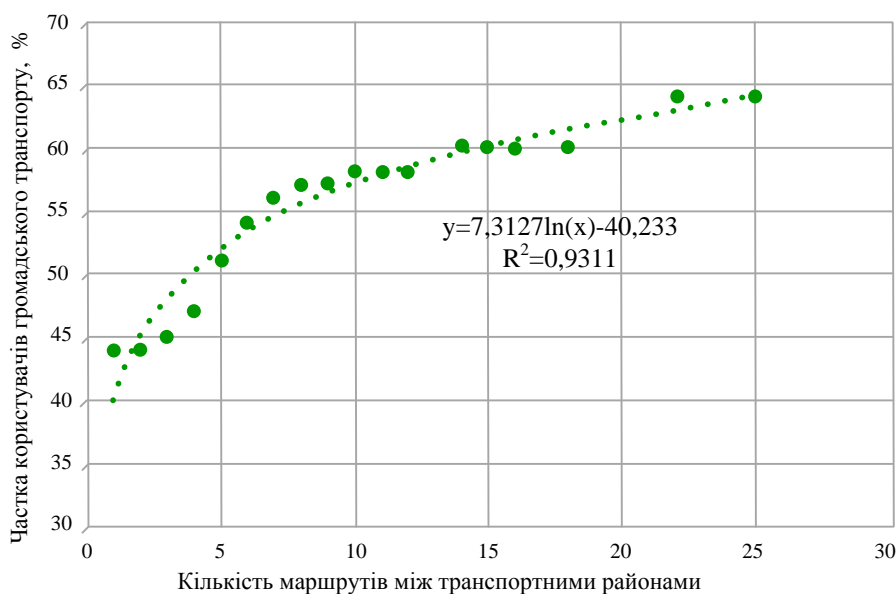


Рис. 3.8. Залежність між кількістю безпересадкових маршрутів між TP та часткою користувачів, що використовують ГТ для переміщень між ними

У результаті четвертого етапу моделювання за допомогою PTV Visum отримано загальний розподіл пасажиропотоку мережею. Також отримано середні значення пасажиропотоку на один оберт на кожному з маршрутів ГТ.

З метою оцінки доцільності використання матриці кількості маршрутів як матриці затрат для виду ГТ було проведено моделювання розподілу пасажиропотоків на основі матриці витрат часу в дорозі, проте з усіма іншими параметрами, які вже були представлені.

Для порівняння результатів моделювання було проведено обстеження двох тролейбусних маршрутів (радіального типу), двох трамвайних маршрутів (радіального та хордового типу) та чотирьох автобусних маршрутів (радіального, діаметрального та хордового типу). Натурні дослідження на кожному з маршрутів проводились у міжпиковий період робочих днів тижня.

Результати моделювання, отримані на основі матриці кількості маршрутів між ТР, матриці тривалості руху між ТР та даних натурних досліджень, містяться в додатку Б). Усереднені значення цих досліджень та моделювання наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати натурних обстежень та моделювання пасажиропотоків у PTV Visum

Тип маршруту	Час оберт на маршруті, хв	Величина пасажиропотоку на маршруті за оберт, отримана в результаті:		
		натурних обстежень (середнє значення)	моделювання (матриця кількості маршрутів)	моделювання (матриця тривалості переміщення)
Автобус (діаметральний)	47	176	180	205
Тролейбус (радіальний)	50	186	165	185
Трамвай (радіальний)	45	249	264	280
Трамвай (діаметральний)	55	218	225	241

Тип маршруту	Час обертгу на маршруті, хв	Величина пасажиропотоку на маршруті за оберт, отримана в результаті:		
		натурних обстежень (середнє значення)	моделювання (матриця кількості маршрутів)	моделювання (матриця тривалості переміщення)
Автобус (хордовий)	85	142	134	150
Автобус (діаметральний)	130	199	206	218
Автобус (діаметральний)	163	202	213	225
Автобус (діаметральний)	136	180	191	200

Порівняння отриманих результатів моделювання пасажиропотоків на маршрутах ГТ з урахуванням даних про кількість безпересадкових маршрутів та результатів натурних обстежень дає підстави говорити про адекватність результатів моделювання. Отже, визначення попиту на переміщення з використанням PTV Visum надає можливість моделювати роботу ММ.

3.2. Визначення сприйняття користувачами якості транспортних послуг

З метою визначення сприйняття користувачами якості послуг проводилося опитування мешканців міста Львова.

Опитування проводилося як на зупинках ГТ, так і онлайн (за допомогою Google Forms) (Додаток Б). Загалом вибірка склала 1100 анкет. Дослідження проводилось у жовтні-листопаді 2019 року. Учасниками анкетування були користувачі ГТ з різних районів Львова. Вікова категорія користувачів під час опитування на зупинках ГТ – від 17 до 70 років. В анкетах, отриманих за допомогою Google Forms, вікова категорія, а також місце проживання та маршрути, якими користувалися респонденти, не були визначені. При встановленні мети більшість респондентів на зупинках ГТ обрали поїздки «робота» та «покупки», а під час опитування за допомогою Google Forms

більшість респондентів вказали мету поїздки «навчання». З вищесказаного можна зробити висновок, що результати анкетування за допомогою Google Forms здебільшого отримують від учнів та студентів.

Під час проведення опитування отримано 1100 відповідей мешканців міста Львова віком від 17 до 70 років. Відповідно до методології Педченко Г, для визначення репрезентативності вибірки необхідно розрахувати достатню вибірку із 95% довірчою ймовірністю для випадкового неповторного відбору (за формулою 3.1) [119]:

$$n = \frac{t^2 \sigma_x^2 N}{\Delta_x^2 N + t^2 \sigma_x^2}, \quad (3.1)$$

де t – коефіцієнт надійності для відповідного значення ймовірності (для 95% довірчої ймовірності становить 1,96);

σ_x – дисперсія вибіркової сукупності (за невідомості приймається рівною максимальному можливому значенню – 0,25);

N – обсяг генеральної сукупності;

Δ_x – гранична помилка вибірки (для 95% довірчої ймовірності становить 0,05).

Провівши розрахунок, отримали таке значення необхідного розміру вибірки:

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 0,25^2 \cdot 524400}{0,05^2 \cdot 524400 + 1,96^2 \cdot 0,25^2} = 96 \text{ осіб.}$$

Помилка репрезентативності розраховується за формулою:

$$\mu = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n} \left(1 - \frac{n}{N}\right)}, \quad (3.2).$$

Тоді для отриманої кількості відповідей 1100 помилка репрезентативності становить:

$$\mu = \sqrt{\frac{0,5^2}{1100} \left(1 - \frac{1100}{524400}\right)} = 0,015.$$

Згідно з отриманими розрахунками, опитування можна вважати достатньо репрезентативним.

У процесі аналізу літературних джерел встановлено, що основними показниками впливу в анкетах були (результати якого представлено у роботі [120]):

- мета поїздки (А);
- тривалість поїздки (В);
- наповненість салону ТЗ (С);
- піша доступність до зупинки (Е);
- вид ГТ для переміщення (за можливості) (Д).

Кількість поїздок залежно від мети (результати наведено в таблиці 3.3):

- найбільше поїздок було здійснено з метою навчання – 34%, (7% з них довелося їхати з пересадками);
- 20% респондентів їхали на роботу (з них 7% пересіли на інший вид транспорту чи маршрут);
- 17% поїздок були за покупками (з них майже 4% з пересадками);
- 29% поїздок були з іншою метою.

Таблиця 3.3

Здійснення поїздок в залежності від їхньої мети

Мета поїздки	Кількість користувачів транспортних послуг	З них з пересадками
Навчання	370	26
Робота	220	15
Покупки	190	7
Інше	320	0

Користувачі транспортних послуг, які подорожували з пересадками, змушені обирати саме цей маршрут, оскільки поїздка на роботу чи навчання є фіксованою та необхідною, але альтернатива подорожі одним видом транспорту відсутня. Це збільшує витрати часу та грошей споживача, а відтак ГТ втрачає свою привабливість.

Досліджуючи, скільки часу потрібно, щоб дістатися до необхідного пункту призначення (рис. 3.9), виявили, що 42% респондентів вважають оптимальним часом у дорозі до місця призначення 15-30 хвилин, ще для 36% цей час – 30-45 хвилин. Це пов'язано з тим, що у Львові є велика кількість діаметральних

маршрутів. Вони проходять від спальних районів у напрямку до місць навчання та роботи, які знаходяться на протилежному кінці міста.

При поїзді тривалістю менше 15 хвилин 7% користувачів надають перевагу ГТ. Оскільки при такому часі поїздки є альтернатива в переміщенні (наприклад, піша прогулянка). Коли тривалість поїздки перевищує 45 хвилин, то її здійснюють 15% респондентів. При такій тривалості поїздки ГТ втрачає свою привабливість і користувачі обирають інший вид транспорту (індивідуальний автомобіль, послуги таксі, альтернативні види поїздок).

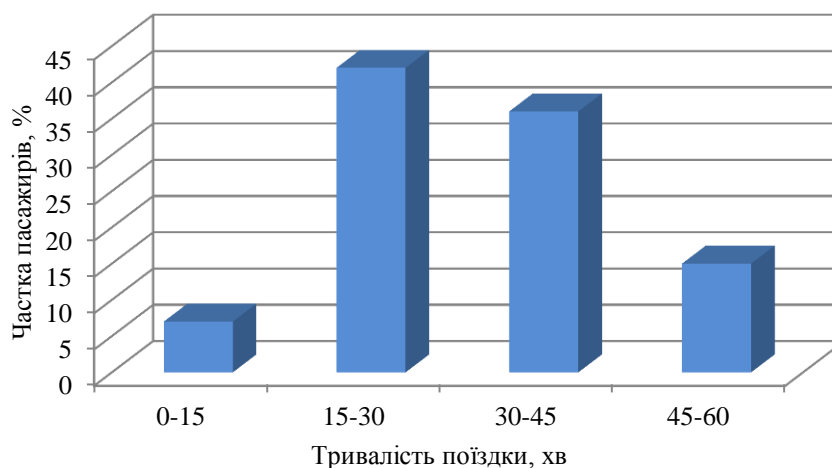


Рис. 3.9. Структура попиту на послуги ГТ залежно від тривалості поїздки

При тривалості поїздки від 15 до 45 хв. сумарна частка користувачів склала 78%. Отже, переважна кількість переміщень у м. Львів припадає на радіальні і діаметральні маршрути.

Ще одним фактором, який впливає на попит на користування ГТ, є комфортність поїздки. В опитуванні комфортністю поїздки ми вважаємо наповненість салону ТЗ. Респонденти вказали наступні рівні завантаженості салону ГТ під час поїздки:

- є вільні місця (20%);
- всі місця зайняті (40%);
- усі місця зайняті, кількість пасажирів, які стоять, не більше половини салону (60%);

- усі місця зайняті, кількість пасажирів, які стоять, наближається до максимальної, але стояти зручно (80%);
- скупченість у салоні (100%).

Дані щодо комфортності поїздки наведені на рис. 3.10. Найбільша кількість респондентів (41%) здійснюють поїздки, коли ТЗ заповнений на 80%. Найменша кількість пасажирів (3%) їхала при заповненості автобуса на 20%, що може бути пов'язано з початком маршруту або часом його курсування.

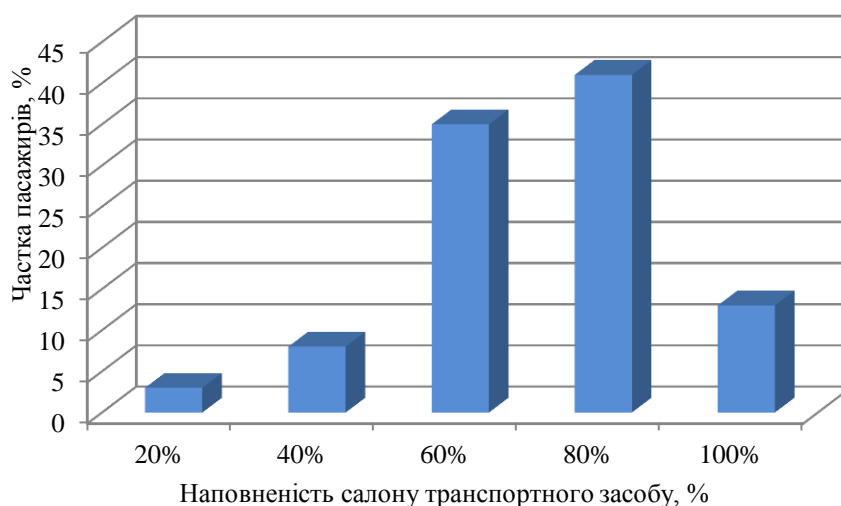


Рис. 3.10. Структура попиту на послуги ГТ залежно від комфортності поїздки (наповнення салону ТЗ)

Переважна кількість поїздок (71 %) здійснюється при наповненості ТЗ від 60 до 80%.

Відстань пішої досяжності до системи ГТ є одним з показників впливу на послуги, оскільки, крім тривалості поїздки, час, затрачений на підхід до зупинки ГТ, впливає на загальний час добирання до місця призначення. У запропонованій анкеті респонденти вказали відстань до зупинки ГТ від 200 до 1000 м (рис. 3.11). Більшість опитаних (42%) вказали відстань пішої доступності до 200 м, і лише 6% від опитаних щоразу проходять відстань у межах 800-1000 м..

У більшості відповідей піша досяжність ГТ оцінена до 200 м (42%) та до 400 м (26%). Піша досяжність, більша за 1000 м, зустрічається нечасто (6%).



Рис. 3.11. Структура попиту на послуги ГТ залежно від відстані пішого підходу до зупинки

У м. Львів послуги ГТ надають великі автобуси (місткістю до 100 пасажирів, малі автобуси (місткістю до 43 пасажирів), тролейбуси та трамваї. За можливості користувач може обрати різний вид транспорту. В анкеті респонденти вказували вид транспорту, яким вони користуються за наявності. Найчастіше у м. Львів користуються великими автобусами, оскільки цей тип ТЗ зараз представлений дуже широко, адже ці автобуси нові і низькопідлогові. Відсоток тих користувачів, які їхатимуть трамваями та тролейбусами, становить відповідно 18% та 16% (рис.3.12). Це пояснюється фіксованою мережею трамвайних та тролейбусних маршрутів.

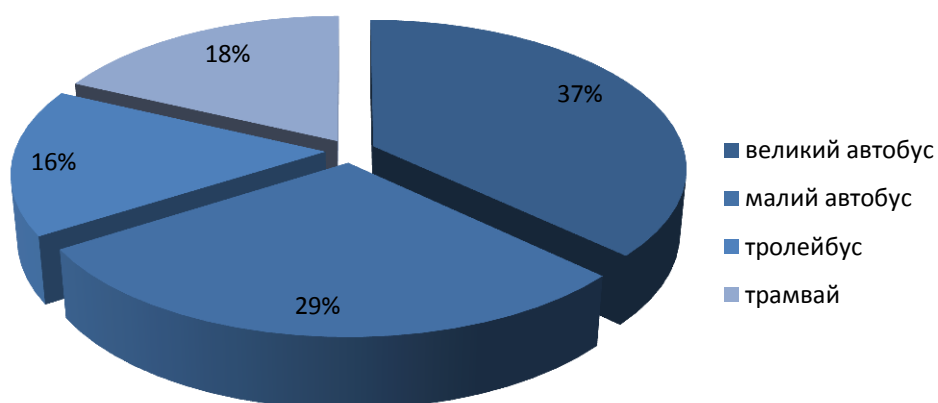


Рис. 3.12. Вибір виду транспорту користувачами послуг (за можливості)

Провівши аналіз п'яти показників впливу на якість надання послуг ГТ, можемо константувати, що:

- 1) за метою поїздки 54% поїздок здійснюють на роботу та навчання;
- 2) тривалість 78% поїздок склала від 15 до 45 хвилин;
- 3) переважна кількість поїздок (71%) здійснюється при наповненості салону від 60 до 80%;
- 4) піша досяжність до зупинок ГТ у 68% випадків становить до 400 м і лише у 6% більша за 1000 м;
- 5) більшість переміщень у ММ здійснюються автобусами (66%), у той час як тролейбусом – 16%, а трамваєм – 19%.

3.3. Оцінка ймовірності пересадки на зупинці громадського транспорту (із застосуванням Байєсівських мереж)

Однією з важливих складових підвищення якості перевезення є оптимізація пересадок на зупинках ГТ. Для прогнозування пересадки використовуємо метод побудови Байєсівських мереж (описаному в пункті 2 розділу 2). Потреба у здійсненні пересадки виникає за необхідності здійснити поїздку між ТР, а прямого маршруту при виконанні переміщення немає. Для визначення впливу цих показників на можливість пересадки проведено моделювання в PTV Visum (на прикладі м. Львів).

У результаті процедури моделювання отримано добові значення кількості посадок, висадок і пересадок на кожній із зупинок (пересадки можуть відбуватися як безпосередньо на зупинці, так і з пересадкою на сусідню зупинку). На рис. 3.13 наведено результати моделювання кількості пересадок: з поділом на такі, які виконуються безпосередньо на зупинці, і пересадки, які виконуються з переходом на сусідню зупинку (в радіусі 200 м).

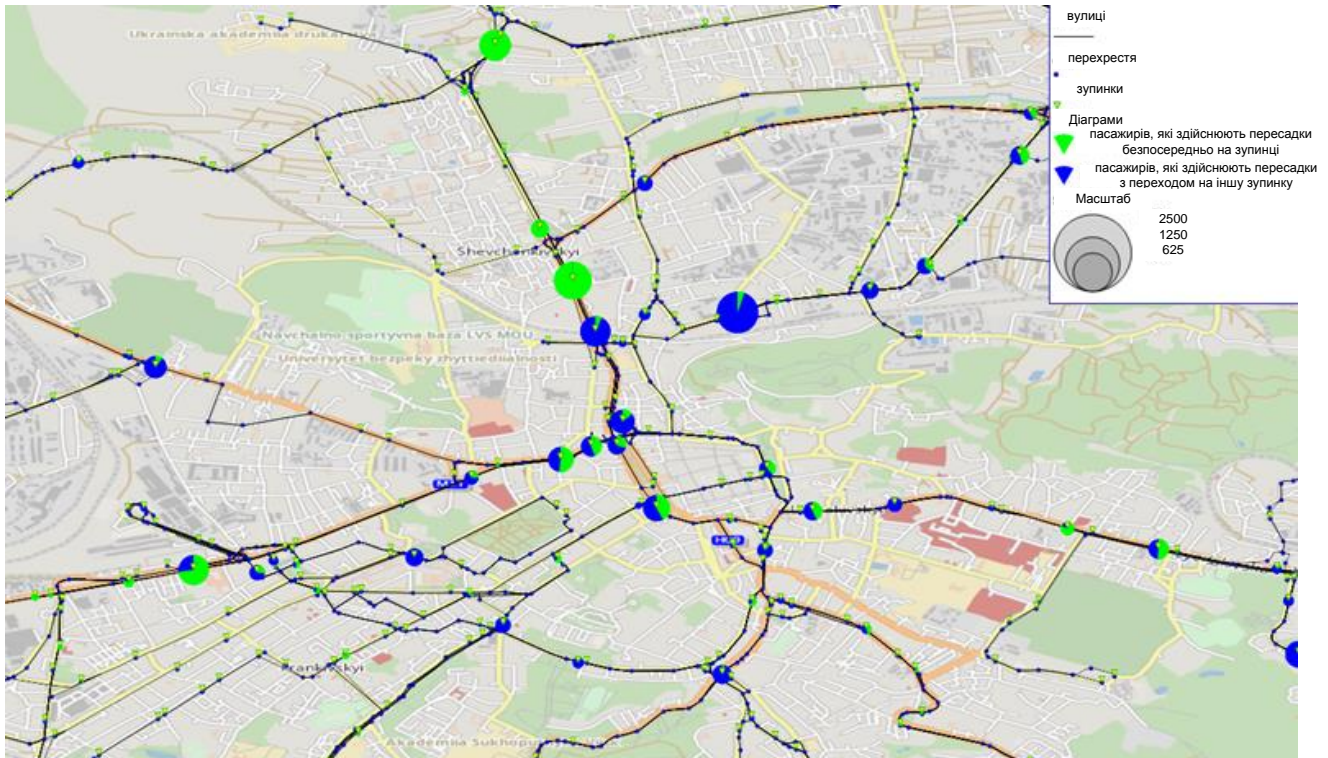


Рис. 3.13. Діаграма кількості пересадок на зупинках ГТ Львова (фрагмент) – результати моделювання в програмному середовищі PTV Visum

Отримана лінійна регресійна модель кількості пересадок за добу на зупинці (коефіцієнт множинної кореляції становить $R = 0.78$) має вигляд [80]:

$$N_{transfet} = -0,77 \cdot N_{suburban} + 5,24 \cdot N_{urban} + 0,85N_{dis} - 51,9 \quad (3.3)$$

де $N_{suburban}$ – кількість позаміських маршрутів, що зупиняються на зупинці;

N_{urban} – кількість міських маршрутів, що зупиняються на зупинці;

N_{dis} – загальна кількість пасажирів, які здійснюють висадку на цій зупинці (пас/добу).

На рис. 3.14 представлено графічну апробацію моделі (3.1) для випадків кількості висадок на зупинці 400 пас/добу та 600 пас/добу при діапазоні зміни кількості міських маршрутів, що проходять через зупинку, від 2 до 20, та кількості приміських маршрутів, що проходять через зупинку, від 0 до 10.

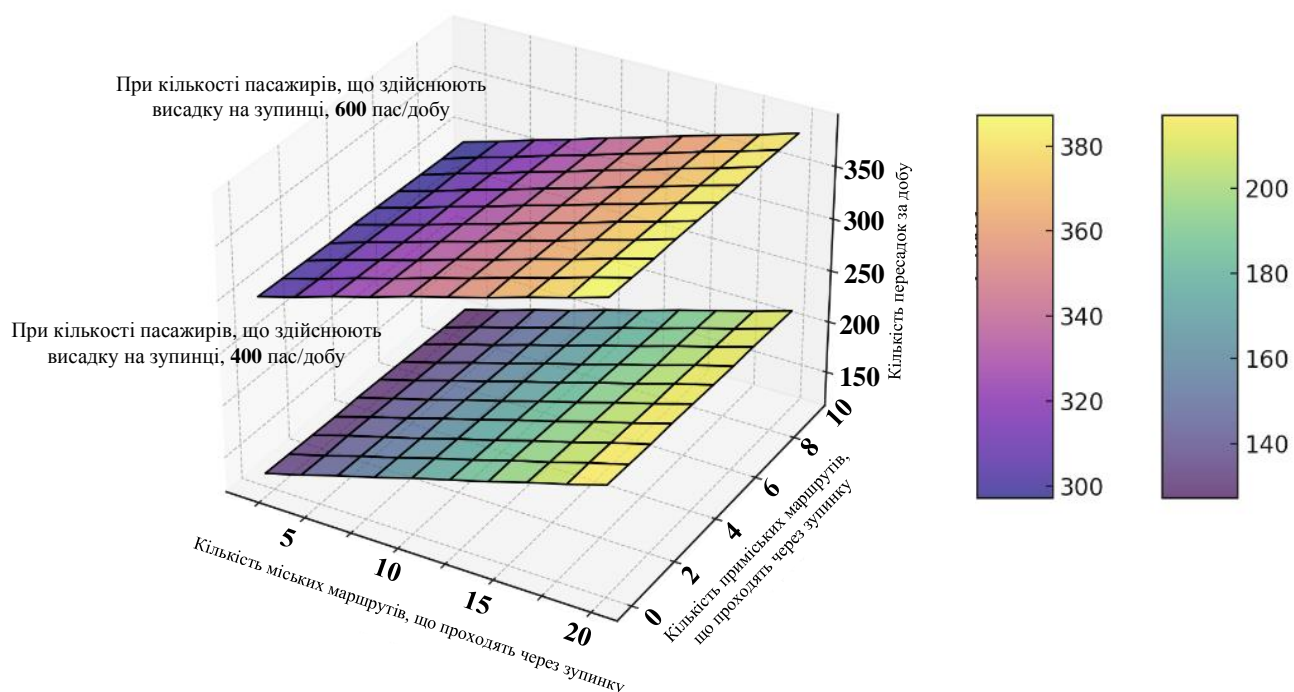


Рис. 3.14. Графічне представлення лінійної регресійної моделі кількості пересадок за добу на зупинці

У ММ Львова наявні зупинки, на яких здійснюється пересадка як між міськими маршрутами, так і між приміськими, які часто проходять територією міста. У більшості випадків кількість міських маршрутів, що проходять через зупинку, не перевищує 20, а кількість приміських маршрутів – 10. Результати моделювання наведені в таблиці 3.4. Є окремі випадки, де кількість міських маршрутів на зупинці налічує 23, така максимальна кількість маршрутів, яка проходить через зупинку, зустрічається вкрай рідко та ускладнює функціонування ММ.

Таблиця 3.4.

Результати моделювання кількості пересадок при зміні вхідних значень

Кількість пасажирів, що здійснюють висуадку на зупинці, пас/добу	Кількість маршрутів, що проходять через зупинку, при якій кількість пересадок максимально наближається до кількості висуадок	Прогнозована максимальна кількість пересадок на зупинці	Кількість пересадок якщо кількість маршрутів, що проходять через зупинку, становить 23
200	14	191	239
400	20	393	409
600	26	594	579
800	32	796	749

1000	38	997	919
------	----	-----	-----

Продовження табл. 3.4.

Кількість пасажирів, що здійснюють висадку на зупинці, пас/добу	Кількість маршрутів, що проходять через зупинку, при якій кількість пересадок максимально наближається до кількості висадок	Прогнозована максимальна кількість пересадок на зупинці	Кількість пересадок якщо кількість маршрутів, що проходять через зупинку, становить 23
1200	44	1199	1089
1400	50	1400	1259
1600			1429
1800			1599
2000			1769
2200			1939
2400			2109
2600			2279
2800			2449
3000			2619
3200			2789
3400			2959
3600			3129
3800			3299
4000			3469

Як видно з отриманих результатів, діапазон допустимих вхідних значень звужений тільки при малих значеннях добового пасажиропотоку на вихід (до 400 пас/добу), при подальшому зростанні пасажиропотоку на вихід модель показує теоретично коректні значення. Розрахунки для випадків більше 40 маршрутів, що проходять через зупинку, не проводилися, оскільки такі умови не є реалістичними для ММ.

Результати моделювання середньої тривалості очікування пересадки за рівномірної роботи ТЗ на маршрутах (дотримання графіків) представлені на рис. 3.15, а для можливих відхилень в межах графіка – на рис. 3.16.

При дотриманні графіку руху в 90% випадків середній час очікування не перевищує 3 хвилин, і лише в 2,2% – більший, ніж 6 хвилин. У разі нерегулярних прибуттів середній час очікування коливається в таких межах: у 46% випадків час очікування не перевищує 4 хвилин, у 16% випадків – 4–6 хвилин, у 38% випадків – більший, ніж 6 хвилин (з них 11% – більший, ніж 10 хвилин).

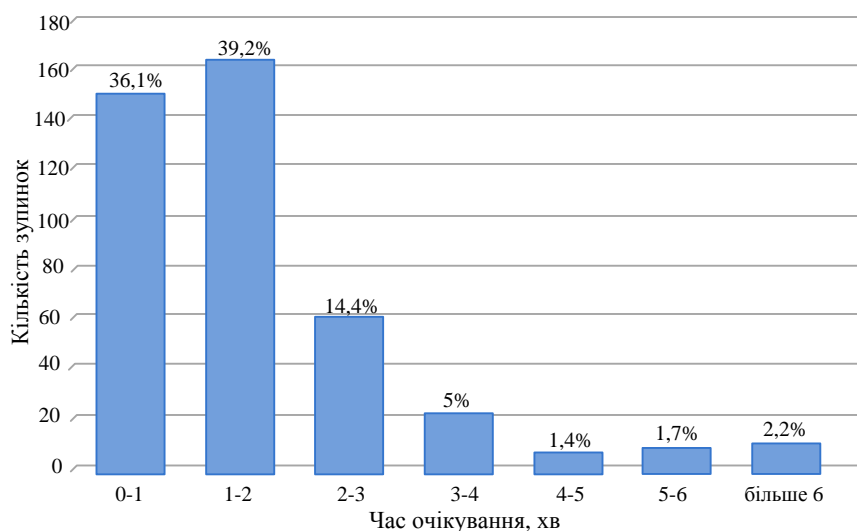


Рис. 3.15. Результати моделювання середньої тривалості очікування пересадки на зупинці (рівномірне прибуття ТЗ)

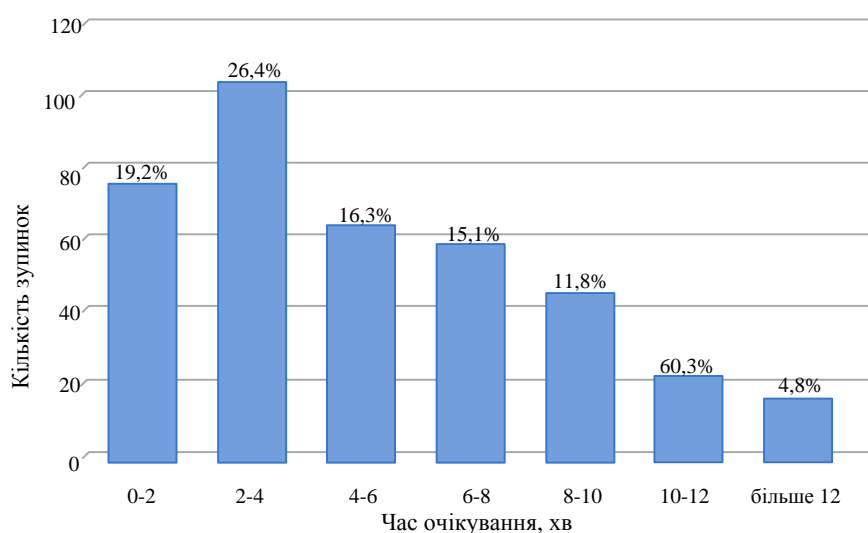


Рис. 3.16. Результати моделювання середньої тривалості очікування пересадки на зупинці (нерівномірне прибуття ТЗ)

Для перевірки адекватності результатів моделювання та доцільності використання Байєсівського підходу до оцінки ймовірності пересадки проведено порівняння результатів розрахунку та результатів моделювання для зупинки ТЦ «Магнус», що розташована в центральній частині міста і характеризується значним пасажиропотоком. Маршрути ГТ прибувають на зупинку з двох напрямків: I напрямок – вул. Городоцька та II напрямок – просп. Чорновола. Також на зупинку з II напрямку прибувають приміські автобуси. Отримані в результаті натурних (осінь 2021 р.) та камеральних досліджень характеристики зупинки та розрахунки на їх основі представлені в таблиці 3.5.

Характеристики зупинки

Показник	Значення показника
Загальна кількість міських маршрутів, що проходять через зупинку	14
Середній інтервал руху на міських маршрутах	15 хв
Загальна кількість приміських маршрутів, що проходять через зупинку	6
Середній інтервал руху на приміських маршрутах	20 хв
Кількість нових міських маршрутів (порівняно з тими, що були на попередній зупинці)	5/9
Імовірність появи нового міського маршруту для пасажирів з напрямку I	0,36
Імовірність появи нового міського маршруту для пасажирів з напрямку II	0,64
Математичне очікування кількості висадок пасажирів на зупинці, μ_{dis} , пас/добу	6125
Дисперсія кількості висадок пасажирів на зупинці, σ_{dis} , пас/добу	612

На основі цих даних, розрахованих за формулою 3.3, ймовірність пересадки на зупинці становить 16,4%.

Характеристики переміщення на цій зупинці, отримані в результаті моделювання, представлені на рис. 3.17.

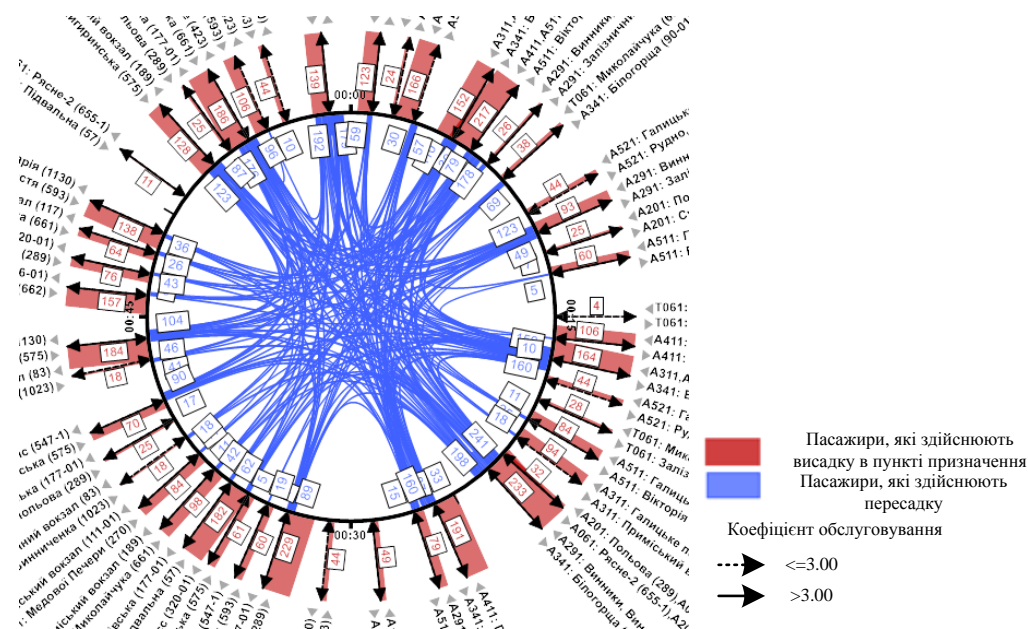


Рис. 3.17. Результати моделювання пересадок на зупинці в програмному середовищі PTV Visum

На рисунку наведено пересадки між маршрутами, які проходять через зупинку, а також кількість пасажирів, які дісталися свого пункту прибуття. Змодельована загальна ймовірність пересадки на зупинці становить 12% (результати роботи наведено [92]).

3.4. Пересадки в міській маршрутній мережі

Теоретично пересадка можлива на будь-якій зупинці ГТ, але на практиці ймовірність пересадки значно збільшиться, якщо на зупинці з'явиться новий маршрут, якого не було на попередній зупинці на шляху пасажирів. Також на ймовірність пересадки впливає загальна кількість маршрутів, які проходять через зупинку (Додаток Б).

У маршрутній мережі міста нами запропоновано виділити три рівні пересадок:

- рівень А: пересадки між міськими маршрутами на зупинках ГТ;
- рівень Б: пересадки між міськими та приміськими маршрутами на зупинках ГТ;
- рівень С: пересадки на/із заміські/их маршрути/ів у вузлах зовнішнього транспорту.

У рамках даної роботи було проведено дослідження пересадок рівнів А і Б.

Ймовірність виконання пересадки можна змодельовати за допомогою логістичної регресії Байєса. Це питання частково висвітлено авторами в роботі [19, 53, 120] і викладено в пункті 2 розділу 2.

Для формування моделей визначення ймовірності здійснення пересадки необхідним є аналіз маршрутної мережі та опитування користувачів транспортних послуг для визначення транспортної поведінки.

Проведено онлайн-опитування щодо транспортної поведінки користувачів під час переміщення ГТ (за підтримки управління транспорту Львівської міської ради). Опитування проводилося протягом лютого – листопада 2022 року. Всього

надійшло 5224 відповіді, що допускає похибку 3% з імовірністю 95% (Додаток В2).

Перша частина анкети складалася із запитання про соціально-економічні характеристики респондентів. Узагальнені дані представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Характеристика вибірки опитаних

Показник	Кількість респондентів	Частина вибірки, %
Стать		
- чоловіки	2503	48
- жінки	2721	52
Вік:		
- до 17 років	283	5.4
- 17 – 23 роки	1423	27.2
- 24 – 29 років	1079	20.7
- 30 – 39 років	1437	27.5
- 40 – 49 років	648	12.4
- 50 – 59 років	252	4.8
- більше 60 років	102	2.0
Професійний статус:		
- учні	210	4.0
- студенти	953	18.2
- люди з неповною зайнятістю	296	5.7
- люди з повною зайнятістю	3285	62.9
- безробітні	330	6.3
- пенсіонери	150	2.9
Фінансовий дохід:		
- до 5 тис. грн. (<125 \$)	383	7.3
- 5-10 тис. грн (125-250 \$)	991	19
- 10-15 тис. грн (250-375 \$)	1005	19.2
- 15-20 тис. грн (375-500 \$)	667	12.8
- 20-30 тис. грн (500-750 \$)	356	6.8
- 30-40 тис. грн (750-1000 \$)	142	2.7
- > 40 тис. грн (>1000 \$)	407	7.8
- не працюють	891	17.1
- відмовилися відповідати	382	7.3

Загалом 35% від усієї вибірки респондентів здійснюють пересадку під час переміщення містом ГТ. Більш детальний аналіз дозволяє зробити такі висновки:

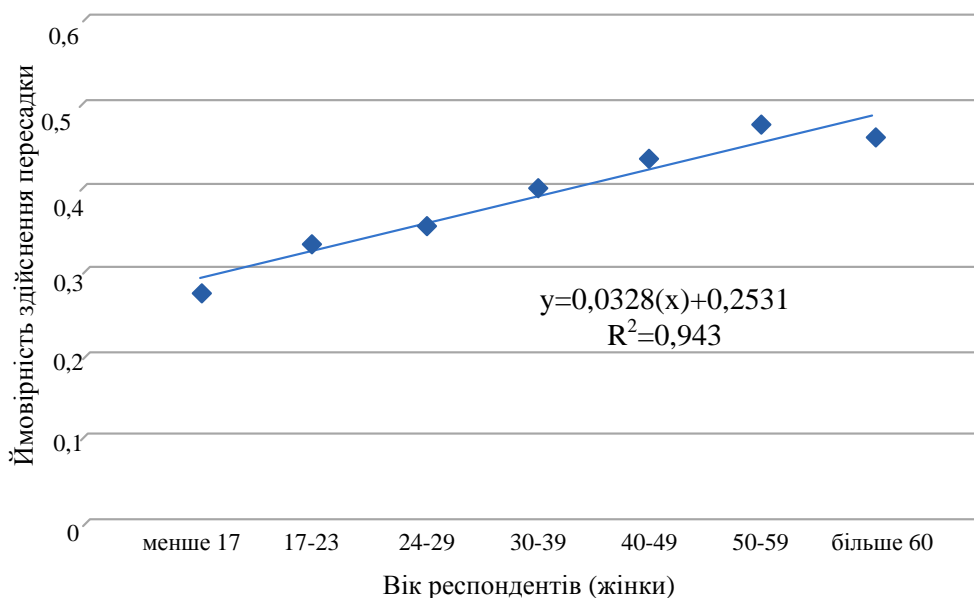
- жінки дещо частіше за чоловіків користуються маршрутами з пересадкою: 37,1% проти 33,2%. З віком і чоловіки, і жінки частіше надають перевагу маршрутам з пересадкою (рис. 3.18 а, б);

- зі збільшенням доходу ймовірність пересадок зменшується як у чоловіків, так і у жінок. У жінок ця тенденція різкіша: ймовірність пересадок змінюється від 0,42 до 0,22; у чоловіків діапазон зміни від 0,38 до 0,23 (рис. 3.19 а);

- на рис. 19 б показано зміну ймовірності здійснення поїздки з пересадкою залежно від періоду доби, коли пасажир починає свою подорож. Найбільша ймовірність обрати таку поїздку вранці (до 7:00), що, очевидно, пов'язано з невеликою кількістю маршрутів ГТ, які вже працюють, та комфортністю поїздки (наповненістю ТЗ);

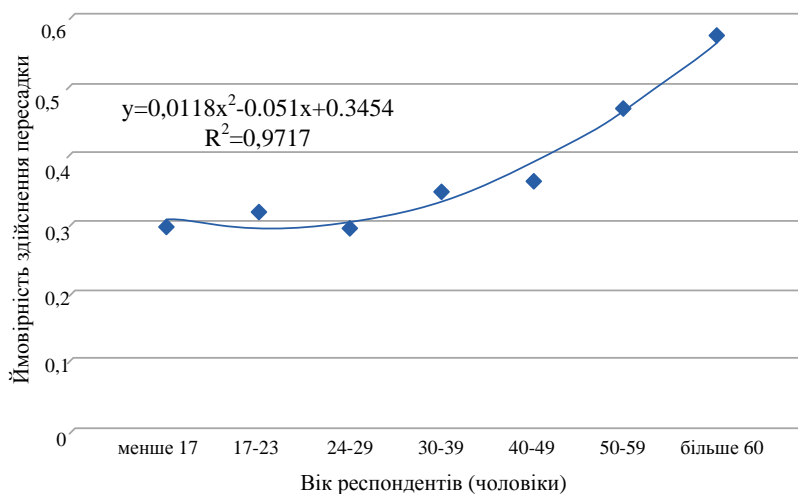
- існує чітка залежність між тривалістю очікування на зупинці ГТ та ймовірністю вибору поїздки з пересадкою (рис. 3.19 в);

- ймовірність здійснення поїздки з пересадкою також експоненціально зростає зі збільшенням тривалості поїздки (рис. 3.19 г).



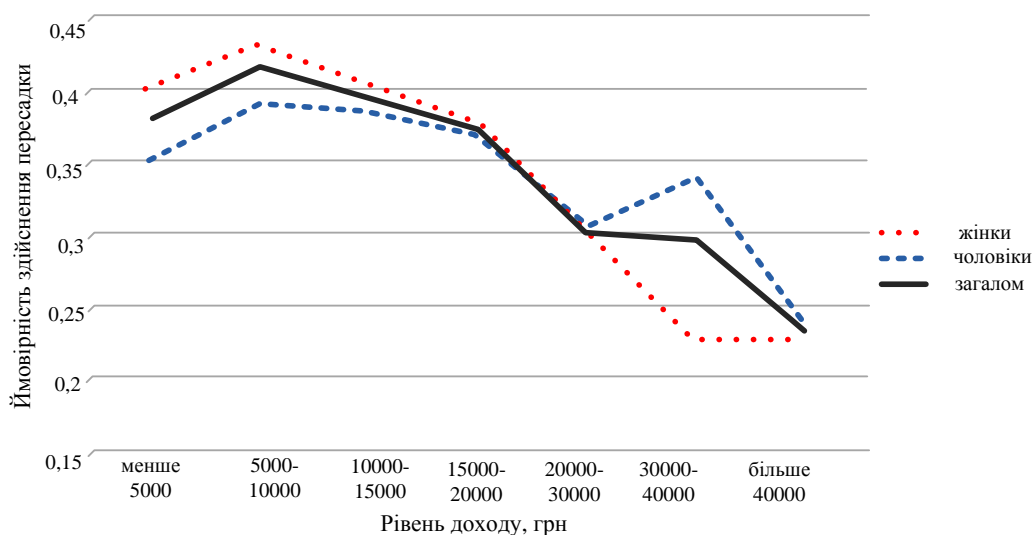
а)

*Рис. 3.18. Залежність ймовірності виконання пересадки від соціальних характеристик пасажирів та параметрів поїздки
а) жінками залежно від віку; б) чоловіками залежно від віку*

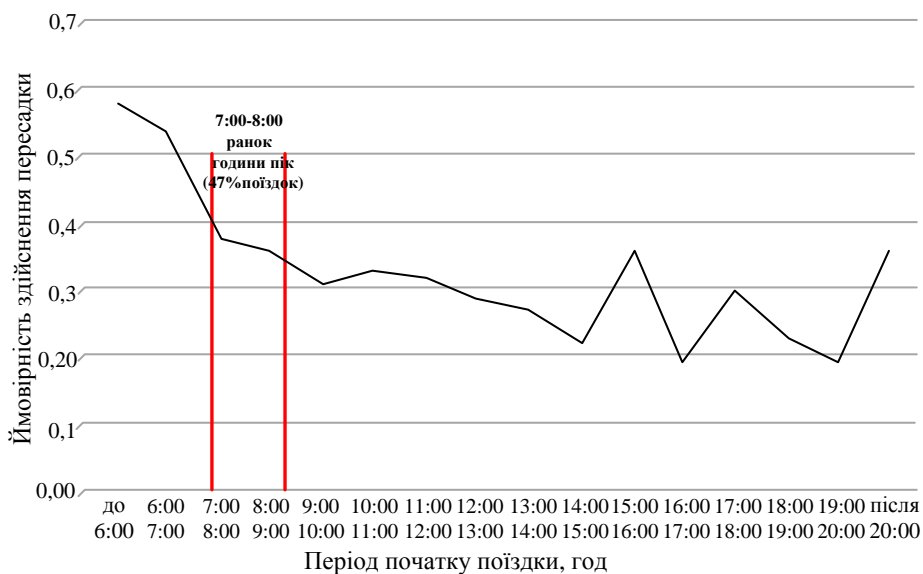


б)

Продовження рис. 3.18.

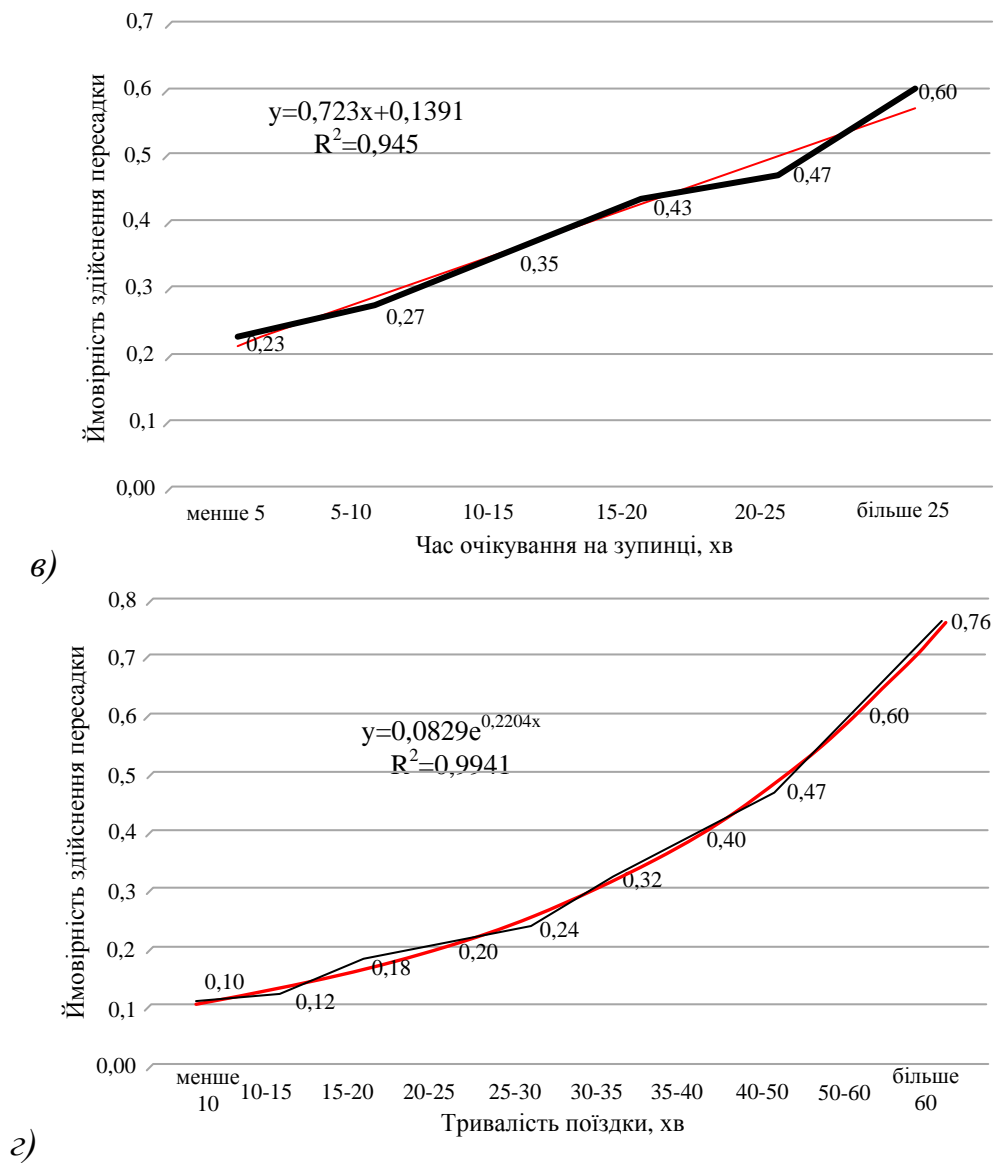


а)



б)

Рис. 3.19. Залежність імовірності виконання пересадки від параметрів поїздки: а) рівня доходу; б) періоду початку поїздки; в) тривалості очікування на зупинці ГТ, г) загальної тривалості переміщення



Продовження рис. 3.19.

Значення змінної x в регресійних рівняннях на графіках змінюється від 1 до 10. Кожному числу відповідає відповідний діапазон значень.

З метою визначення впливу інформаційного забезпечення зупинки на ймовірність вибору її пасажиром проведені дослідження на 54 зупинках Львова, з яких 18 були обладнані електронними табло. Дані дозволяють оцінити вплив наявності інформаційного забезпечення на зупинці на середню кількість пасажирів, що здійснюють очікування на ТЗ ГТ (рис. 3.20, таблиця 3.7).

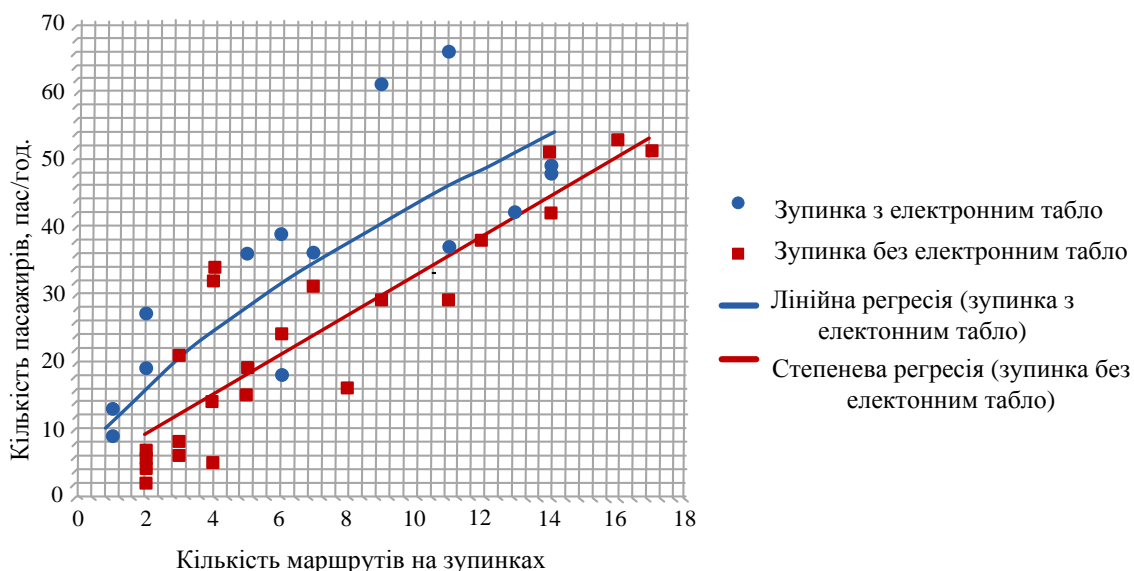


Рис. 3.20. Вплив інформаційного забезпечення зупинки на ймовірність вибору її пасажиром

Таблиця 3.7

Вплив наявності електронного табло на зупинці на вибір пасажирів

Показник	Інформаційне забезпечення на зупинці	
	Є електронне табло	Немає електронного табло
Залежність вибору зупинки від кількості маршрутів, що проходять через неї	$y = 10,259 \cdot x^{0.6238}$	$y = 2,9266 \cdot x + 3,2405$
Коефіцієнт вірогідності апроксимації	$R^2 = 0,69$	$R^2 = 0,81$
Діапазон зміни кількості маршрутів	1 – 18	1 – 18
Діапазон зміни середньої кількості пасажирів, що здійснюють посадку в один ТЗ	3 – 14	1 – 9
Діапазон найвірогіднішої кількості пасажирів, що здійснюють посадку в один ТЗ	3 – 7	1 – 4
Імовірність попадання фактичної кількості пасажирів, що здійснюють посадку в один ТЗ на зупинці, в окреслений діапазон	0,67	0,83

При однаковій кількості маршрутів, що проходять через зупинку, пасажир швидше вибере ту, де є інформаційне забезпечення (електронне табло), оскільки вона є більш привабливою для користувача транспортних послуг. Проте тенденція вибору змінюється зі збільшенням кількості маршрутів. Наприклад, імовірність

очікування ТЗ на зупинці з електронним табло при 5 маршрутах становить 28 пасажирів/годину, а на зупинці без табло – 18 пасажирів/годину (різниця 36%), при 10 маршрутах – 43 і 32 пасажирів/годину відповідно (різниця 26%), при 15 маршрутах – 56 і 47 пасажирів/годину (різниця 16%). Дані проведених досліджень використовуються при моделюванні оцінки рівня задоволеності пасажирів тривалістю очікування на зупинці.

3.5. Зміна попиту під впливом зовнішніх чинників природного або техногенного характеру (Covid-19)

Пандемія Covid-19 торкнулася всіх сфер обслуговування. Що стосується перевезень ГТ, то зміни значні, адже для забезпечення якісних та безпечних перевезень необхідне обмеження кількості пасажирів у салоні ТЗ. Муніципальна влада повинна звернути увагу на зміни, що відбулися при виборі переміщення містом, і внести необхідні корективи (результати роботи наведено у роботах [122, 123]).

Обмеження кількості осіб, які можуть перебувати в салоні ГТ, стало наслідком поширення коронавірусної хвороби, загальна кількість осіб не повинна була перевищувати нормативної кількості місць для ТЗ. Страх людей інфікуватися в ГТ також неабияк впливав на вибір способу переміщення.

Для визначення змін у виборі виду переміщення було проведено опитування мешканців м. Львова за допомогою онлайн-анкетування (за допомогою Google Forms), де респондентам пропонувалося дати відповіді на запитання, якому виду переміщення надавали перевагу до та після запровадження карантинних обмежень (рис. 3.21).

Якому виду пересування Ви надавали перевагу до введення карантинних обмежень?

автобус;

трамвай;

тролейбус;

велосипед;

власний автомобіль;

пересування пішки.

Якому виду пересування Ви надасте перевагу після введення карантинних обмежень?

автобус;

трамвай;

тролейбус;

велосипед;

власний автомобіль;

пересування пішки.

Рис. 3.21. Форма анкети для опитування Google Forms

У результаті обробки отриманих результатів встановлено, що відсоток користувачів ГТ знизився з 55% до 37%. Отримані в ході обстеження результати вибору типу переміщень наведені на рис. 3.22 і 3.23.

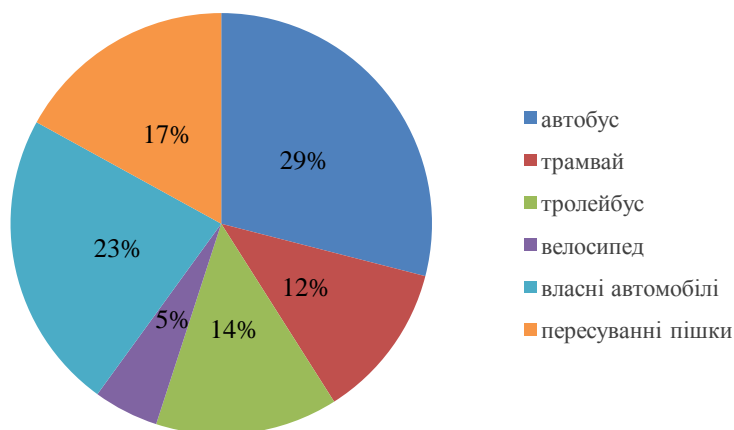


Рис. 3.22. Вибір виду переміщення в межах міста до введення карантинних обмежень

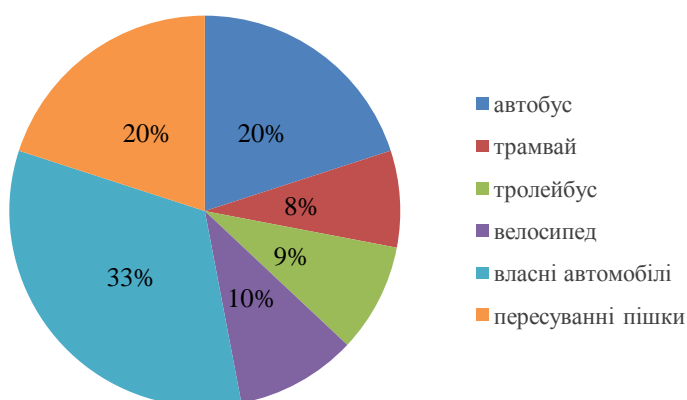


Рис. 3.23. Вибір виду переміщення в межах міста після введення карантинних обмежень

Мешканці міста все частіше користуються велосипедами, кількість поїздок на них зросла вдвічі: з 5% до 10% (відповідно до та після введення карантинних

обмежень). Також на 3% зросла кількість переміщень пішки (з 17% до 20%). Відносно невелике підвищення цього показника може бути пов'язане з тим, що для багатьох громадян відстань і відповідно тривалість ходьби є занадто великою.

Найсуттєвішою зміною стало використання індивідуального автомобіля для поїздок містом. До запровадження карантинних обмежень 23% людей користувалися ІТ, після запровадження ця частка зросла до 33%, незважаючи на вищу вартість такого переміщення. Це пов'язано з можливістю відокремлення від інших користувачів транспортних послуг в умовах карантину. До того ж переміщення ІТ є більш комфортне з точки зору пасажирів (нема потреби гаяти час на підхід до зупинки та очікування ТЗ). Негативним наслідком такого вибору стало збільшення інтенсивності руху ТЗ та затримки під час поїздки.

Переміщення ГТ скоротилося із 55% до 37% після впливу Covid-19. Наслідки обмежень на ГТ відчуються до цього часу.

3.5. Висновки до розділу

1. Проаналізовано систему ГТ (на прикладі м. Львів). Наведено кількість маршрутів, які проходять через ТР міста та його центральну частину з результатами натурних досліджень та моделюванням пасажиропотоку. Проведено порівняння результатів натурних обстежень та отриманих даних методом моделювання, що дає підстави говорити про адекватність результатів моделювання.

2. Проведено анкетування користувачів транспортних послуг щодо поведінки при виборі переміщень ММ. Встановлено, що основними поведінковими показниками при виборі поїздки є мета та тривалість поїздки, наповненість салону, відстань пішого підходу до зупинки та вид ГТ. Найбільша кількість пасажирів здійснює поїздки з метою навчання – 34% та на роботу – 20%. Тривалість поїздки у 50% опитаних становила 15-30 хв. Щодо наповненості ТЗ, то найбільша частка пасажирів (41%) відповіла, що їхала в салоні, заповненому приблизно на 80 % (всі сидячі місця були зайняті, а кількість стоячих наближалася до максимуму). Аналізуючи відстань підходу до зупинки, зазначимо,

що чим менша відстань підходу (до 400 м), тим більша частка користувачів скористаються послугами ГТ (42%). Поїздки здійснювалися зазвичай великими автобусами (37%).

3. За результатами проведеного моделювання (із застосуванням Байєсівських мереж) отримано значення ймовірності пересадок на зупинці, яке в мережі становить 12%. При чіткому дотриманні розкладу руху в 90% випадків середня тривалість очікування не перевищує 3 хв, і тільки в 2,2 % є більшою, ніж 6 хв. У випадку нерівномірного прибуття середня тривалість очікування коливається в таких межах: у 46% випадків час очікування не перевищує 4 хв, у 16% випадків знаходиться в межах 4 – 6 хв і в 38% випадків – більше, ніж 6 хв (з них 11% – більший, ніж 10 хв).

4. Для визначення кількості можливих пересадок проводилося опитування серед респондентів міста Львова. Під час аналізу даних було виявлено залежності ймовірності виконання пересадок від соціальних та економічних умов. Визначено, що жінки користуються маршрутами з пересадками частіше, ніж чоловіки (37,1% та 33,2 % відповідно). Зі зростанням доходу ймовірність переміщень з пересадкою зменшується як у чоловіків, так і в жінок (у чоловіків від 0,38 до 0,23, у жінок від 0,42 до 0,22). Досліджено вплив наявності електронного табло на вибір зупинки ГТ: імовірність очікування ТЗ на зупинці з електронним табло при 5 маршрутах становить 28 пасажирів/годину, а на зупинці без табло – 18 пасажирів/годину (різниця 36%), при 10 маршрутах – 43 і 32 пасажирів/годину відповідно (різниця 26%) , при 15 маршрутах – 56 і 47 пасажирів/годину (різниця 16%).

5. Дослідження, проведені методом анкетування під час періоду карантинних обмежень, пов'язаних з пандемією Covid-19, дали можливість оцінити рівень надання транспортних послуг у цей період. Зокрема користування ГТ зменшилося на 18 %, при цьому користування індивідуальним автомобілем та велосипедом збільшилося на 10 % та 5% відповідно. Отримані дані дають можливість прогнозувати попит на переміщення на час дії чинників техногенного і природного характеру.

РОЗДІЛ 4

ПРОГНОЗОВАНІ ЗМІНИ ПОПИТУ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ МІСТ

4.1. Вплив поведінки користувачів транспортних послуг на функціонування міського пасажирського транспорту

Основний показник, який визначає функціонування міської пасажирської транспортної мережі, – попит, що не є сталим і змінюється в часі та просторі. Коливання попиту можуть бути короткостроковими (денні коливання), середньостроковими (сезонні коливання) та довгостроковими (багаторічні коливання). Для врахування цієї нестабільності міська пасажирська мережа має бути адаптивною. Для прогнозованих коливань пасажиропотоків доцільно визначити параметри функціонування, які б могли задовільнити змінний попит з достатнім рівнем якості обслуговування, враховуючи при цьому певні економічні обмеження.

Користувач пасажирської ТС, обираючи спосіб свого переміщення міською територією, зазвичай оцінює цей спосіб за допомогою якісних термінів: «зручно», «добре», «погано», «довго». Переведення якісних характеристик у кількісну оцінку дозволить сформулювати рекомендації щодо значень певних параметрів функціонування міської ТС.

Для визначення кількісних показників якості наданих послуг проведено порівняння існуючих параметрів функціонування маршрутної мережі Львова (станом на березень 2023 року) прогнозованим попитом на переміщення, який визначають з урахуванням оцінки цих параметрів користувачами ГТ.

У Львові ММ має характеристики, які узагальнено в таблиці 4.1.

Згідно з даними Державного управління статистики, станом на 2022 рік у Львові налічувалося 717270 мешканців.

Таблиця 4.1

Характеристики маршрутної мережі Львова

Маршрути	Значення
Загальна кількість міських маршрутів ГТ	67
- автобусні маршрути (автобуси великої пасажиромісткості)	18
- автобусні маршрути (автобуси середньої пасажиромісткості)	31
- тролейбусні маршрути	10
- трамвайні маршрути	8
Кількість міських радіальних маршрутів	23
Кількість міських діаметральних маршрутів	26
Кількість міських хордових маршрутів	18
Кількість приміських маршрутів ГТ, які частково рухаються в міській мережі	59
Кількість міських маршрутів з розрахунку на 10000 осіб населення ¹	0,93
Загальна кількість маршрутів (міські та приміські) з розрахунку на 10000 осіб населення	1,76

1. Кількість міських маршрутів з розрахунку на 10 тис. мешканців міста є одним з індикаторів функціонування мережі ГТ [124]. Міжнародна асоціація ГТ (Union Internationale des Transports Publics) рекомендує мінімум 1 маршрут ГТ на 10 тис. мешканців.

Отримані нижче результати можна інтерполювати на значні міста з більшою часткою автобусних маршрутів та наявністю маршрутів різної конфігурації за принципом: діаметральні маршрути > радіальні маршрути > хордові маршрути.

Оцінки параметрів функціонування маршрутної мережі Львова отримано на основі результатів опитувань, про які йшлося в 3 розділі: окремий блок запитань стосувався задоволеності рівнем транспортного обслуговування. Респонденти оцінювали за 5-тибальною шкалою Лейкарта (5 – дуже добре, 4 – добре, 3 – задовільно, 2 – погано, 1 – дуже погано) такі параметри: тривалість очікування на зупинці ГПТ, тривалість поїздки, час очікування пересадки та час роботи ГТ.

На рис. 4.1 подано діаграму розподілу середніх тривалостей очікування на зупинці ГТ, а на рис. 4.2 – загальний розподіл оцінок пасажирами рівня їхньої задоволеності параметром «тривалість очікування на зупинці» (результати представлено у роботі 122.)

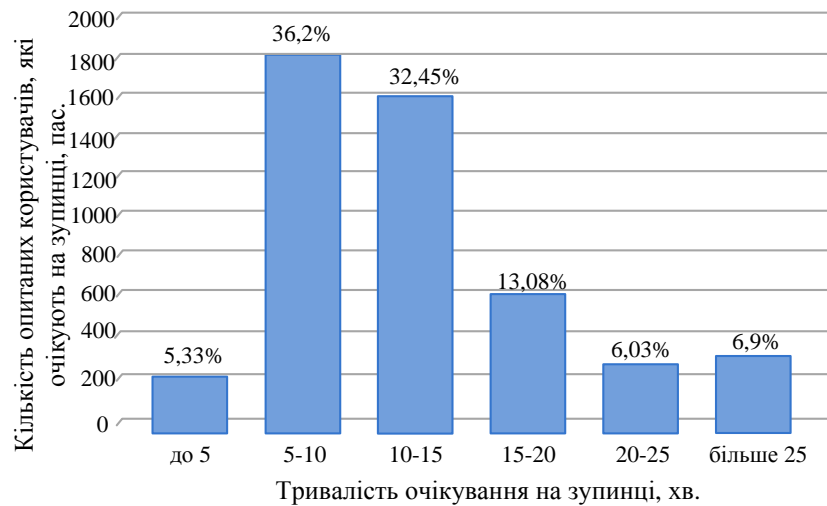


Рис. 4.1. Розподіл середніх тривалостей очікування на зупинці ГТ м. Львова

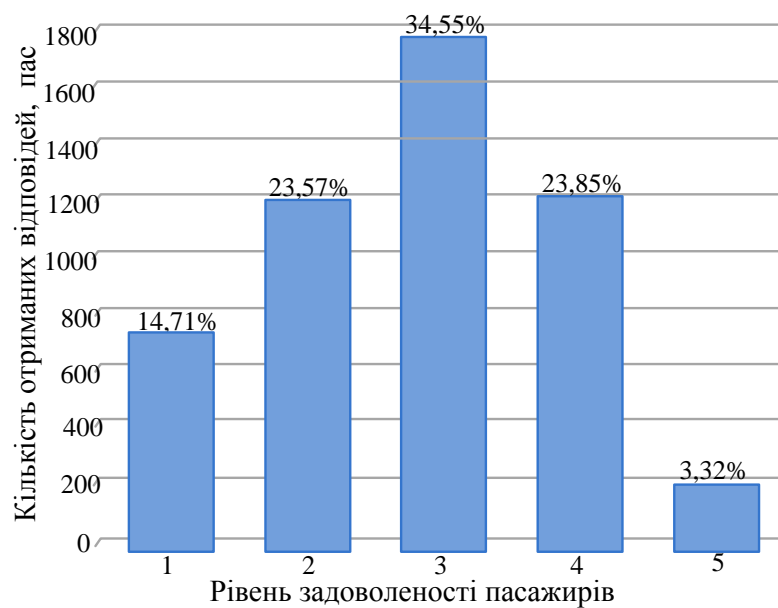


Рис. 4.2. Загальний розподіл оцінок пасажирами рівня їхньої задоволеності параметром «тривалість очікування на зупинці»

Середня тривалість очікування на зупинці ГТ становить 10 – 15 хв, у 74% випадків тривалість не перевищує 15 хв. Більшість пасажирів оцінюють свою тривалість очікування як «задовільну», Регресійна залежність оцінки рівня задоволеності від тривалості очікування на зупинці має вигляд (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,98$):

$$y = 4,2575 \cdot e^{-0,155 \cdot x}, \quad (4.1)$$

де $x=1$ відповідає тривалості очікування до 5 хв, $x=2$ – тривалості очікування 5 – 10 хв, $x=3$ – тривалості очікування 10 – 15 хв, $x=4$ – тривалості очікування 15 – 20

хв, $x=5$ – тривалості очікування 20 – 25 хв і $x=6$ – тривалості очікування більше 25 хв.

На оцінку рівня задоволеності пасажирів впливає не тільки фактичне значення тривалості очікування, а й співвідношення між тривалістю очікування та тривалістю поїздки в ТЗ ГТ. Детальний розподіл цих показників подано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Відсотковий розподіл оцінок рівня задоволеності пасажирів тривалістю очікування на зупинці залежно від тривалості поїздки

Тривалість поїздки ГТ	Оцінка				
	1	2	3	4	5
Тривалість очікування – до 5 хв					
до 15 хв	1,54	13,85	26,15	41,54	16,92
15 - 20 хв	1,67	3,33	21,67	55,00	18,33
20 - 25 хв	0,00	3,70	25,93	59,26	11,11
25 - 30 хв	0,00	0,00	23,08	73,08	3,85
30 - 35 хв	5,26	10,53	36,84	26,32	21,05
35 - 40 хв	0,00	20,00	20,00	40,00	20,00
40 - 50 хв	0,00	12,00	20,00	48,00	20,00
50 - 60 хв	0,00	12,50	62,50	12,50	12,50
більше 60 хв	14,29	0,00	42,86	42,86	0,00
Тривалість очікування – 5–10 хв					
до 15 хв	3,13	16,52	41,96	35,27	3,13
15 - 20 хв	2,33	15,28	38,87	39,20	4,32
20 - 25 хв	5,60	12,80	38,80	38,80	4,00
25 - 30 хв	2,67	18,70	36,64	38,55	3,44
30 - 35 хв	0,60	17,37	40,12	36,53	5,39
35 - 40 хв	2,35	19,72	34,27	37,56	6,10
40 - 50 хв	3,07	25,15	31,29	34,97	5,52
50 - 60 хв	4,82	21,69	25,30	40,96	7,23
більше 60 хв	6,38	10,64	48,94	27,66	6,38
Тривалість очікування – 10–15 хв					
до 15 хв	13,76	21,10	41,28	21,10	2,75
15 - 20 хв	10,43	20,86	45,40	22,70	0,61
20 - 25 хв	9,78	28,26	38,59	19,57	3,80
25 - 30 хв	7,32	23,41	46,34	20,98	1,95
30 - 35 хв	8,14	30,81	39,53	20,93	0,58
35 - 40 хв	9,69	32,16	35,68	20,26	2,20

Тривалість поїздки ГТ	Оцінка				
	1	2	3	4	5
40 - 50 хв	13,36	25,10	40,89	19,03	1,62
50 - 60 хв	10,08	31,78	38,76	17,83	1,55
більше 60 хв	13,40	30,93	40,21	14,43	1,03
Тривалість очікування – 15–20 хв					
до 15 хв	25,00	40,63	31,25	3,13	0,00
15 - 20 хв	35,59	22,03	32,20	8,47	1,69
20 - 25 хв	25,93	27,78	44,44	1,85	0,00
25 - 30 хв	28,21	37,18	32,05	2,56	0,00
30 - 35 хв	25,00	33,93	32,14	8,93	0,00
35 - 40 хв	30,86	35,80	23,46	9,88	0,00
40 - 50 хв	22,02	44,04	29,36	3,67	0,92
50 - 60 хв	25,32	29,11	36,71	8,86	0,00
більше 60 хв	33,33	29,17	27,78	8,33	1,39
Тривалість очікування – 20–25 хв					
до 15 хв	14,29	42,86	42,86	0,00	0,00
15 - 20 хв	47,62	28,57	19,05	0,00	4,76
20 - 25 хв	31,82	45,45	18,18	4,55	0,00
25 - 30 хв	33,33	33,33	27,78	5,56	0,00
30 - 35 хв	55,17	13,79	27,59	3,45	0,00
35 - 40 хв	29,63	40,74	27,78	1,85	0,00
40 - 50 хв	49,09	36,36	14,55	0,00	0,00
50 - 60 хв	36,36	31,82	25,00	6,82	0,00
більше 60 хв	45,71	28,57	22,86	2,86	0,00
Тривалість очікування – більше 25 хв					
до 15 хв	53,85	7,69	38,46	0,00	0,00
15 - 20 хв	66,67	26,67	6,67	0,00	0,00
20 - 25 хв	59,09	27,27	9,09	4,55	0,00
25 - 30 хв	36,36	36,36	18,18	0,00	9,09
30 - 35 хв	54,17	16,67	8,33	16,67	4,17
35 - 40 хв	45,61	33,33	14,04	5,26	1,75
40 - 50 хв	61,29	19,35	12,90	3,23	3,23
50 - 60 хв	59,57	17,02	19,15	4,26	0,00
більше 60 хв	75,00	17,19	4,69	1,56	1,56

Підсумовуючи отримані результати, можемо визначити діапазон тривалостей очікування на зупинці під час поїздки ГТ, який пасажери вважають комфортним (найбільша частка оцінок «5» при визначенні рівня задоволеності

послугами ГТ за 5-тибальною шкалою), добрим (найбільша частка оцінок «4») та допустимим (найбільша частка оцінок «3») – рис. 4.3.

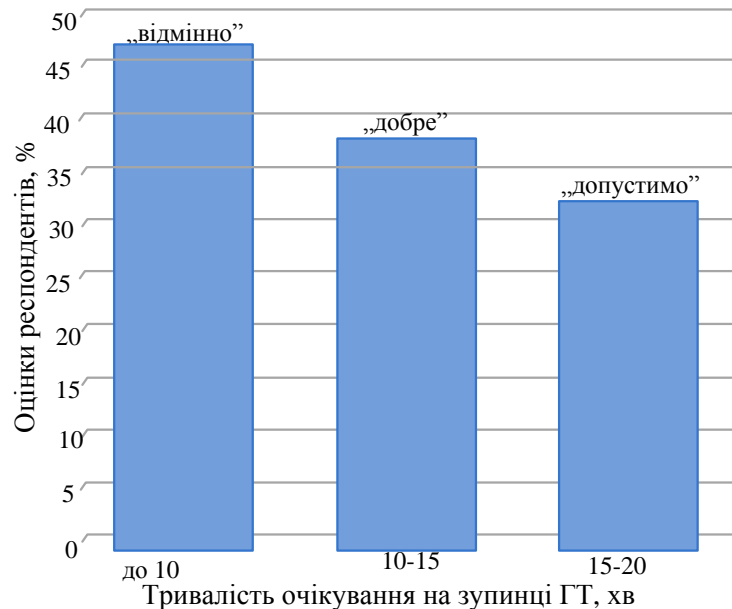


Рис. 4.3. Оцінка рівня задоволеності в залежності від очікування на зупинці

У випадку потреби переміщення з пересадкою пасажирі оцінюють її як комфортну за часу очікування до 5 хв. Задовільною вважають пересадку, що не перевищує 8 хв. У випадку наявності вибору між безпересадковим та маршрутом з пересадкою користувачі послуг сприймають краще той, при якому тривалість переміщення з пересадкою є хоча б на 15 хв коротшою, ніж безпересадкове переміщення. При плануванні розкладів роботи ТЗ ГТ на маршрутах необхідно враховувати вищенаведені результати.

4.2. Прогнозування попиту на пасажирські перевезення за різних умов функціонування системи громадського транспорту

Для оцінки параметрів маршрутної мережі та подальшого моделювання використано програмне середовище PTV Visum (Academic license). Створена модель міста Львова налічує 3045 вузлів (перехресть) та 8442 відрізків (ділянок доріг) загальною довжиною 1757 км. ММ складається з 62 міських маршрутів (загальною довжиною 822 км) та 950 зупинок. При дотриманні існуючих розкладів руху в мережі виконується 9075 рейсів/добу (інформація про розклади

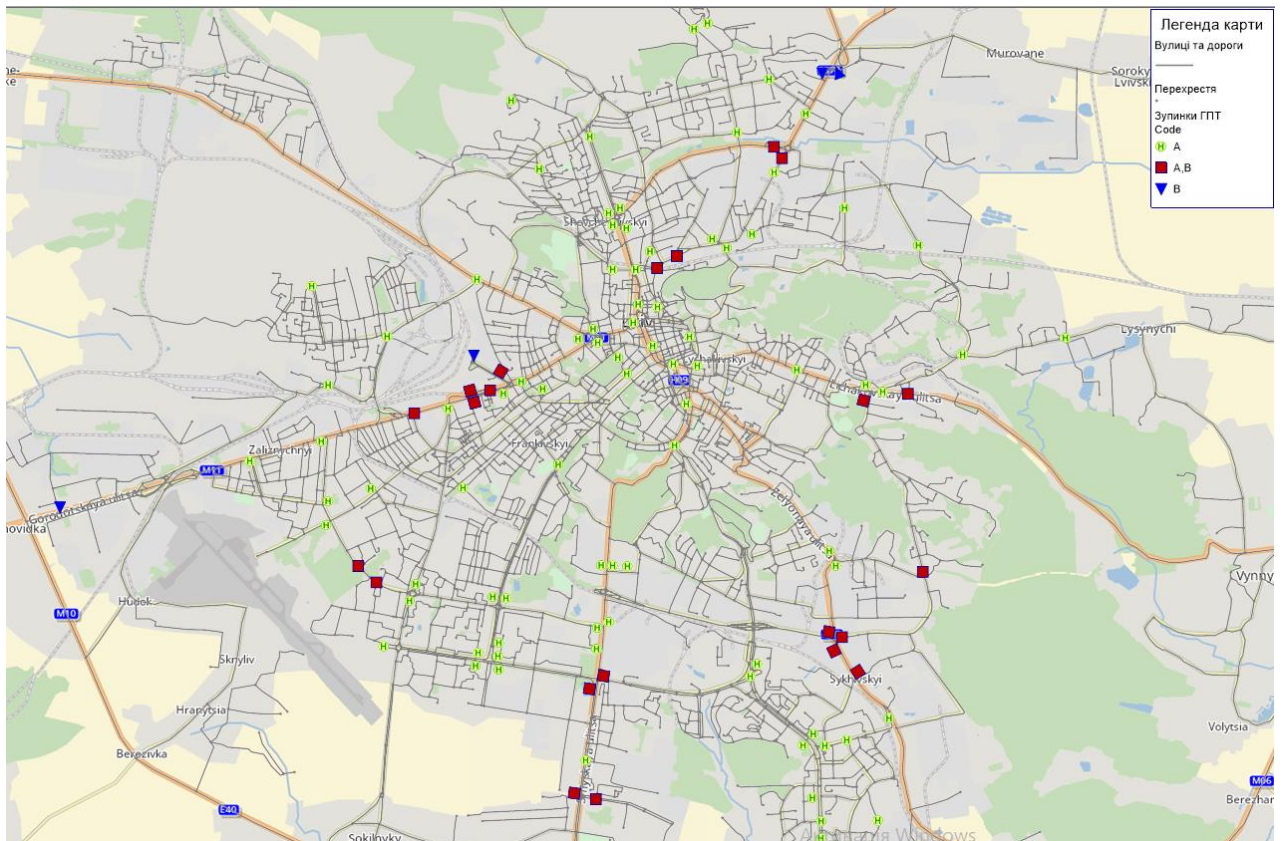


Рис. 4.5. Розподіл зупинок різних рівнів територією Львова

Зупинки рівня Б зосереджені на магістральних радіальних вулицях: Стрийська, Городоцька, Хмельницького, Личаківська, Зелена. Найбільша щільність ТПВ рівня А спостерігається в центральній частині міста.

На основі результатів опитувань та даних про рухомість населення сформована початкова матриця кореспонденцій (Додаток Г). Загальна кількість переміщень – 967 тис. переміщень/добу. З 7832 пар ТР між 1410 парами немає безпересадкового сполучення ГТ, відповідно базова необхідність пересадки в мережі становить 0,18.

Для прогнозування величини пасажирообміну на кожній із зупинок ГТ з розподілом на кількість пасажирів, які здійснюють посадку, висадку, пересадку на зупинці та пересадку на близько розташованій сусідній зупинці, використано 4-етапну модель транспортного попиту. Моделювання перерозподілу переміщень відбувається на основі часових інтервалів у три етапи: розрахунок інтервалів, пошук та вибір маршруту, оцінка завантаженості маршруту.

На функціонування ММ здійснює вплив зміна попиту, яка викликана різними умовами. Основними показниками при їх забезпеченні є час очікування, час здійснення пересадки та тривалість поїздки.

Прогнозування за різної поведінки користувачів враховують критерії якості надання послуг. Функціонування ММ при необхідній різній кількості ТЗ для забезпечення переміщень може працювати за пропонованими нами умовами на основі оцінок значення тривалості очікування (таблиця 4.3). За оцінки «допустимо» виконується умова 3, за оцінки «добре» – умова 2 та за оцінки «відмінно» – умова 1. Тобто першою є умова функціонування маршрутної мережі при звичному попиті на переміщення, другою – функціонування маршрутної мережі в періоди зниженого попиту, і третя умова передбачає зростання попиту на переміщення при одночасній потребі задовільнити цей попит ГТ (оскільки зростання кількості поїздок приватними автомобілями негативно позначається на завантаженості ВДМ міста, екологічній ситуації і відповідно комфортності міського середовища)

Причин зниження попиту може бути кілька. Традиційні сезонні коливання пов'язані зі змінами кліматичних умов або режимом зайнятості. Зокрема, перша умова є актуальною для міст, які мають багато навчальних закладів, тому різке зниження кількості поїздок з метою навчання в період канікул є помітним. У святкові дні також зазвичай спостерігається зменшення попиту, оскільки можливе зростання кількості переміщень з культурно-відпочинковою метою не компенсує значне зменшення кількості переміщень з метою роботи чи навчання.

Пандемія Covid-19 виявила ще одну можливу причину зменшення попиту на переміщення загалом і переміщення ГТ зокрема. У результаті карантинних обмежень суттєво збільшується частка працівників та учнів/студентів, які працюють чи навчаються онлайн, тому спостерігається значне зменшення кількості поїздок, що призводить до зниження попиту. Ще однією причиною зменшення переміщень є тривога людей за своє здоров'я і бажання зменшити ризик зараження вірусом хвороби.

Зростання попиту міського населення на переміщення може бути короткостроковим (наприклад, у передсвяткові періоди чи під час проведення масових заходів) або довгостроковим (через вплив урбанізаційних процесів, містобудівних чи економічних чинників).

Параметри умови 2 відповідають функціонуванню, які потенційні користувачі оцінюють на «добре» (або на «4» за 5-тибальною системою). Оптимальним результатом є забезпечення середньої тривалості очікування в мережі протягом 10–15 хв (згідно з даними рис. 4.3).

Умова 2 передбачає помірне навантаження на маршрутну мережу. Тому збільшення інтервалів руху ТЗ на маршрутах ГТ в такий період дозволить перевізникам оптимізувати свої витрати. Для цього доцільним є забезпечення середньої тривалості очікування в мережі в межах 15–20 хв (середня оцінка «3» за 5-тибальною системою).

Умова 3 ставить найбільше викликів перед міською ТС. При відсутності якісної пропозиції від ГТ зростання попиту на переміщення збільшує кількість поїздок ІТ. Для уникнення такої ситуації ГТ має працювати зі зменшеним інтервалом, щоб забезпечити потреби жителів міста. Згідно з проведеними дослідженнями, оптимальними часовими параметрами для ГТ буде забезпечення тривалості очікування на зупинках в межах до 5 хв.

У таблиці 4.3 наведено досліджувані показники функціонування системи ГТ.

Таблиця 4.3

Оцінка параметрів функціонування маршрутної мережі Львова

№	Показник	Значення показника	№	Показник	Значення показника
1	Загальна кількість пасажирських поїздок з використанням ГТ	911660	5	Середній початковий час очікування на зупинці, хв.	17,6
2	Середня відстань поїздки, км	8,5	6	Середнє значення тривалості переходу між зупинками при пересадці, хв	1,2

№	Показник	Значення показника	№	Показник	Значення показника
3	Середній час поїздки, хв	38	7	Кількість пасажирів, що виконують пересадку	309960
4	Середній час очікування пересадки, хв.	15,2	8	Частка пасажирів, що виконують одну пересадку, % від загальної кількості поїздок ГТ	34

Вдосконалення ММ має включати аналіз таких показників: час переміщення, затримки з урахуванням завантаження доріг, а також певні зміни поведінки зі сторони користувачів транспортних послуг.

При будь-якій умові функціонування ММ користувач послуг, свідомо чи за потребою, керується складним комплексом показників. Цей процес має назву модального вибору. Є чотири визначення для оцінки модального вибору: соціально-географічний, раціональний, соціально-психологічний і соціально-демографічний. Час і вартість проїзду мають основну вагу при раціональному підході. Суспільно-географічний підхід враховує щільність населення, особливості землекористування та ін. При соціально-демографічному підході основний вплив мають вік, стать і зайнятість, а при соціально-психологічному – спосіб життя, звички та ін. При розробці моделі вибору способу руху саме поєднання цих показників дозволяє більш точно оцінити їх вплив на остаточне рішення користувача ТС.

Оскільки дослідження проводилося на прикладі міста Львова, варто вказати певні особливості функціонування міської системи ГТ, що можуть впливати на отримані результати:

- у Львові немає маршрутів, які б мали виділену смугу для руху ГТ на всьому своєму шляху. Є кілька ділянок на ВДМ з виділеною смугою для ГТ, але їх недостатньо, щоб мати помітний вплив на функціонування системи ГТ загалом;

- частка зупинок ГТ, охоплених інформаційним забезпеченням (наявні електронні табло з інформацією про очікуваний час прибуття ТЗ маршрутів ГТ), становить тільки 8%. Цей показник впливає на оцінку пасажирами тривалості очікування посадки та пересадки;

- відсутність автоматизованого обліку пасажирів (на час виконання роботи) ускладнює отримання даних про реальні обсяги пасажиропотоків на маршрутах. У таких випадках моделювання на основі даних фрагментарних досліджень є способом отримання відсутньої інформації.

У таблиці 4.4 подано прогнозований попит на переміщення ММ та змодельовані характеристики переміщення і параметри маршрутної мережі за існуючого стану (на основі таблиці 4.3) її функціонування та при трьох прогнозованих умовах роботи.

Таблиця 4.4

Оцінка параметрів функціонування маршрутної мережі Львова

Показник	Значення показника при різних умовах моделювання		
	Умова 1 «відмінно»	Умова 2 «добре»	Умова 3 «допустимо»
Загальна кількість пасажирських поїздок з використанням ГТ	1367490	911660	729328
Середня відстань поїздки, км	9,1	9,6	9,9
Середній час поїздки, хв	32	39	48
Середній час очікування пересадки, хв.	2,63	6,6	11,4
Середній початковий час очікування на зупинці, хв.	2,57	13,4	19,2
Середнє значення тривалості переходу між зупинками при пересадці, хв.	1,1	1,4	2,2
Кількість пасажирів, що виконують пересадку	341870	273498	342784
Частка пасажирів, що виконують одну пересадку, % від загальної кількості поїздок ГТ	25	30	47

При моделюванні з урахуванням існуючих параметрів мережі (тобто за розкладами, які діяли станом на березень 2023 року) загальна змодельована ймовірність пересадки в мережі становить 0.34, що практично збігається з

результатами опитувань. Визначено пари ТР, при переміщенні між якими відбувається найбільше пересадок (рис. 4.6), та критичні зупинки ММ (рис. 4.7). Проблемою Львова є те, що більшість маршрутів є радіальними або діаметральними. Відповідно більшість пересадок відбувається в центральній частині міста, що створює додаткове навантаження на ВДМ.

Найбільше поїздок з пересадкою виконується при переміщенні з району початку вул. Зеленої та з району Збиранки.

Критичними можна вважати 24 зупинки (13% від загальної кількості зупинок, на яких виконуються пересадки). На цих зупинках виконується 64% від всієї кількості пересадок в мережі.

При наявності в пасажирів вибору між прямим маршрутом та маршрутом з пересадкою ймовірність поїздки з пересадкою залежить від економії часу. Змодельоване рівняння зміни – це комбінована модель вигляду (рис. 4.8):

$$y = 0,01 \cdot x^{0,07} \cdot e^{0,1 \cdot x}, \quad (4.2)$$

де x – економія часу у випадку використання маршруту з пересадкою, хв.

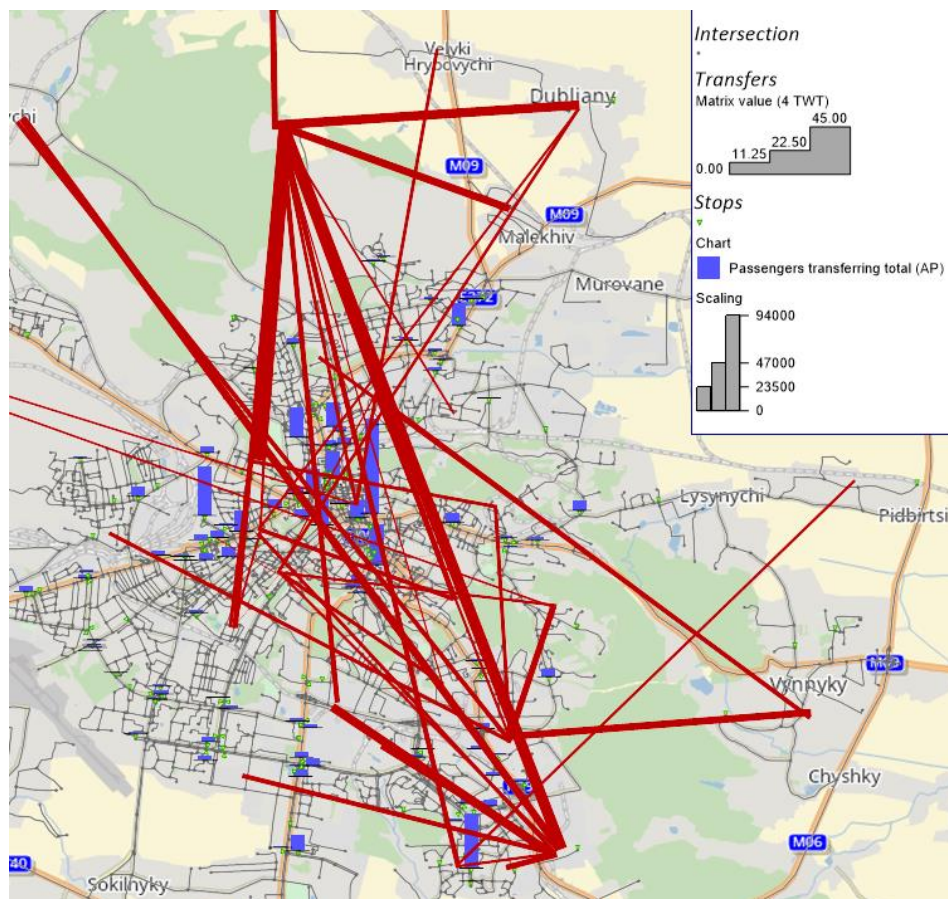


Рис. 4.6. Частота виконання поїздки з пересадкою при переміщенні між ТР міста

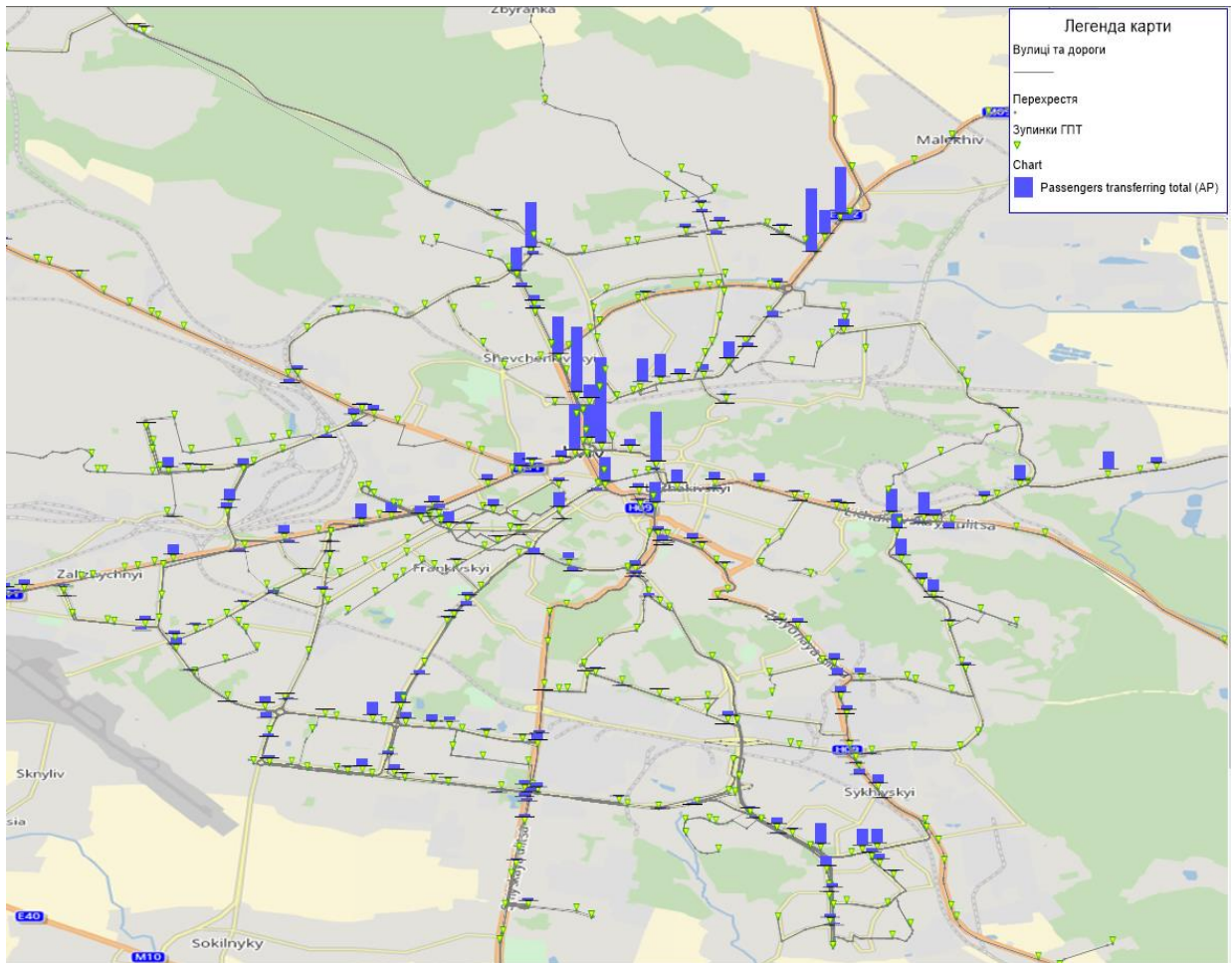


Рис. 4.7. Зупинки маршрутної мережі, на яких відбувається найбільша кількість пересадок



Рис. 4.8. Графік зміни ймовірності вибору маршруту з пересадкою залежно від економії часу на переміщення

Як видно з графіка, ймовірність обрання маршруту з пересадкою незначна при економії часу до 20 хв, далі спостерігається різке зростання: при зміні економії часу на поїздку від 20 до 40 хв ймовірність вибору маршруту з пересадкою замість прямого маршруту зростає від 10% до 70%.

При забезпеченні функціонування мережі за умовою 2 загальна ймовірність пересадки в мережі дещо зменшується відносно існуючого стану – до 0,30.

При моделюванні функціонування мережі за умовою 3 з використанням методу фіксованих розкладів руху ймовірність пересадки зростає, оскільки пасажир частіше обирає маршрут з пересадкою, якщо тривалість очікування на прямий маршрут є значною, а тривалість пересадки – відомою (чи прогнозованою). Приклад оцінки:

Маршрут № 1 – прямий. Тривалість руху на маршруті – 35 хв, тривалість очікування посадки на зупинці – 25 хв. Загальна тривалість переміщення – 60 хв. Маршрут № 2 – з пересадкою. Тривалість очікування на посадку – 5 хв, тривалість поїздки – 15 хв, тривалість очікування пересадки – 5 хв, тривалість поїздки – 20 хв. Загальна тривалість переміщення – 45 хв. Економія в часі переміщення – 15 хв. За рівнянням (4.2), ймовірність вибору пасажиром маршруту з пересадкою становить 0,054.

Загальна змодельована ймовірність пересадки в мережі за такої умови становить 0,47. При такій умові функціонування важливим є наявність чіткого розкладу руху маршрутів та систем інформування пасажирів.

При умові 1 ймовірність пересадки знижується до 0,25. При малих інтервалах руху за наявності вибору між прямим маршрутом та маршрутом з пересадкою пасажир обирає пересадку тільки у випадку відчутної економії часу під час руху в ТЗ (оскільки тривалості очікування є незначними). Враховуючи схему маршрутної мережі Львова, така ймовірність є незначною.

У таблиці 4.5 подано результати розрахунку необхідної кількості ТЗ на маршрутах для забезпечення якісного функціонування маршрутної мережі згідно з прогнозованим попитом на переміщення за запропонованими умовами. Розрахунки проведено для двох варіантів – для існуючого розподілу між

кількістю маршрутів ГТ, на яких працюють автобуси середньої пасажиромісткості та великої пасажиромісткості (64% та 36% відповідно), та для варіанту збільшення частки маршрутів, які обслуговуються автобусами великої пасажиромісткості до 50%. Пасажиромісткість автобуса середньої місткості приймалася як рівна 42 пас, автобуса великої місткості – 96 пас, тролейбуса – 106 пас, а трамваю – 160 пас. Розподіл пасажирів здійснено між різними видами ГТ (згідно з дослідженнями мобільності у Львові): 17% переміщень виконуються тролейбусами, 30% – трамваями, 32% – автобусами великої пасажиромісткості і 21% – автобусами середньої пасажиромісткості.

Таблиця 4.5

Розрахунок необхідної кількості ТЗ для забезпечення функціонування маршрутної мережі Львова за різних умов

Показник	Умова 1 «відмінно»	Умова 2 «добре»	Умова 3 «допустимо»
Існуючий розподіл між видами ТЗ			
Кількість автобусів великої пасажиромісткості	233	177	134
Кількість автобусів середньої пасажиромісткості	196	165	108
Кількість трамваїв	87	50	37
Кількість тролейбусів	95	56	43
Збільшення частки великих автобусів на автобусних маршрутах			
Кількість автобусів великої пасажиромісткості	258	196	63
Кількість автобусів середньої пасажиромісткості	154	118	64

Отримані результати досліджень можуть бути використані органами управління перевезеннями ГТ та надавачами (операторами) транспортних послуг для оптимізації маршрутів та планування розкладів руху, для узгодження розкладів на критичних зупинках для комфортної поїздки з пересадкою. Такі рішення дозволять суттєво підвищити якість надання транспортних послуг та врахувати технічні параметри ТЗ (вмістимість) при випуску їх на маршрут.

4.4. Висновки до розділу

1. На основі результатів, отриманих у розділі 3, сформована початкова матриця кореспонденцій та визначено попит на пасажирські перевезення в програмному середовищі PTV Visum, який за наведених умов становить 911660 поїздок на добу. Фактичний час очікування при формуванні матриці кореспонденцій становить 15 хв, кількість пересадок у мережі становить 309960. Зв'язок між оцінкою рівня задоволеності пасажирями роботою ГТ та тривалістю очікування описується експоненційною залежністю з коефіцієнтом детермінації 0,98.

2. Змінні обсяги міських пасажиропотоків визначають доцільність прогнозування попиту на послуги ММ для дотримання параметрів якісного функціонування. У роботі спрогнозовано попит за різних умов. Основою для визначення умов функціонування ММ є поведінка користувачів ГТ та якість надання послуг. За умови 1 (оцінка послуг – «допустимо») – попит становить 729328 поїздок, її доцільно застосовувати в періоди зниженого попиту. Умова 2 (оцінка – «добре») – попит – 911660 поїздок та за умови 3 (оцінка «відмінно») – 1367490 поїздок.

3. Моделюванням параметрів функціонування маршрутної мережі Львова для запропонованих умов у програмному середовищі PTV Visum визначено прогнозовані обсяги пасажиропотоків та середні часові параметри поїздки в мережі. При існуючій конфігурації мережі початкова ймовірність пересадки становить 0,18. При використанні умови 2 загальна ймовірність пересадки рівна 0,30 (результат моделювання), при використанні умови 1 ймовірність пересадки зростає до 0,47, при використанні умови 3 – зменшується до 0,25. Зміна ймовірності вибору маршруту з пересадкою залежно від економії часу на переміщення описується за законом Кірхгофа з параметрами $a=0,01$, $b=0,07$ та $c=0,1$.

ВИСНОВКИ

1. Зміна рівня попиту на міські переміщення залежить від потреб користувачів транспортних послуг та якості обслуговування в системі ГТ. Некомфортна та дороговартісна поїздка, тривале очікування ТЗ на тому чи іншому маршруті, застарілий рухомий склад мають негативний вплив на попит на переміщення. Попит на переміщення в ММ складається з поїздок, пересадок на транспортних зупинках та пересадок у ТПВ. Урахування якості надання транспортних послуг та поведінки користувачів ГТ мають важливе значення при прогнозуванні попиту на переміщення у ММ.

2. Для ефективної роботи ГТ варто вносити пропозиції щодо покращення заходів управління попитом на транспорті, а саме: вдосконалення ГТ та перевезень альтернативними видами транспорту, оплата відповідно до відстані поїздки тощо. Для визначення попиту на транспортні послуги застосовуються різні типи моделей, що дозволяє детальніше та точніше оцінити вплив користувача транспортних послуг на вибір засобу переміщення містом, зокрема моделі Байєса, 4-етапна модель транспортного планування, а також транспортні дослідження в програмному середовищі PTV Visum.

3. Виконаними дослідженнями встановлено, що структура попиту на переміщення ГТ в м. Львові складається з прямих поїздок, пересадок у ММ та пересадок у ТПВ. Визначено, що транспортне очікування на зупинці ГТ при дотриманні розкладу руху в 90% випадків не перевищує 3 хв, а при нерівномірному прибутті (38% випадків) більше 6 хв., з них 11% більше 10 хв.

4. Проведено дослідження поведінки користувачів ГТ методом анкетування. Визначено кількісні показники якості обслуговування потреб з переміщення та регіональні особливості сприйняття користувачами транспортних послуг. Встановлено, що тривалість поїздки становила 15-30 хв у 50% користувачів, поїздки з метою навчання та на роботу становили 54% від загальної кількості. Найбільша частка пасажирів (41%) здійснювали поїздки в ТЗ, заповненому приблизно на 80%. У 37% випадків поїздки відбувалися автобусами великої

вмістимості. У результаті проведених опитувань визначено, що з пересадками їздить близько 36% пасажирів. Зі зростанням сімейного доходу ймовірність переміщень з пересадкою зменшується.

5. Встановлено, що фактичний час очікування при формуванні матриці кореспонденцій становить 15 хв. За таких умов кількість пересадок у мережі – 309960. У програмному середовищі PTV Visum визначено попит на переміщення ММ, який за вище наведених умов становить 911660 поїздок на добу. Методом анкетування під час періоду карантинних обмежень (Covid-19) встановлено, що користування ГТ зменшилося на 18%, а користування індивідуальним автомобілем збільшилося на 10%.

6. Розроблена методика прогнозування попиту на пасажирські перевезення з врахуванням поведінки користувачів громадського транспорту. З використанням цієї методики моделюванням у програмному середовищі PTV Visum визначено попит на пасажирські перевезення за різної оцінки якості функціонування ММ. За оцінки послуг «допустимо» попит становить 729328 поїздок, за оцінки «добре» – 911660 поїздок, за оцінки «відмінно» – 1367490 поїздок.

За отриманими результатами попиту розраховано кількість ТЗ, які необхідні для забезпечення функціонування пасажирської системи з відповідним рівнем якості послуг. Загальна імовірність пересадок є найнижчою при функціонуванні за відмінної якості надання послуг з перевезень (25% від загальної кількості поїздок), а за допустимої якості послуг вона зростає до 47%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. О. Гульчак, О. Дзюба, Є. Шапенко. Роль управління мобільністю у сфері сталого розвитку. Дороги і мости. Київ, 2022. Вип. 25. С. 240–249. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.240>
2. Lv Z. Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review / Lv Z., Shang W. // *Green Technologies and Sustainability*. – 2023.
3. Shapenko Y., Hulchak O., Kotova S., Bilonoh O., Yaroshevskyy V. Research of the existing problems of the organization of urban passenger transportation. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2023. Vol. 2 (4). P. 87–95.
4. Григорова Т. М. Оцінка еластичності попиту на послуги приміського пасажирського автомобільного транспорту / Григорова Т. М., Давідіч Ю. О, Доля В. К. // *Technology audit and production reserves*. - 2015. - № 3(2). - С. 13-16.
5. Owczarzak Ł., Żak J. Design of Passenger Public Transportation Solutions Based on Autonomous Vehicles and Their Multiple Criteria Comparison with Traditional Forms of Passenger Transportation. *Transportation Research Procedia*. – 2015. - Volume 10, 472–482.
5. Flügel S. , Halse A., Hartveit K., Ukkonen A. Value of travel time by road type// *European Transport Research Review*.- 2022.- P.1-13.
6. Krueger R., Rashidi T., Rose J. M. Preferences for shared autonomous vehicles *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. – 2016. - Volume 69. 343–355.
7. Tirachini A., Hensher D. A., Rose J. M. Multimodal prices and optimal design of urban public transport: the interaction between traffic congestion and bus congestion. *Transportation Research Part B: Methodological*. – 2014. - Volume 61, 33–54.
8. Яновський П.О. Загальна характеристика основних чинників, що визначають обсяги та структуру пасажирських перевезень// *Транспортні системи*

та технології перевезень. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. - 2015. - Випуск 10. 117–124.

9. Redman L., Friman M., Gärling T., Hartig T. Attributes of public transport quality that attract car users: A review of the study. *Transport Policy*. - 2013. - Volume 25, P. 119-127.

10. Fan, A., Chen, X., Wan, T. How Have Travelers Changed Mode Choices for First/Last Mile Trips after the Introduction of Bicycle-Sharing Systems: An Empirical Study in Beijing, China. *Journal of Advanced Transportation*, 2019, 1–16. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/5426080>.

11. Kim, I., Kim, H.-C., Seo, D.-J., Kim, J. I. Calibration of a transit route choice model using revealed population data of smart-card in a multimodal transit network. *Transportation*. 2020. - 47(4).

12. Sato, K., Chen, Y. (2018). Analysis of high-speed rail and airline transport cooperation in presence of non-purchase option. *Journal of Modern Transportation*, 26 (4), 231–254. doi: <https://doi.org/10.1007/s40534-018-0172-z>.

13. Hidayat, R. (2018). Mode Choice Analysis Between Private Car, Transjakarta (BRT) and KRL Commuter Line (Railway) Using Multinomial Logit Model and Social Economic Background of Passenger Case Study. *Bekasi-Jakarta Commuter*, Universitas Gad-jah Mada.

14. Kuznar, M., Wyrasz, E. (2016). Analysis of the most popular interurban transport modes among cracow students of state universities. 13th International Conference on Industrial Logistics: Conference Proceedings. Zakopane, 128–135. Available at: http://www.icil.zarz.agh.edu.pl/images/papers/Kuznar_Wyrasz.pdf.

15. Lakatos, A., Mándoki, P. (2020). Mode-choice Analysis in Long-distance, Parallel Public Transport. *Transportation Research Pro-cedia*, 44, 332–341. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.034> .

16. Bilous, A. B., Mohyla, I. A. (2011). Multifactorial fuzzy analysis for transfer demand modeling to touristic towns. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (49)), 32–38. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/1910/1805>.

17. Sivilevičius, H., Maskeliūnaitė, L. (2019). The Model Assessing the Impact of Price and Provided Services on the Quality of the Trip by Train: MCDM Approach. *E+M Ekonomie a Management*, 22 (2), 51–67. doi: <https://doi.org/10.15240/tul/001/2019-2-004> .

18. Zhuk M., Pivtorak H., Kovalyshyn V., Gits I.. Development of a multinomial logit-model to choose a transportation mode for intercity travel.// *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.*- 2020. - 3/3 (105) P. 69-77.

19. Давідіч Ю. О. Інформаційний підхід до визначення маршрутів руху водіяма транспортних засобів у містах / Ю. О. Давідіч, І. В. Чумаченко, А. С. Галкін, Н. В. Давідіч, Є. І. Куш // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.* - 2020. - № 4. - С. 51-60. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2020_4_6

20. Kujala R., Weckström C., Mladenović M., Saramäki J. Travel times and transfers in public transport: Comprehensive accessibility analysis based on Pareto-optimal journeys. *Computers, Environment and Urban Systems.* -2018. Volume 67, 41–54. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.08.012.

21. Van I., Horák J., Zajíčková L., Burian J., Fojtík D. Factors Influencing Walking Distance to the Preferred Public Transport Stop in selected urban centres of Czechia. *GeoScape.*-2019. Volume 13: Issue 1, 16–30. doi: 10.2478/geosc-2019-0002

23. Tirachini A., Hensher D. A, Rose J. M.. Crowding in public transport systems: effects on users, operation and implications for the estimation of demand, *Transportation Research Part A: Policy and Practice.* -2013. Volume 53, 36–52. doi: 10.1016/j.tra.2013.06.005

24. Rajé, Fiona. *Negotiating the Transport System: User Contexts, Experiences and Needs.* London: Routledge. – 2017. 248 p.

25. Cascetta, E. *Transportation systems engineering: theory and methods.* New-York: Springer Science & Business Media. – 2013. 710 p.

26. Ort'uzar, Juan de Dios & Willumsen, Luis G.. *Modelling Transport.* Fourth Edition. New-York: John Wiley & Sons, Ltd. – 2011. 607 p

27. Van Oort N. Service Reliability and Urban Public Transport Design / – The Netherlands, 2011. – 290с.

28. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Інтернет ресурс. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>

39. Alkharabsheh A., Moslem S., Oubahman L., Duleba S. An Integrated Approach of Multi-Criteria Decision-Making and Grey Theory for Evaluating Urban Public Transportation Systems // Department of Transport Technology and Economics, Budapest University of Technology and Economics, Stoczek. -2021.- №13 (5).

30. Kaushal V., Singh G. , Irshad S. Pivotal Facets in the Evaluation of Public Transport Systems: A Review. Vision Zero: Systems, Approaches, and Implementation, 2023 (138-143).

31. Tao S., Corcoran J., Mateo-Babiano I. Modelling loyalty and behavioural change intentions of busway passengers: A case study of Brisbane, Australia / / IATSS Research, - 2017, - 41(3). P (113-122).

32. Duleba S. and Moslem S.. Sustainable Urban Transport Development with Stakeholder Participation, an AHP-Kendall Model: A Case Study for Mersin/Sustainability// - 2018.- 10(10).

33. Заблодська І.В., Бузько І.Р., Зеленко О.О., Хорошилова І.О. Інфраструктурне забезпечення розвитку транспортної системи регіону: колективна монографія [Текст] / [І.В. Заблодська, І.Р. Бузько, О.О. Зеленко, І.О. Хорошилова]. – Сєверодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. –193 с.

34. Управління попитом на транспортні послуги. Режим доступу. https://city2030.org.ua/sites/default/files/documents/GIZ_SUTP_TM_Transportation-Demand-Management_UA_0.pdf

35. Chia J., Lee J. (B.), Kamruzzaman M. Walking to public transit: Exploring variations by socioeconomic status.// International Journal of Sustainable Transportation . – 2016. - Volume 10 (9). P.805-814.

36. Zherdyev M.D. Myroshnychenko Yu.V. The influence of transport service quality on demand of consumers of transport services. The bulletin of transport and industry economics .-2010. Volume 29. 250–253

37. Кужель В. П. Визначення рівня якості пасажирських перевезень з позиції пасажирів [Текст] / В. П. Кужель, А. П. Іщенко, М. О. Бишко // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2013. - № 15(204). – С. 274 – 278.

38. Liu Ya., Wang S., Xie B.. Evaluating the effects of public transport fare policy change together with built and non-built environment features on ridership: The case in South East Queensland, Australia. Transport Policy, - 2019. Volume 76, 78–89. doi: 10.1016/j.tranpol.2019.02.004.

39. Гіць І. І. Оцінка впливу тривалості переміщення на вибір виду транспорту // Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем : матеріали всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції, 28–29 листопада 2019 р., Рівне. – 2019. – С. 41–43.

40. Жук М. М., Півторак Г. В., Гіць І. І., Козак М. М. Прогнозування вибору виду транспорту у разі міських переміщень на основі класифікаційних дерев рішень // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2020. – Т. 31 (70), № 4. – С. 221–226.

41. Cuevas V., Estrada M., Salanova J. M. Show more Management of On-demand Transport Services in Urban Contexts. Barcelona Case Study.// Transportation Research Procedia, - 2016. - Volume 16. P.155-165.

42. Kamargianni M., Li W., Matyas M., Schäfer A. A Critical Review of New Mobility Services for Urban Transport.// Transportation Research Procedia, - 2016, - Volume 14. P.3294-3303.

43. Крихтіна Ю. О. Державна політика розвитку транспортної галузі України: теорія, методологія, практика : монографія. Харків: «Діса плюс», 2022. - 336 с.

44. Winter K., Cats O., Correia G., Arem B.. Performance analysis and fleet requirements of automated demand-responsive transport systems as an urban public

transport service.// International Journal of Transportation Science and Technology, - 2018, - Volume 7 (2). P. 151-167.

45. Krueger R., Rashidi T., Rose J. M.. Preferences for shared autonomous vehicles Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2016. Volume 69. 343–355

46. Banerjee N., Morton A., Akartunalı K.. Passenger demand forecasting in scheduled transportation.// European Journal of Operational Research, - 2020, - Volume 286 (3). P. 797-810

47. Abbaspour M., Karimi E., Nassiri P., Monazzam M. R., Taghavi L. Hierarchical assessment of noise pollution in urban areas – A case study. // Transportation Research Part D: Transport and Environment, - 2015, -Volume 34. P. 95-103.

48. Miller C., Savage I. Does the demand response to transit fare increases vary by income? // Transport Policy, - 2017, - Volume 55, P. 79-86.

49. Scheurer J. Planning for Public Transport Accessibility: An International Sourcebook / J. Scheurer, C. Curtis. – London.: Routledge, 2016. – (326).

50. M. Lizan, Choudhury C., Watling D.. Using smart card data to model public transport user profiles in light of the Covid-19 pandemic.// Travel Behaviour and Society, - 2023, Volume 33.

51. Ghodmarea S. D., Yadav G., Transportation Planning Using Conventional Four Stage Modeling.// Turkish Journal of Computer and Mathematics Education. – 2021, - Vol.12 (12). P. 2891-2897.

52. Bashynska I. Improving Management Decisions in Urban Passenger Transport Based on the Sociological Study / I. Bashynska, V. Biskup, O. Kuz'kin, L. Hryzovska, G. Shapoval // International Journal of Industrial Engineering and Production Research. – 2020. – Vol. 31. – No. 4. – pp. 491-498.

53. Zhuk M., Pivtorak H., Kovalyshyn V., Gits I. Simulation of Transfer Probability in the City Route Network: Case Study of Lviv, Ukraine // Periodica Polytechnica Transportation Engineering. – 2024. – Vol. 52, No. 3. – P. 282–291.

54. Banerjee N., Morton A. , Akartunalı K.. Passenger demand forecasting in scheduled transportation.// *European Journal of Operational Research*, - 2020, - Volume 286 (3). P. 797-810.

55. Wang X., Rong C. Function-Based Classification Method for Traffic Hub. *Mechanics and Materials*. 2011. Vol. 97/98. P. 779 – 782.

56. Жук М. М., Півторак Г. В., Гіць І. І. Застосування нейромережевого моделювання для прогнозування тривалості перебування транспортного засобу на зупинці громадського транспорту // *Розвиток транспорту*. – 2022. – № 1 (12). – С. 156–167.

57. Bilous, A. B., Mohyla, I. A.. Multifactorial fuzzy analysis for transfer demand modeling to touristic towns. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2011. 1 (4 (49)), 32–38.

58. Kuznar, M., Wyraz, E.. Analysis of the most popular interurban transport modes among cracow students of state universities. 13th International Conference on Industrial Logistics: Conference Proceedings. – 2016. Zakopane, 128–135. Available at: http://www.icil.zarz.agh.edu.pl/images/papers/Kuznar_Wyraz.pdf

59. Fan, A., Chen, X., Wan, T. (2019). How Have Travelers Changed Mode Choices for First/Last Mile Trips after the Introduction of Bicycle-Sharing Systems: An Empirical Study in Beijing, China. *Journal of Advanced Transportation*, 2019, 1–16. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/5426080>

60. Kim, I., Kim, H.-C., Seo, D.-J., Kim, J. I. (2019). Calibration of a transit route choice model using revealed population data of smart-card in a multimodal transit network. *Transportation*. doi: <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10008-8>.

61. Ratrou, N. T., Gazder, U., Madani, H. M. N. A. (2014). A review of mode choice modelling techniques for intra-city and border transport. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 5 (1), 39. doi: <https://doi.org/10.1504/writr.2014.065055>

62. Hair, J. F., Ringle, C. M., Gudergan, S. P., Fischer, A., Nitzl, C., Menictas, C. (2018). Partial least squares structural equation modeling-based discrete choice

modeling: an illustration in modeling retailer choice. *Business Research*, 12 (1), 115–142. doi: <https://doi.org/10.1007/s40685-018-0072-4>.

63. Sato, K., Chen, Y. (2018). Analysis of high-speed rail and airline transport cooperation in presence of non-purchase option. *Journal of Modern Transportation*, 26 (4), 231–254. doi: <https://doi.org/10.1007/s40534-018-0172-z>.

64. Kuznar, M., Wyraz, E. (2016). Analysis of the most popular interurban transport modes among cracow students of state universities. 13th International Conference on Industrial Logistics: Conference Proceedings. Zakopane, 128–135. Available at: http://www.icil.zarz.agh.edu.pl/images/papers/Kuznar_Wyraz.pdf.

65. Нагребельна Л. П., Власенко В.. Використання моделей для розрахунку транспортних потоків. Автошляховик України: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури», 5-7 грудня 2023 р. – С. 150-154.

66. Zhuk, M. M., Pivtorak, H. V. (2019). The evaluation the flow attracted by external transport hub in Lviv. *Scientific Notes of Tau.rida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, 6 (2), 162–169. doi: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/29>.

67. Півторак Г. В., Гіць І. І., Мохняк Р. Р. Оцінка впливу інформаційного забезпечення на ймовірність виконання пересадки на зупинці // Транспортні технології та безпека дорожнього руху : збірник тез доповідей Четвертої всеукраїнської науково-практичної конференції, 13–14 квітня 2023 р., Запоріжжя. – 2023. – С. 73–75..

68. Jing Z., Yin X. Neural Network-Based Prediction Model for Passenger Flow in a Large Passenger Station: An Exploratory Study. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 36876-36884. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2972130.

69. Yoongho Ahn, Tomoya Kowada, Hiroshi Tsukaguchi, Upali Vandebona. Estimation of Passenger Flow for Planning and Management of Railway Stations. *Transportation Research Procedia*. 2017. Vol. 25. P. 315-330. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.408>.

70. Havlena Ondřej, Jacura Martin, Javořík Tomáš, Svetlík Marián. Area claims of the passengers at mass public transport hubs. *Transport Problems: an International Scientific Journal*. 2013. Vol. 8. P. 83-88.

71. Vojtek Martin, Skrucany Tomas, Kendra Martin, Ponický Ján. Methodology for calculation of minimum transfer time in the transport hub. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 235(2)5:00015. doi:10.1051/matecconf/201823500015.

72. Borhan M. N. , Ibrahim A.N. H., Syamsunur D., Rahmat R.A. Why Public Bus is a Less Attractive Mode of Transport: A Case Study of Putrajaya, Malaysia.// *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, - 2019, - №47(1). P.82-90.

73. De Witte, A., Hollevoet, J., Dobruszkes, F., Hubert, M., Macharis, C. (2013). Linking modal choice to motility: A comprehensive review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49, 329–341. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.01.009>.

74. Nosal K., Solecka K.. Application of AHP Method for Multi-criteria Evaluation of Variants of the Integration of Urban Public Transport // *Transportation Research Procedia*. – 2014. - Volume 3. P. 269-278.

75. Currie G. Gap Analysis of Public Transport Needs: Measuring Spatial Distribution of Public Transport Needs and Identifying Gaps in the Quality of Public Transport Provision // *Transportation Research Record*. Volume 1895, Issue 1. P.: 137 – 146

76. Errampalli M., Patil K.S., Prasad C.S.R.K. Evaluation of integration between public transportation modes by developing sustainability index for Indian cities.// *Case Studies on Transport Policy*. – 2020. - Volume 8, Issue 1.

77. Delbosc A., Currie G. Using Lorenz curves to assess public transport equity.// *Journal of Transport Geography*, - 2011. - Volume 19, Issue 6.

78. Vojtov V., Kutiya O., Berezhnaja N., Karnaukh N., Belyaeva O.. Modeling of reliability of logistic systems of urban freight transportation taking into account street congestion, // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. - 2019. - № 4(3). - С. 15-21.

79. Żochowska R., Kłos M. J., Soczówka P., Pilch M., Pilch M. Assessment of Accessibility of Public Transport by Using Temporal and Spatial Analysis. // Sustainability. -2022. 14(23).

80. Wołek M., Jagiełło A. Wolański M. Multi-Criteria Analysis in the Decision-Making Process on the Electrification of Public Transport in Cities in Poland: A Case Study An Valerio Gatta, Edoardo Marcucci, Marialisa Nigro, Sergio Maria Patella and Simone Serafini analysis. // Energies. – 2021. 14(19).

81. Gatta V., Marcucci E., Nigro M., Patella S. M., Serafini S.. Public Transport-Based Crowdshipping for Sustainable City Logistics: Assessing Economic and Environmental Impacts. // Sustainability. – 2019. - Volume: 11. Number: 145.

82. Das S., Pandit D.. Methodology to determine service delivery levels for public transportation. // Transportation Planning and Technology. – 2016.- Volume 39.

83. Kii M., Nakanishi H., Nakamura K., Doi K.. Transportation and spatial development: An overview and a future direction. // Transport Policy, - 2022, - Volume 49. P. 148-158

84. Elidan, G. & Friedman, N. (2005). Learning Hidden Variable Networks: The Information Bottleneck Approach. Journal of Machine Learning Research, 6

85. Шостак І.В. Анкетування: Методичні рекомендації щодо організації та проведення соціологічного дослідження, Острог, - 2021. С. 40.

86. Garcia-Martinez, A., Cascajo, R., Jara-Diaz, S., Chowdhury, S., & Monzon, A. (2018). Transfer penalties in multimodal public transport networks. Transportation Research Part A: Policy And Practice, 114, 52–66.

87. Redman L., Friman M., Gärling T., Hartig T. (2013). Attributes of public transport quality that attract car users: A review of the study. Transport Policy Volume 25, 119-127. doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.11.005.

88. Yap, M., Luo, D., Cats, O., van Oort, N., & Hoogendoorn, S. (2019). Where shall we sync? Clustering passenger flows to identify urban public transport hubs and their key synchronization priorities. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 98, 433–448. doi: 10.1016/j.trc.2018.12.013

89. Cumberland W.N., Fong Y., Yu X., Defawe O. , Frahm N., Rosa S.. Nonlinear Calibration Model Choice between the Four and Five-Parameter Logistic Models. // Journal of Biopharmaceutical Statistics. 2015. Volume 25 (5).

90. Бідюк П. І., Коршевніук Л. О. Проектування комп'ютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень. Навчальний посібник. - Київ. 2010., 340с.

91. Pourret O., Naim P., & Marcot B. (2008). Bayesian Networks: A Practical Guide to Applications. Chichester, UK: Wiley. 448

92. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I., Kozak M. Application of bayesian networks to estimate the probability of a transfer at a public transport stop // Transport Technologies. – 2022. – Vol. 3, № 2. – С. 22–32. 0,49 ум.д.ар

93. Ghodmarea S. D., Yadav G.. Transportation Planning Using Conventional Four Stage Modeling. // Turkish Journal of Computer and Mathematics Education. 2021. - Vol.12 No.12 P.2891-2897/

94. Півторак Г.В. Визначення параметрів мережі міських пасажирських перевезень на основі моделей теорії корисності з випадковим вибором : дис. канд. техн. наук : 05.22.01 / Півторак Г.В.. – Львів, 2021. – 202 с.

95. Al-Masaeid H. R, Fayyad S.. Estimation of trip generation rates for residential areas in Jordan. // Jordan Journal of Civil Engineering. – 2018. Vol.12(1).

96. Chang J. S., Jung D., Jung D., Kim J., Kang T., Kang T. Comparative analysis of trip generation models: Results using home-based work trips in the Seoul metropolitan area.// Transportation Letters The International Journal of Transportation Research. 2014.

97. Sarker I. H.. Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions. SN Computer Science. 2021. - Vol.2.

98. Гіць І. І., Кадюк Д. Р. Функціонування громадського транспорту під час воєнного стану // Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання : тези доповідей V Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 23–24 березня 2023 року, Львів. – 2023. – С. 109–110.

99. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I. Assessment of sustainability of the Lviv city transport system according to the indicator of accessibility // *Transport Technologies*. – 2021. – Vol. 2, № 2. – C. 11–19.
100. Senousi A. M., Zhang J., Shi W., Liu X. A Proposed Framework for Identification of Indicators to Model High-Frequency Cities//*ISPRS*. – 2021. Vol. 10.
101. Garau C., Pavan V. M.. *Evaluating Urban Quality: Indicators and Assessment Tools for Smart Sustainable Cities*. Sustainability, 2018. Vol. 10.
102. Tiglao N. C. C., Veyra J. M., Tolentino N. J. Y., Tacderas M. A. Y. The perception of service quality among paratransit users in Metro Manila using structural equations modelling (SEM) approach. // *Research in Transportation Economics*. – 2020. Vol. 83.
103. Liu T, Shan J, Liu X, Shang T. Departure efficiency evaluation of a comprehensive transport hub based on Wi-Fi probe data and a multilayer hybrid model. *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17(3):e0264473. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264473>
104. Talluri, K. T., Van Ryzin, G. J. (2004). *The theory and practice of revenue management*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/b139000>
105. Van Oort N. *Service Reliability and Urban Public Transport Design / – The Netherlands*, 2011. – 290c
106. Zhuk M., Pivtorak H.. About passenger travels demand modeling in urban transportation systems. *Transport Technologies*. – 2020. Vol. 1, No. 1.
107. Black, John. *Urban Transport Planning. Theory and Practice*. New York: Routledge2018. . 246 p.
108. Janic, Milan. *Transport Systems. Modelling, Planning, and Evaluation*. London: CRC Press. 2017. 428 p.
109. Alkharabshe h A., Moslem S., Duleba S.. Evaluating Passenger Demand for Development of the Urban Transport System by an AHP Model with the Real-World Application of Amman.// *Appl. Sci.* - 2019, - 9(22).
110. *PTV Vision: VISUM 11.5 Basics – Karlsruhe: PTV AG, 2010. – 756 c.*

111. Duleba S.. Sustainable Urban Transport Development with Stakeholder Participation, an AHP-Kendall Model: A Case Study for Mersin.// Sustainability, - 2018, - 10(10).

112. Miller C., Savage I.. Does the demand response to transit fare increases vary by income? // Transport Policy, - 2017, - Volume 55, P. 79-86.

113. Verbich D., El-Geneidy A.. Public transit fare structure and social vulnerability in Montreal, Canada. //Transportation Research Part A: Policy and Practice, - 2017, - Volume 96. P. 43-53.

114. Wu Z., Huang M., Zhao A. and lan Z.. Urban Traffic Planning and Traffic Flow Prediction based on ulchis gravity model and Dijkstra algorithm.// Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Internet of Things and Smart City, - 2021, - , Volume 1972.

115. Львів. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%8C%D0%B2%D1%96%D0%B2>.

116. Півторак Г. В., Гіць І. І. Оцінка якості систем громадського транспорту найкрупніших міст на основі показника насиченості // Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути : матеріали ІХ міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Київ, 16 жовтня 2020 р.). – 2020. – С. 660–666.

117. Головного управління статистики у Львівській області . Режим доступу: <https://www.lv.ukrstat.gov.ua/>.

118. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I. Assessment of the service quality in public transport (analysis of research in Lviv, Ukraine) // Transport Technologies. – 2023. – Vol. 4, № 2. – С. 12–22.

119. Педченко Г. П. Статистика: навчальний посібник. Мелітополь: Колор Принт, 2018. 266 с.

120. Півторак Г. В., Гіць І. І., Жила М. П. Оцінка розподілу пасажиропотоків в транспортно-пересадочному вузлі // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2022. – Т. 33 (72), № 2. – С. 215–220.

121. Gits I., Zhuk M., Pivtorak H. Analysis of demand for public transport service in Lviv city / *Transport Technologies* – 2020. - Vol. 1, No. 2. С. 57-64.

122. Жук М. М., Гіць І. І. Зміна вибору способу переміщення під впливом обмежень, пов'язаних з Covid-19 // Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання : тези доповіді Четвертої Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 25–26 березня 2021 року, Львів. – 2021. – С. 90–91.

123. . Halyna Pivtorak, Mykola Zhuk, Ivanna Gits, Andrii Galkin. Shifting the population mobility of the Ukraine western region on the strength of the Covid-19 pandemic // *Архіви транспорту*. – 2022. – Vol. 62, No. 2. – P. 7–23. (SciVerse SCOPUS).

124. Zito, P., Salvo, G. Toward an urban transport sustainability index: an European comparison. *Eur. Transp. Res. Rev.* 3, 179–195 (2011). <https://doi.org/10.1007/s12544-011-0059-0>

ДОДАТКИ

Маршрутна мережа міста Львова

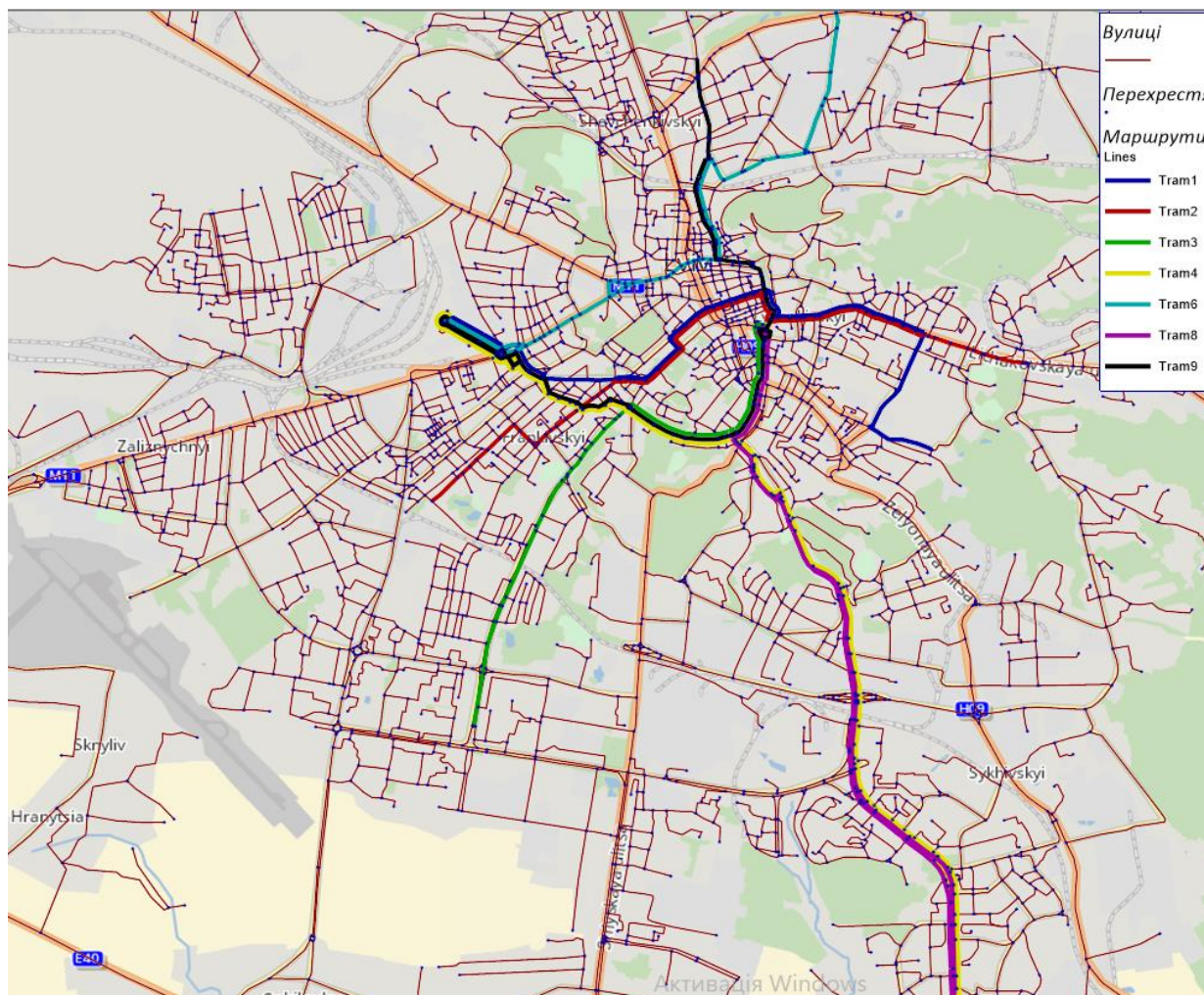


Рис. А1. Мережа трамвайних маршрутів міста Львова

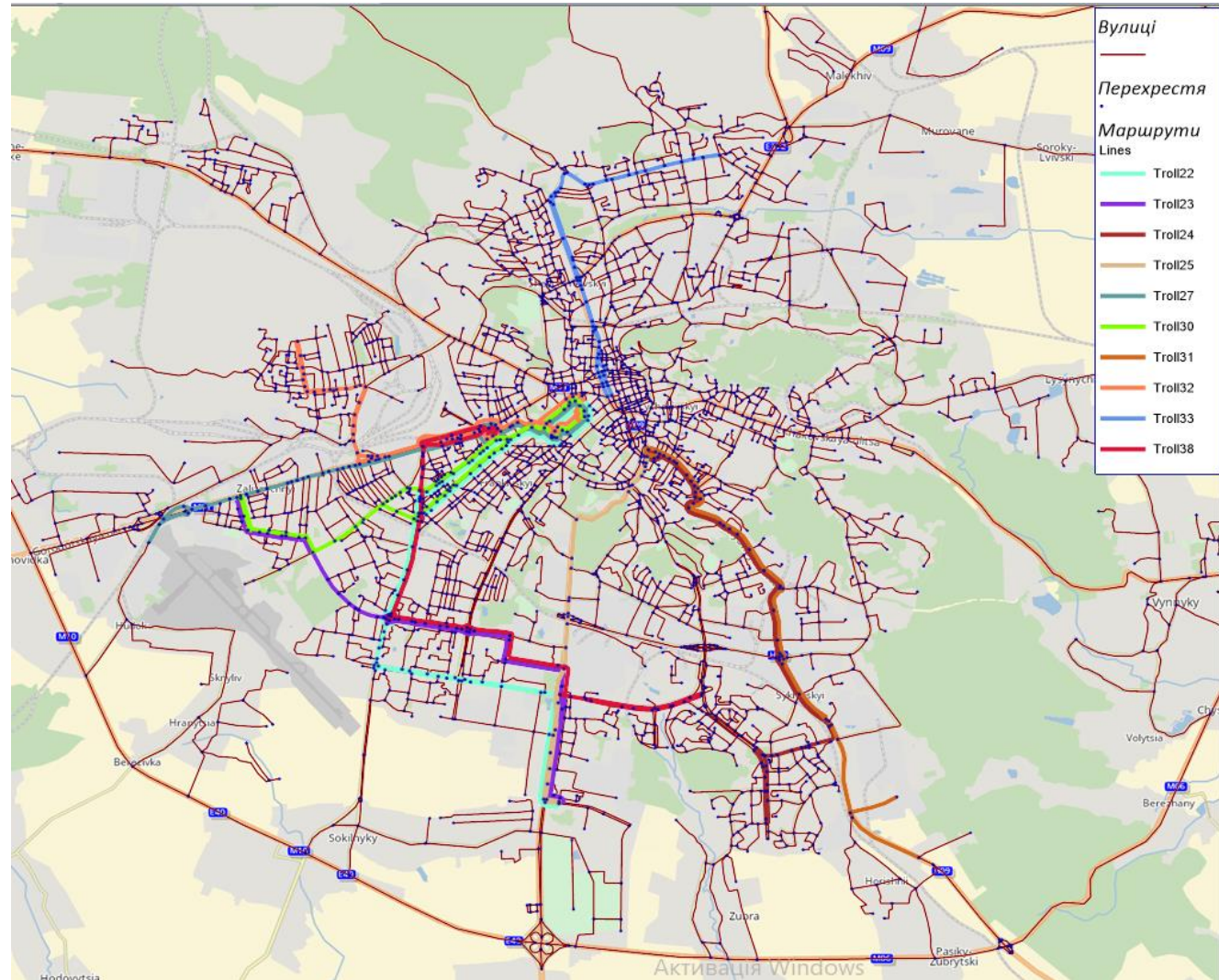


Рис. А2. Мережа тролейбусних маршрутів міста Львова

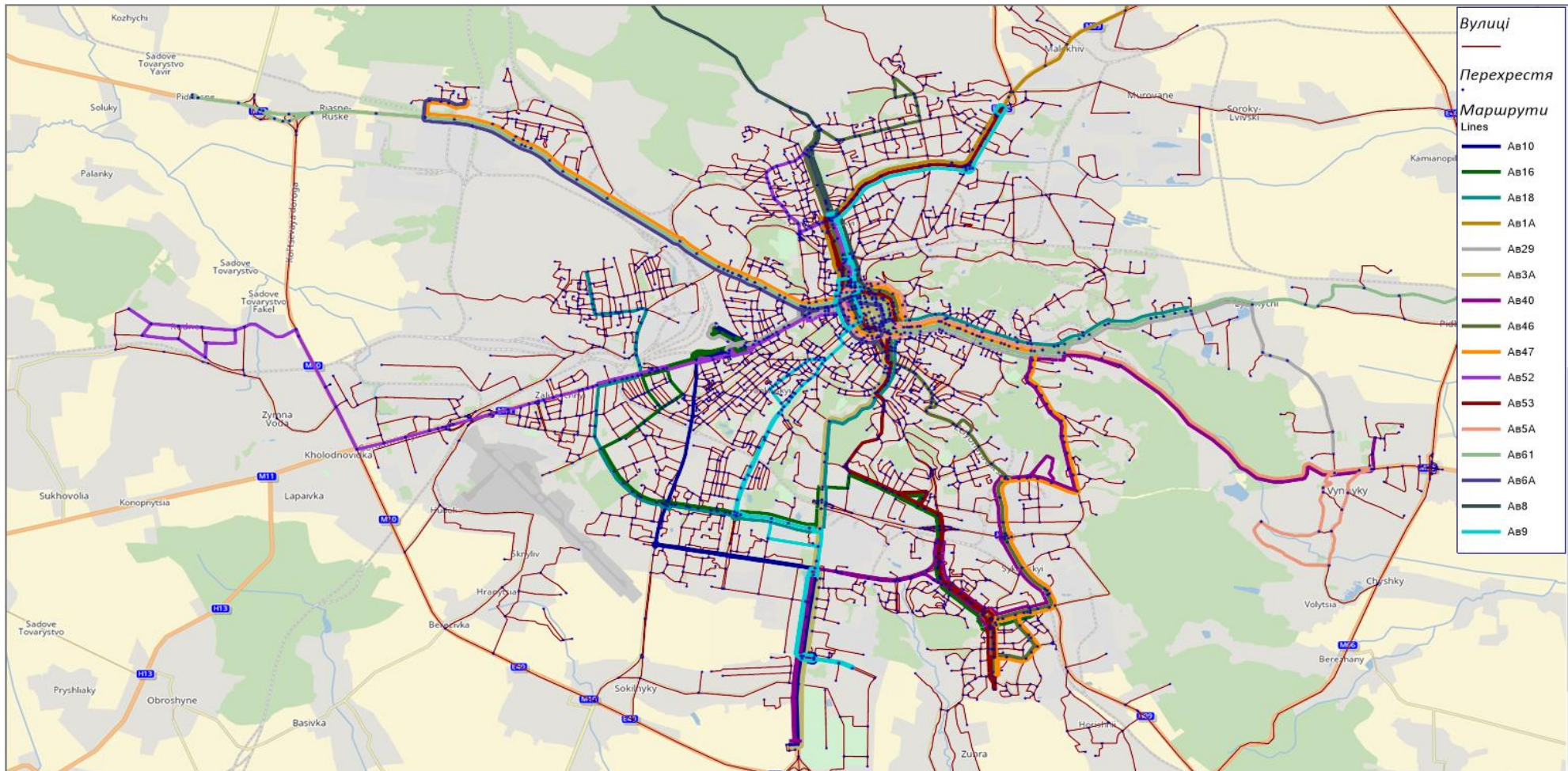


Рис. А3. Мережа автобусних маршрутів міста Львова (обслуговують транспортні засоби великої вмістимості)

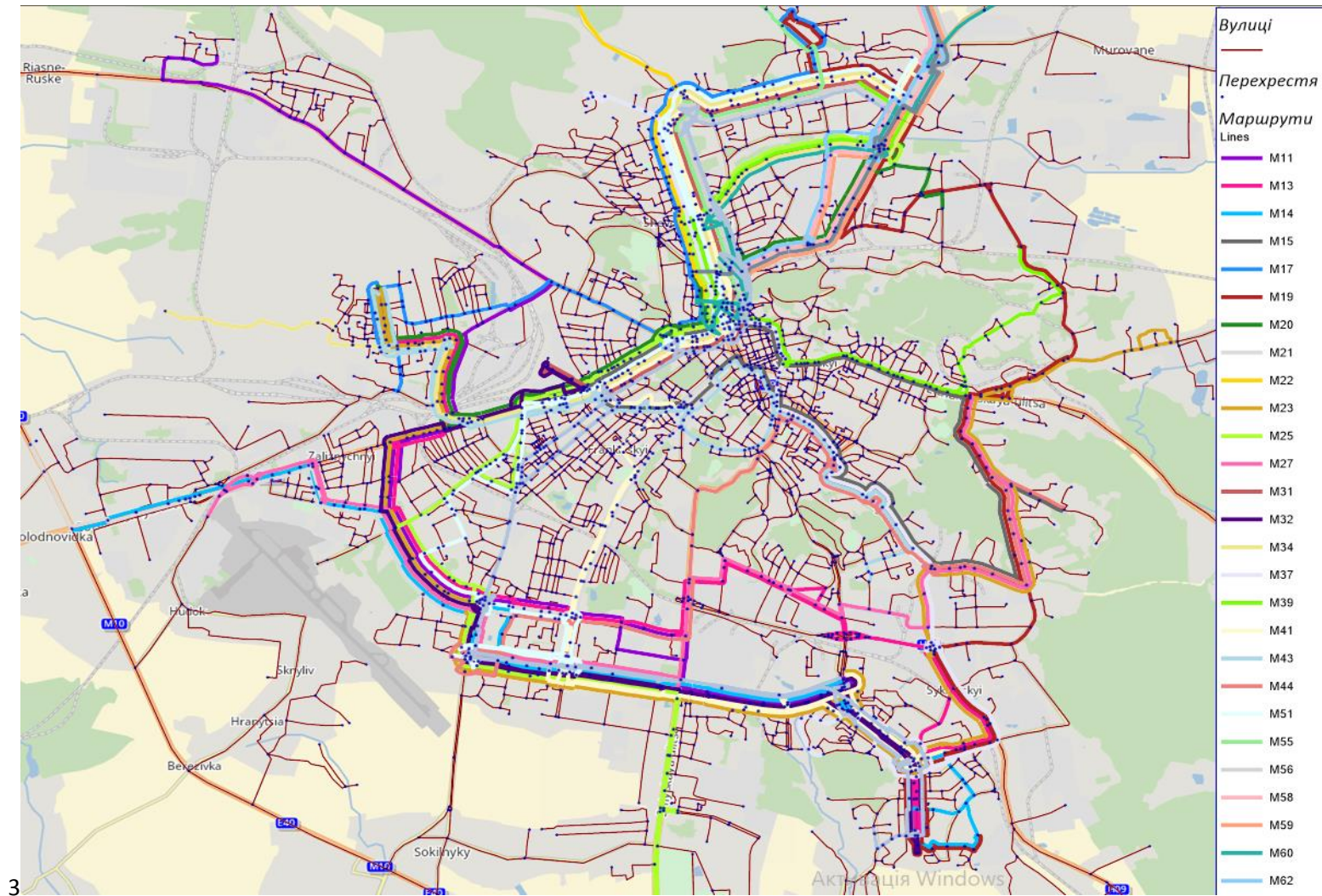


Рис. А4. Мережа автобусних маршрутів міста Львова
(обслуговують транспортні засоби середньої вмістимості)

Взірець анкети досліджень

Таблиця Б1

Бланк анкети для збору даних щодо попиту на послуги громадського транспорту

Запитання	Варіанти відповіді
1	2
1. Вкажіть вашу стать:	чоловіча
	жіноча
2. Вкажіть ваш вік:	
3. Вкажіть вашу зайнятість:	учень/учениця
	студент/студентка
	часткова/повна зайнятість
	домогосподар/домогосподарка
	шукаю роботу
	пенсіонер
	інше
4. Вкажіть галузь вашої зайнятості:	
5. Чи часто Ви здійснюєте поїздки містом?	кожного дня
	два - три рази на тиждень
	раз на тиждень
	ходжу пішки
	немає необхідності
	свій варіант
6. З якою метою найчастіше здійснюєте поїздки?	дім-навчання
	дім-робота
	дім-інше
	дім-покупки
7. Скільки часу триває Ваша поїздка?	0-15 хв.
	15-30 хв.
	30-45 хв.
	45-60 хв.
	більше 60 хв.
8. Переміщаючись містом, якому виду транспорту Ви надасте перевагу?	Індивідуальне авто
	автобус (великої вмістимості)
	автобус (середньої вмістимості)
	трамвай
	тролейбус
	велотранспорт

1	2
9. На момент здійснення поїздки автобус був заповнений на:	20%
	40%
	60%
	80%
	100%
10. Відстань пішого підходу до зупинки:	До 200 м
	200-400 м
	400-600 м
	600-800 м
	800-1000 м
	Більше 1000 м
11. Чи помічали Ви на зупинках міста системи інформування пасажирів?	так, їх доволі багато
	інколи зустрічаються, але хотілося б більше
	на тих зупинках громадського транспорту, якими я користуюся їх немає
	не зустрічав таких
12. На вашу думку, чи є потреба в наявності електронного табло на зупинках громадського транспорту?	так, адже знаєш час прибуття потрібного транспортного засобу
	зручно, проте від цього автобус швидше не приїде
	не звертаю уваги на них
13. Чи надали б Ви перевагу зупинці, яка облаштована системою інформування над зупинкою без неї, якби час підходу до них був однаковим?	однозначно так
	скористаюсь програмою(Google Maps,Eway)
	в залежності від настрою
	мені байдуже на неї

**Бланк анкети для збору даних щодо характеристик міських поїздок,
пов'язаних з пересадками**

Запитання	Варіанти відповіді
1	2
1. Вкажіть вашу стать:	чоловіча
	жіноча
2. Вкажіть ваш вік:	
3. Вкажіть вашу зайнятість:	учень/учениця
	студент/студентка
	часткова/повна зайнятість
	домогосподар/домогосподарка
	шукаю роботу
	пенсіонер
	інше
4. Вкажіть галузь вашої зайнятості:	
5. Вкажіть ваш середньомісячний дохід:	
6. Яким способом ви найчастіше переміщаєтесь містом?	громадським транспортом
	автомобілем (як водій/-ка)
	автомобілем (як пасажир/-ка)
7. Вкажіть, будь ласка, де ви проживаєте:	
8. Вкажіть частину міста в якій ви проживаєте:	
9. Вкажіть частину міста або громади до якої ви найчастіше здійснюєте поїздки (робота, навчання, закупи тощо):	
10. Як часто ви їздите громадським транспортом?	щодня (у будні)
	раз на тиждень
	кілька разів на тиждень
	кілька разів на місяць
	кілька разів на рік
11. Якому виду громадського транспорту ви надаєте перевагу?	автобус (великий)
	автобус (середній)
	автобус (великий та середній в однаковій мірі)
	трамвай
	тролейбус
	тролейбус та трамвай (в однаковій мірі)

1	2
12. О котрій годині ви вирушаєте до місця призначення (робота, навчання, закупи тощо)?	6:00-7:00
	7:00-8:00
	8:00-9:00
	9:00-10:00
	10:00-11:00
	11:00-12:00
	12:00-13:00
	13:00-14:00
	14:00-14:00
	15:00-16:00
	16:00-17:00
	17:00-18:00
	18:00-19:00
	19:00-20:00
20:00-21:00	
21:00-22:00	
13. Скільки для вас зазвичай становить час очікування на громадський транспорт?	0-5 хв.
	5-10 хв
	10-15 хв.
	15-20 хв.
	20-25хв.
	понад 25хв.
14. Скільки часу зазвичай триває ваша подорож до місця призначення (робота, навчання, закупи тощо)?	10-15 хв.
	15-20 хв.
	20-25хв.
	25-30 хв.
	30-35 хв.
	35-40 хв.
	40-45 хв.
	45-50 хв.
	50-55 хв.
	55-60 хв.
	понад 60 хв.
15. Скільки пересадок ви здійснюєте в межах однієї подорожі?	жодної
	1
	2
	Більше 2

1	2
16. О котрій годині ви зазвичай повертаєтесь додому (з роботи, навчання тощо)?	6:00 - 7:00
	7:00 - 8:00
	8:00 - 9:00
	9:00 - 10:00
	10:00 - 11:00
	11:00 - 12:00
	12:00 - 13:00
	13:00 - 14:00
	14:00 - 14:00
	15:00 - 16:00
	16:00 - 17:00
	17:00 - 18:00
	18:00 - 19:00
	19:00 - 20:00
	20:00 - 21:00
21:00 - 22:00	
22:00 - 23:00	
23:00 - 24:00	
17. О котрій годині для вас було б зручно мати останній рейс до вашого місця проживання?	20:00 - 21:00
	21:00 - 22:00
	22:00 - 23:00
	23:00 - 24:00
	після 24:00
18. Як ви оцінюєте систему громадського транспорту Львова?	дуже погано
	погано
	задовільно
	добре
19. Як ви оцінюєте наявність та доступність інформації про роботу громадського транспорту у Львові?	дуже погано
	погано
	задовільно
	добре
20. Як ви оцінюєте частоту курсування громадського транспорту?	погано (рідко)
	задовільно
	добре (часто)
21. Що для вас важливіше:	прямий маршрут до місця призначення
	короткий час очікування на зупинці
	мені важливіше якомога швидше дістатися до місця призначення

1	2
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Наявність маршруту ГТ (в межах 500 м до зупинки)]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Покриття міста маршрутною мережею]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Комфорт на зупинці]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Наявність ГТ з низькою підлогою (місця для людей з інвалідністю, дитячих візочків)]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Час поїздки]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Чистота транспортних засобів]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Комфортність сидінь в ГТ]	1
	2
	3
	4
	5

1	2
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Шум в салоні ГТ]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Наявність вільного місця в салоні (переповненість)]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Простота оплати]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Вартість проїзду]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Поведінка водіїв ГТ]	1
	2
	3
	4
	5
22. Оцініть, будь ласка, вашу ЗАДОВОЛЕНІСТЬ за оцінками від 1 до 5 у кожному з нижче перелічених варіантів: ГТ - громадський транспорт [Безпека під час поїздки]	1
	2
	3
	4
	5
23. Скільки коштів ви витрачаєте на оплату проїзду на місяць?	менше 100 грн.
	200-300 грн.
	300-400 грн.
	400-500 грн.
	500-600 грн.
	600-1000 грн.
	понад 1000 грн.
	не витрачаю (маю пільги)

Результати натурних досліджень на зупинках міста Львова

Таблиця В1

Результати проведення натурних обстежень на зупинці ТРЦ «Скриня» (час проведення дослідження (дата, година) 10.03.2023 (07:55-09:30))

Година	Маршрут	Заповненість транспортного засобу, бали	Пасажири, осіб			
			Вийшло	З них залишилося на зупинці	Зайшло	З них пересадкових
1	2	3	4	5	6	7
07:55	20	5	0	0	14	0
07:58	121	0	0	0	23	0
07:59	190	2	8	3	0	3(51)
08:01	51	4	3	2	4	2
08:02	83	2	3	0	5	0
08:02	10	1	11	4	1	4(184)
08:03	111	5	0	0	6	0
08:04	187	2	9	3	0	3
08:04	184	5	5	0	6	0
08:05	32	2	4	1	2	1
08:05	27 Т	4	5	4	9	4(15)
08:05	16	3	11	5	2	5(15)
08:06	25	4	2	0	7	0
08:06	15	1	0	0	9	0
08:07	20	5	0	0	7	0
08:07	51	4	1	0	6	0
08:08	52	4	3	2	12	2
08:09	32 Т	3	3	2	1	2(34)
08:10	141	1	9	4	0	4(6a)
08:10	34	4	4	1	5	1
08:12	6a	5	11	4	12	4
08:13	113a	2	10	6	0	6(184a)
08:13	184a	4	0	0	8	0
08:14	52	3	6	2	5	2(121)
08:14	172	2	5	1	0	1
08:15	38 Т	5	14	8	1	8(121)
08:15	187	1	14	0	0	0
08:16	121	0	0	0	17	0
08:16	111	2	0	0	4	0
08:17	156	6	0	0	2	0
08:18	51	6	4	0	2	0
08:18	16	4	13	6	4	6(43)
08:18	34	4	0	0	2	0

Продовження таблиці В1

1	2	3	4	5	6	7
08:20	43	4	5	3	12	3(20)
08:21	140	1	10	4	0	4(20)
08:21	20	5	7	1	12	1
08:22	184a	6	2	1	3	1
08:23	34	5	4	1	8	1
08:24	16	3	16	11	1	11(6a)
08:25	6a	5	3	0	11	0
08:25	183	6	2	0	4	0
08:26	20	6	5	1	4	1
08:26	32 T	5	12	5	3	5(25)
08:27	25	6	5	2	7	2(15)
08:27	15	1	0	0	5	0
08:28	184a	5	3	0	5	0
08:29	111	5	2	0	5	0
08:29	141	3	22	9	0	9(20)
08:30	10	2	18	7	3	7(51)
08:30	34	5	2	1	4	1
08:32	20	4	3	2	6	2
08:32	184	6	2	0	2	0
08:33	51	5	8	1	5	1
08:33	38 T	2	3	2	5	2
08:34	109	1	6	0	0	0
08:35	184a	5	3	0	8	0
08:35	121	0	0	0	12	0
08:36	52	6	8	3	3	3(20)
08:36	140	3	10	4	0	4
08:37	20	5	2	0	5	0
08:38	16	3	13	4	1	4(6a)
08:38	6a	4	12	6	4	6(32 T)
08:40	32 T	3	2	1	5	1
08:41	34T	4	8	0	0	0
08:41	111	2	1	0	4	0
08:42	52	3	3	3	3	3(15)
08:43	15	1	0	0	12	0
08:44	140	3	2	0	0	0
08:45	20	6	3	0	5	0
08:45	187	2	8	4	0	4(51)
08:46	51	6	3	0	2	0
08:47	156	4	9	3	2	3
08:48	32	4	7	0	1	0
08:48	38 T	2	6	2	3	2
08:49	16	4	21	6	0	6(34)
08:49	34	5	1	0	10	0

Продовження таблиці В1

1	2	3	4	5	6	7
08:50	20	5	7	2	5	2
08:50	184a	6	6	0	6	0
08:52	43	5	5	1	9	1
08:53	111	5	4	1	2	1
08:54	34	5	7	3	3	3
08:55	184a	4	2	0	1	0
08:56	32	3	4	0	0	0
08:56	121	0	0	0	4	0
08:56	6a	2	11	4	2	4(15)
08:57	141	1	4	2	0	2(32 T)
08:57	32 T	3	9	3	5	3(15)
08:58	184	4	0	0	1	0
08:58	20	3	1	0	3	0
08:59	15	1	0	0	18	0
08:59	52	2	8	3	3	3
08:59	16	4	5	0	3	0
09:00	38 T	1	4	1	1	1
09:02	10	3	6	2	1	2(20)
09:02	34	4	0	0	4	0
09:03	184a	3	2	1	7	1
09:04	111	4	2	1	1	1
09:04	20	2	0	0	5	0
09:05	25	6	6	2	3	2(32 T)
09:06	184a	5	1	0	1	0
09:06	187	1	1	0	0	0
09:07	32 T	3	4	1	5	1
09:08	141	3	16	9	0	9(20)
09:08	38	1	0	0	1	0
09:10	20	4	0	0	4	0
09:10	140	1	4	1	1	1
09:11	32	3	7	3	0	3(20)
09:12	20	2	2	1	8	1
09:12	34	6	3	0	9	0
09:13	6a	5	8	0	1	0
09:13	184a	3	4	0	1	0
09:13	52	3	5	2	3	2(15)
09:14	32	2	2	1	1	1
09:15	184a	4	2	1	2	1
09:15	52	3	4	1	1	1
09:17	27	2	2	0	2	0
09:17	184	1	2	0	3	0
09:18	121	0	0	0	6	0
09:19	16	4	6	2	1	2

Продовження таблиці В1

1	2	3	4	5	6	7
09:19	15	0	0	0	10	0
09:19	184a	3	2	1	5	1
09:20	141	2	8	3	1	3(51)
09:20	34	5	3	0	8	0
09:21	51	6	5	2	3	2
09:22	16	2	7	2	0	2
09:22	20	6	4	2	7	2
09:23	25	6	1	1	7	1
09:24	140	3	5	2	0	2(20)
09:24	43	2	0	0	11	0
09:25	38T	1	1	0	1	0
09:26	20	4	0	0	11	0
09:26	32 T	3	5	4	2	4(51)
09:27	6a	4	4	1	2	1
09:28	187	3	11	0	0	0
09:29	32	2	1	1	0	1
09:30	51	5	1	0	5	0

Таблиця В2

**Результати проведення натурних обстежень на зупинці Городоцька-Кільцева
(час проведення дослідження (дата, година) 07.03.2023 (08:09 – 09:37))**

Година	Маршрут	Заповненість транспортного засобу, бали	Пасажири, осіб			
			Вийшло	З них залишилося на зупинці	Зайшло	З них пересадкових
1	2	3	4	5	6	7
08:09	287	6	3	3	2	3(14)
08:10	184a	6	8	7	1	8(14)
08:11	156	1	0	0	15	0
08:14	184a	4	1	1	2	1(14)
08:15	138	1	1	1	6	1(14)
08:15	14	-	-	-	20	-
08:16	52	2	5	5	10	10
08:19	182	2	5	5	3	5
08:20	184a	2	2	2	4	2(184)
08:22	138	2	1	1	3	1
08:23	184	1	0	0	14	0
08:24	184a	5	1	1	1	1
08:25	140	4	4	4	1	4(21)
08:26	21	1	0	0	14	0
08:30	126	5	4	4	0	4(52)
08:30	52	4	3	3	8	3
08:32	184a	4	3	3	4	3(21)

Продовження таблиці В2

1	2	3	4	5	6	7
08:33	187	3	4	4	2	4
08:34	195	4	6	6	1	6(184a)
08:37	21	1	1	1	28	1
08:38	140	2	6	6	2	6
08:40	184a	3	3	3	15	3(52)
08:40	52	2	2	2	3	2(14)
08:42	722	5	6	6	4	6
08:43	156	2	8	7	1	7(14)
08:45	14	-	-	-	23	-
08:46	1001	2	3	3	4	3(138)
08:48	138	6	5	5	16	5(21)
08:48	287	2	2	2	2	2(52)
08:48	183	4	5	5	3	5(52)
08:50	21	1	0	0	5	0
08:51	52	2	5	5	7	5(14)
08:54	14	-	-	-	5	-
08:55	185	1	6	6	1	6(184a)
08:55	140	1	1	1	1	1
08:57	184a	2	1	1	13	1
08:59	52	4	29	25	18	25(14)
09:01	184a	3	2	2	3	2
09:02	138	4	6	6	3	6(21)
09:04	1001	3	7	6	4	6
09:04	156	2	2	2	1	2
09:04	14	-	-	-	24	-
09:05	21	1	0	0	13	0
09:06	184	1	1	1	5	1
09:07	184a	1	0	0	4	0
09:07	140	1	5	5	0	5(52)
09:09	138	2	1	1	4	1
09:10	140	1	1	1	1	1
09:11	138	1	2	2	12	2
09:12	183	5	4	4	11	4(14)
09:13	52	1	2	2	12	2
09:16	187	4	5	5	1	5(184a)
09:16	21	1	0	0	15	0
09:17	184a	6	2	2	13	2
09:18	14	-	-	-	12	-
09:19	195	3	6	6	5	6(138)
09:20	138	5	1	1	8	1
09:20	185	2	2	2	0	2
09:22	287	3	6	6	0	6
09:23	1001	3	7	7	1	7(52)
09:24	140	1	1	1	3	1
09:25	184a	6	1	1	5	1
09:25	52	3	10	8	24	8(14)
09:26	148	4	3	3	0	3
09:26	21	1	0	0	6	0
09:30	14	-	-	-	9	-

Продовження таблиці В2

1	2	3	4	5	6	7
09:32	138	1	0	0	6	0
09:32	184a	4	2	2	5	2
09:32	156	4	2	2	1	2
09:34	183	3	4	4	1	4
09:37	187	1	3	3	2	3
09:37	184a	2	2	2	0	2
09:37	140	1	0	0	3	0

Таблиця В3

**Результати проведення натурних обстежень на зупинці Шота Руставелі
(час проведення дослідження (дата, година) 08.03.2023 (8:00 – 9:30))**

Година	Маршрут	Заповненість транспортного засобу, бали	Пасажири, осіб			
			Вийшло	З них залишилося на зупинці	Зайшло	З них пересадкових
1	2	3	4	5	6	7
8:00	3А	6	6	1	4	0
8:00	18	5	7	2	5	0
8:00	тр. 25	5	5	1	0	0
8:02	тр. 24	5	5	3	0	0
8:05	53	6	6	0	4	1 (тр.25) 2 (тр.24) 1 (18)
8:05	тр. 31	3	3	3	0	0
8:06	1004	3	10	6	0	0
8:08	Тр. 25	4	15	5	0	0
8:10	44	3	6	1	4	4 (1004) 2 (тр.31) 1 (тр.25)
8:11	3А	5	10	5	9	1 (1004) 2 (тр.25) 1 (44)
8:12	18	5	2	0	4	0
8:12	Тр. 24	3	14	4	0	0
8:17	53	5	6	1	1	2 (тр.25) 1 (тр.24)
8:22	3А	5	5	0	6	3 (тр.25)
8:22	Тр.24	4	18	8	0	0
8:24	18	5	8	0	2	4 (тр.24)
8:24	Тр.25	4	15	7	0	0
8:29	53	5	9	0	0	3 (тр.25)
8:30	44	4	6	0	4	1 (тр.25)
8:32	Тр.24	4	16	5	0	0
8:32	Тр.25	4	17	8	0	0
8:33	3А	5	8	0	4	2 (тр.24) 3 (тр.25)
8:36	18	4	4	0	0	0
8:40	Тр.25	4	14	4	0	0
8:41	53	5	3	0	4	2 (тр.25)

Продовження таблиці В3

1	2	3	4	5	6	7
8:42	Тр.24	4	18	4	0	0
8:44	3А	5	9	0	1	1 (тр.24)
8:45	Тр.31	3	11	4	0	0
8:46	1004	3	5	0	0	0
8:48	Тр.25	4	17	4	0	0
8:48	18	5	8	3	2	2 (тр.31) 1 (тр.25)
8:52	Тр.24	4	16	2	0	0
8:53	53	4	5	1	4	1 (тр.24) 2 (18)
8:55	3А	4	6	0	4	0
8:56	Тр.25	4	9	3	0	0
9:00	18	4	2	0	5	3 (тр.25)
9:00	44	3	5	0	4	0
9:02	Тр.24	3	10	5	0	0
9:04	Тр.25	3	8	3	0	0
9:05	53	4	4	0	3	1 (тр.24) 1 (тр.25)
9:06	3А	4	8	0	2	2 (тр.24)
9:12	18	4	6	0	0	1 (тр.25)
9:12	Тр.25	3	10	4	0	0
9:17	53	4	4	0	4	3 (тр.25)
9:17	3А	4	6	1	3	0
9:20	44	3	4	0	6	1 (3А)
9:20	Тр.25	3	11	5	0	0
9:22	Тр.24	3	13	5	0	0
9:24	18	4	6	0	4	2 (тр.25) 2 (тр.24)
9:25	Тр.31	3	5	1	0	0
9:26	1004	3	3	1	0	0
9:28	3А	4	7	0	6	0
9:29	53	4	4	0	4	0

Наповненість ТЗ:

6 балів – граничне заповнення ТЗ (посадка пасажирів ускладнена або неможлива);

5 балів – багато стоячих людей, але посадка можлива

4 бали – всі місця для сидіння зайняті, досить багато стоячих людей

3 бали – всі місця для сидіння зайняті, стоячих людей мало

2 бали – зайнято більше 1/3 місць для сидіння, стоячих немає

1 бал – зайнято менше 1/3 місць для сидіння

Фрагменти матриць отримані за допомогою програмного забезпечення PTV Visum

Таблиця Г1

Початкова матриця кореспонденцій (фрагмент матриці)

Matrix editor (Matrix: '1 Початкова матриця')

89 x 89	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
	Sum	38.00	18.00	7.00	86.00	39.00	49.00	45.00	55.00	16.00	43.00	28.00	168.00	114.00	92.00	76.00	58.00	31.00	49.00	75.00	101.00	75.00	18.00	86.00	46.00	36.00	9.00	80.00	40.00	
1	19.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	14.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	51.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	
4	216.00	2.00	0.00	0.00	14.00	1.00	6.00	5.00	2.00	0.00	2.00	0.00	8.00	5.00	5.00	4.00	3.00	1.00	3.00	1.00	2.00	4.00	0.00	5.00	4.00	0.00	5.00	0.00	5.00	
5	90.00	2.00	0.00	0.00	0.00	7.00	1.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	5.00	0.00	6.00	1.00	0.00	0.00	6.00	2.00	4.00	1.00	1.00	2.00	3.00	0.00	0.00	2.00	
6	75.00	1.00	0.00	0.00	3.00	0.00	4.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.00	1.00	0.00	3.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
7	100.00	0.00	2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	3.00	0.00	1.00	1.00	3.00	6.00	3.00	3.00	2.00	0.00	1.00	1.00	5.00	1.00	0.00	3.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	
8	65.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	1.00	2.00	0.00	2.00	1.00	2.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	23.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	
11	17.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	3.00	1.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
12	195.00	0.00	1.00	0.00	10.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	0.00	32.00	4.00	6.00	3.00	4.00	0.00	0.00	4.00	4.00	1.00	1.00	5.00	0.00	1.00	5.00	1.00	5.00	
13	87.00	1.00	1.00	0.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	3.00	8.00	13.00	3.00	1.00	2.00	0.00	2.00	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
14	83.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	5.00	1.00	0.00	0.00	2.00	1.00	7.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	
15	105.00	3.00	0.00	0.00	2.00	0.00	1.00	1.00	3.00	0.00	1.00	0.00	3.00	5.00	2.00	5.00	0.00	1.00	4.00	3.00	0.00	0.00	2.00	0.00	4.00	0.00	4.00	0.00	2.00	
16	42.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	3.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
17	56.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	4.00	2.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	
18	64.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	3.00	0.00	0.00	2.00	1.00	2.00	3.00	1.00	1.00	3.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	
19	82.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	3.00	2.00	1.00	1.00	8.00	1.00	2.00	1.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00	2.00	0.00	
20	184.00	0.00	0.00	0.00	2.00	3.00	3.00	0.00	5.00	0.00	1.00	0.00	10.00	5.00	3.00	0.00	2.00	0.00	3.00	5.00	7.00	2.00	1.00	4.00	1.00	4.00	1.00	2.00	2.00	
21	67.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	2.00	0.00	1.00	4.00	3.00	0.00	1.00	0.00	1.00	2.00	0.00	1.00	7.00	0.00	1.00	1.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	
22	59.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.00	1.00	2.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	3.00	
23	83.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	
24	132.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.00	4.00	2.00	3.00	3.00	0.00	1.00	0.00	6.00	2.00	2.00	0.00	0.00	4.00	4.00	0.00	3.00	1.00	1.00	
25	104.00	1.00	0.00	0.00	2.00	0.00	1.00	2.00	1.00	0.00	0.00	1.00	4.00	3.00	4.00	1.00	0.00	1.00	1.00	2.00	7.00	0.00	2.00	1.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
26	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
27	58.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00	1.00	1.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	2.00	3.00	
28	53.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	3.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.00	
29	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
30	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
31	35.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	
32	165.00	1.00	0.00	0.00	3.00	2.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	4.00	4.00	3.00	1.00	2.00	1.00	4.00	2.00	1.00	0.00	6.00	2.00	1.00	0.00	2.00	0.00	
33	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
34	21.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
35	116.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	3.00	4.00	0.00	3.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00	2.00	1.00	3.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
36	42.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	3.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	
37	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
38	119.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	2.00	1.00	0.00	1.00	0.00	2.00	3.00	0.00	2.00	0.00	0.00												

Таблиця Г2

Прогнозована матриця кореспонденцій з використанням громадського транспорту(фрагмент матриці)

Matrix editor (Matrix '2 Остаточна початкова матриця')

89 x 89		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
	Name	Sum	7970.00	4870.00	3205.00	15440.00	8185.00	9510.00	9025.00	10500.00	4590.00	8595.00	6345.00	28495.00	19835.00	16330.00	13840.00	10845.00	6840.00	9560.00	13650.00	17665.00	13625.00	4770.00	15390.00	9240.00	7540.00		
1		5085.00	330.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	495.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
2		4310.00	25.00	165.00	165.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
3		9815.00	25.00	165.00	165.00	165.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	330.00	25.00	25.00	330.00	165.00	165.00	25.00	25.00	165.00	25.00	165.00	25.00	165.00	
4		36490.00	330.00	25.00	25.00	2310.00	165.00	990.00	825.00	330.00	25.00	330.00	25.00	1320.00	825.00	825.00	660.00	495.00	165.00	495.00	165.00	330.00	660.00	25.00	825.00	660.00	25.00	25.00	
5		16050.00	330.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	330.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	825.00	25.00	990.00	165.00	25.00	990.00	330.00	660.00	165.00	165.00	330.00	660.00	165.00	330.00	495.00
6		13800.00	165.00	25.00	25.00	495.00	25.00	660.00	825.00	25.00	25.00	25.00	165.00	165.00	495.00	165.00	25.00	495.00	25.00	330.00	25.00	25.00	165.00	165.00	165.00	165.00	165.00	25.00	25.00
7		17700.00	25.00	330.00	25.00	330.00	330.00	330.00	25.00	495.00	25.00	165.00	165.00	495.00	990.00	495.00	495.00	330.00	25.00	165.00	165.00	825.00	165.00	25.00	495.00	165.00	165.00	25.00	25.00
8		12150.00	25.00	25.00	25.00	165.00	165.00	25.00	25.00	990.00	25.00	25.00	165.00	330.00	25.00	165.00	330.00	165.00	330.00	25.00	165.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
9		5720.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	660.00	25.00	25.00	25.00	25.00	330.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
10		4540.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	330.00	25.00	165.00	165.00	25.00	25.00	
11		4680.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	165.00	25.00	25.00	25.00	495.00	165.00	330.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	165.00	25.00	165.00	25.00	25.00	
12		33125.00	25.00	165.00	25.00	1650.00	330.00	165.00	165.00	165.00	165.00	660.00	25.00	5280.00	660.00	990.00	495.00	660.00	25.00	25.00	660.00	660.00	165.00	25.00	825.00	25.00	825.00	25.00	165.00
13		15630.00	165.00	165.00	25.00	330.00	165.00	165.00	165.00	25.00	25.00	495.00	1320.00	2145.00	495.00	165.00	330.00	25.00	330.00	165.00	330.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
14		15095.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	330.00	165.00	825.00	165.00	25.00	25.00	330.00	165.00	1155.00	330.00	25.00	165.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00
15		18550.00	495.00	25.00	25.00	330.00	25.00	165.00	165.00	495.00	25.00	165.00	25.00	495.00	825.00	330.00	825.00	25.00	165.00	660.00	495.00	25.00	25.00	330.00	25.00	660.00	25.00	660.00	
16		8580.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	330.00	25.00	330.00	495.00	25.00	165.00	25.00	165.00	165.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
17		10840.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	330.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	990.00	25.00	660.00	330.00	165.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	
18		12085.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	495.00	25.00	25.00	330.00	165.00	330.00	495.00	165.00	165.00	495.00	25.00	660.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	165.00
19		14805.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	165.00	25.00	330.00	25.00	330.00	25.00	495.00	495.00	330.00	165.00	165.00	1320.00	165.00	330.00	165.00	330.00	25.00	25.00	25.00	
20		31235.00	25.00	25.00	25.00	330.00	495.00	495.00	25.00	825.00	25.00	165.00	25.00	165.00	825.00	495.00	25.00	495.00	825.00	1155.00	330.00	165.00	165.00	165.00	165.00	660.00	165.00	165.00	
21		12280.00	25.00	25.00	25.00	165.00	165.00	165.00	25.00	25.00	330.00	25.00	165.00	660.00	495.00	25.00	25.00	165.00	25.00	330.00	25.00	165.00	1155.00	25.00	165.00	330.00	25.00	25.00	
22		11135.00	165.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	165.00	165.00	330.00	165.00	25.00	25.00	165.00	330.00	165.00	25.00	165.00	25.00	165.00	25.00	165.00	
23		14895.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	330.00	165.00	165.00	165.00	165.00	330.00	165.00	165.00	165.00	165.00	165.00	25.00	165.00	165.00	165.00	165.00	
24		22880.00	165.00	25.00	25.00	165.00	25.00	495.00	25.00	25.00	25.00	165.00	660.00	330.00	495.00	660.00	25.00	165.00	25.00	990.00	330.00	330.00	25.00	25.00	660.00	660.00	660.00		
25		18460.00	165.00	25.00	25.00	330.00	25.00	165.00	330.00	165.00	25.00	25.00	165.00	660.00	495.00	660.00	165.00	25.00	165.00	165.00	330.00	1155.00	25.00	330.00	165.00	495.00	495.00		
26		3980.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
27		11070.00	25.00	25.00	25.00	495.00	25.00	330.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	495.00	165.00	165.00	25.00	330.00	25.00	25.00	330.00	165.00	165.00	165.00	330.00	330.00	330.00		
28		10170.00	25.00	25.00	25.00	25.00	330.00	25.00	165.00	25.00	25.00	165.00	165.00	165.00	165.00	25.00	25.00	165.00	25.00	165.00	165.00	495.00	25.00	330.00	25.00	25.00	25.00		
29		3370.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
30		4540.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
31		7325.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	165.00	25.00	165.00	25.00	165.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
32		28000.00	165.00	25.00	25.00	495.00	330.00	25.00	165.00	165.00	165.00	165.00	165.00	495.00	660.00	660.00	495.00	165.00	330.00	165.00	660.00	330.00	165.00	25.00	990.00	330.00	165.00		
33		6725.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	165.00	25.00	330.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	330.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	
34		5315.00	25.00	25.00	25.00	330.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	165.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
35		20165.00	165.00	25.00	25.00	165.00	165.00	165.00	330.00	165.00	165.00	165.00	495.00	660.00	0.00	495.00	330.00	165.00	25.00	25.00	495.00	330.00	165.00	495.00	1				

Матриця кореспонденцій з використанням громадського транспорту (фрагмент матриці)

Matrix editor (Matrix '25 Матрица ГТ)																										
89 x 89		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Name	Sum	1332.63	1418.99	882.42	4484.62	2358.68	2468.77	2292.88	2660.01	1107.37	1997.13	1452.17	6544.93	5063.78	4409.39	3734.86	2831.37	1722.68	1865.85	3652.98	4831.59	3992.57	1160.10	4350.11	2595.99	1957.95
1	1207.44	21.08	9.63	4.94	26.80	14.47	15.00	14.17	18.05	6.08	8.75	9.75	30.72	21.90	17.62	18.73	13.08	7.59	7.96	18.73	23.85	19.99	5.88	19.38	11.88	7.90
2	1233.57	9.63	9.11	4.94	24.54	13.00	14.18	12.91	15.52	6.32	10.89	9.36	33.51	26.54	20.80	18.29	13.25	8.27	9.21	18.29	23.26	19.10	5.78	18.95	11.58	9.00
3	2636.25	17.95	18.35	14.55	54.32	30.89	30.58	31.09	36.54	14.09	21.09	19.94	72.30	53.16	45.15	39.24	28.64	16.65	19.11	39.37	51.17	42.10	12.67	41.81	26.01	17.39
4	10105.12	61.41	65.03	45.70	252.78	109.10	117.06	107.12	126.73	54.21	83.50	76.72	276.02	218.31	186.36	151.76	113.70	63.35	70.90	151.43	193.76	161.41	48.14	165.26	97.62	72.70
5	4532.65	32.99	28.91	19.28	91.58	57.39	51.88	47.88	56.21	23.68	41.14	34.49	125.37	98.10	80.96	66.72	50.69	32.16	33.16	66.66	85.83	70.70	21.36	71.41	45.11	32.34
6	3675.67	23.72	24.45	15.89	73.28	40.41	59.78	39.55	46.94	19.13	34.09	26.31	90.94	81.61	70.23	56.67	44.53	27.83	26.07	56.74	74.23	61.72	18.48	62.78	37.56	26.38
7	4595.96	32.18	30.45	20.36	97.26	51.01	54.02	74.45	58.19	24.63	42.59	35.86	129.34	101.73	83.64	68.77	52.73	33.27	32.61	68.82	88.68	73.38	21.97	73.72	46.76	32.95
8	3310.15	20.52	21.05	13.26	64.61	33.92	33.25	32.90	57.15	14.58	25.86	25.69	70.42	62.68	52.23	50.02	34.90	21.87	24.96	50.23	63.90	51.85	15.77	51.13	31.24	24.52
9	1430.99	8.18	9.26	6.06	30.28	16.35	15.18	15.87	17.37	12.47	13.60	9.30	37.21	33.61	28.92	22.72	17.71	11.11	9.19	22.79	30.06	24.91	7.42	25.06	15.13	10.58
10	1178.51	5.18	6.63	4.43	23.62	11.51	12.03	11.16	12.42	5.37	17.84	6.41	34.42	27.03	20.48	19.08	13.74	9.18	9.27	18.31	23.24	18.27	5.55	18.83	12.13	8.05
11	1245.07	6.36	6.76	4.57	22.45	11.71	12.02	11.30	12.58	5.46	11.45	13.27	31.84	28.56	23.56	21.36	15.24	9.54	7.95	21.35	27.22	22.11	6.76	22.59	14.38	10.47
12	9067.54	51.98	54.40	34.73	168.41	90.42	87.19	88.15	104.24	40.04	87.61	54.49	420.10	188.80	165.40	136.73	109.81	66.80	65.38	130.28	166.12	145.92	41.08	143.02	96.69	62.25
13	4289.14	25.56	26.62	16.98	82.30	44.28	42.38	43.24	51.08	19.38	41.60	26.60	152.52	139.54	80.82	64.51	48.98	31.35	31.19	62.80	80.05	71.43	19.80	69.37	47.21	30.01
14	4072.33	22.82	24.99	16.60	80.26	41.93	39.86	40.92	47.64	18.37	38.84	25.68	121.00	89.48	110.28	63.38	51.11	29.89	25.15	68.12	86.34	70.71	21.58	68.24	46.59	28.85
15	5064.28	26.90	26.59	17.48	88.59	45.81	49.39	44.31	49.27	22.37	45.97	25.93	140.67	110.77	87.95	112.62	60.55	38.08	37.95	79.55	113.80	82.50	24.93	84.85	53.21	40.46
16	2296.83	13.18	12.73	8.14	41.70	22.43	24.97	21.70	23.93	11.27	18.60	12.24	65.29	48.13	39.27	35.91	41.11	14.53	16.00	35.75	45.74	37.28	11.14	34.01	22.04	18.02
17	2824.71	13.55	15.06	9.15	49.08	26.59	26.08	25.76	28.17	11.71	25.00	14.47	84.14	65.33	55.63	45.83	30.84	33.33	23.17	45.00	57.91	46.71	13.70	44.30	28.48	20.12
18	2783.07	12.00	13.98	8.15	41.22	22.58	22.41	21.19	24.83	9.67	17.43	13.78	71.06	56.31	37.95	38.95	28.71	19.96	58.11	38.26	49.10	40.24	11.63	36.49	22.08	16.79
19	4020.17	21.91	21.64	14.16	71.99	37.23	40.13	36.05	40.16	18.16	37.15	21.14	106.95	81.30	73.86	64.69	48.78	30.43	30.11	89.02	81.08	65.55	19.73	67.16	42.76	32.10
20	8547.76	45.02	45.15	30.24	148.73	77.08	82.65	74.57	83.77	37.61	76.91	44.10	221.04	168.42	155.70	134.11	101.92	63.30	62.44	131.82	242.48	143.34	41.36	147.54	93.62	69.82
21	3490.79	18.66	19.05	12.89	61.56	32.14	34.46	31.15	35.65	15.64	31.39	19.39	91.70	68.74	65.74	53.98	40.94	24.95	24.68	52.91	71.03	71.53	17.31	60.43	38.21	28.46
22	2843.76	15.33	15.43	10.44	51.31	26.59	28.51	25.64	28.48	12.87	26.01	14.95	74.95	57.50	53.90	45.65	34.24	20.78	20.26	44.49	57.31	48.45	24.52	48.91	31.31	23.52
23	4143.03	19.30	20.74	13.10	69.52	35.12	38.34	33.97	38.09	17.41	33.32	19.33	89.20	79.42	73.54	60.82	44.67	26.84	28.46	58.86	79.54	65.76	19.01	99.01	44.39	35.26
24	6324.99	31.82	32.61	22.15	104.72	57.44	63.93	54.96	61.27	29.10	54.02	31.81	172.03	133.81	118.47	97.67	73.31	42.21	39.99	95.00	128.13	106.32	30.88	114.86	92.12	52.27
25	4891.27	18.90	24.42	16.26	81.55	41.37	43.11	39.84	46.75	19.38	40.13	24.89	117.63	85.95	85.35	69.79	51.49	34.00	29.43	70.08	93.81	78.73	22.72	94.66	54.20	63.62
26	1016.56	5.31	5.54	3.78	18.02	9.39	9.90	9.01	10.22	4.45	8.99	5.55	26.65	19.90	19.31	15.79	11.93	7.17	6.91	15.52	20.78	17.22	5.04	18.18	11.40	8.39
27	3127.44	14.49	17.01	11.63	54.74	29.16	28.09	28.35	31.89	12.66	26.62	17.63	69.88	63.04	59.25	46.77	34.69	22.03	21.92	47.74	63.81	52.65	15.56	57.87	33.56	28.43
28	2903.06	15.09	15.65	9.43	50.86	26.28	26.06	25.25	29.06	11.76	26.80	15.03	66.09	60.31	54.27	44.92	33.46	19.47	19.12	43.61	58.64	48.16	14.23	53.68	30.56	25.32
29	878.11	3.91	4.75	2.54	14.67	7.75	8.21	7.38	8.14	3.60	6.70	4.51	22.07	16.32	14.46	11.66	9.51	5.97	5.68	11.32	15.28	12.92	3.61	14.73	8.57	6.04
30	1263.97	6.66	6.40	4.03	21.39	10.55	11.29	10.47	11.23	5.07	11.52	6.30	27.90	25.77	21.74	19.38	14.20	8.48	8.89	18.83	25.40	20.85	6.09	23.63	13.38	10.73
31	1803.63	9.59	9.75	5.86	29.65	15.71	16.30	14.89	17.71	7.30	15.55	9.72	37.69	33.76	29.57	25.13	18.70	11.55	12.63	24.37	32.91	27.44	7.75	30.05	17.68	13.61
32	7523.48	38.10	39.55	23.76	123.97	65.65	66.96	63.57	72.45	30.12	61.60	37.83	165.91	152.50	137.67	116.23	85.13	50.59	53.74	112.62	152.41	125.58	36.39	141.13	80.52	64.51
33	1471.73	5.48	8.49	4.75	25.20	13.69	14.37	12.89	15.55	6.28	8.76	7.23	34.96	26.22	24.50	18.91	14.25	9.51	8.87	18.51	25.20	21.98	5.89	29.10	15.11	9.97
34	1473.18	6.61	8.03	4.47	23.97	13.01	13.44	12.40	13.72	5.78	11.76	7.60	34.91	26.22	24.68	20.61	15.35	9.73	9.62	20.21	27.39	22.83	6.52	28.86	15.15	10.72
35	4363.73	21.91	23.31	13.78	70.48	37.50	38.19	35.11	43.22	17.05	37.95	22.66	91.22	79.13	68.61	62.36	46.02	27.37	29.94	60.44	81.88	68.27	19.00	73.58	44.07	32.23
36	2275.99	12.27	12.16	7.37	36.65	19.48	19.42	18.60	22.95	8.72	19.40	12.26	58.06	44.78	39.67	32.53	23.68	15.01	16.17	31.70	42.83	35.70	10.17	40.64	23.97	17.83
37	719.75	3.59	3.66	2.30	10.36	5.92	7.21	5.61	6.70	3.04	5.32	3.59	16.70	14.21	13.49	9.48	7.35	5.48	4.75	9.18	12.51	10.73	2.96	13.47	7.44	6.12
38	5742.55	26.38	32.55	17.50	91.35	52.79	55.24	50.75	56.90	23.53	41.73	31.63	145.62	110.64	103.66	78.59	59.56	42.18	39.30	76.81	103.28	89.16	24.61	105.34	58.78	48.16
39	8146.30	37.24	42.35	25.42	123.57	68.01	70.86	64.60	77.73	31.34	45.99	37.67	188.94	142.87	130.57	103.97	81.67	53.34	62.92	100.27	135.04	115.00	31.99	143.05	79.97	67.12
40	5703.77	33.64	33.29	19.26	99.11	53.77	53.80	50.94	63.62	23.42	37.28	31.74	116.95	105.20	90.54	73.88	62.67	37.87	38.91	68.57	92.37	80.16	21.68	95.20	57.77	47.66
41	1175.27	5.65	6.43	3.90	19.58	10.40	11.27	9.90	13.12	5.03	7.92	6.50	28.74	21.93	19.74	15.88	12.07	8.16	7.79	15.19	20.54	17.73	4.85	20.84	12.00	9.09
42	5422.80	27.48	28.07	16.86	93.09	44.29	53.91	42.95	55.06	24.97	39.47	27.31	142.88	112.34	89.53	80.43	57.40	39.24	44.31	71.19	95.44	79.50	22.77	90.47	52.77	40.69
43	1687.79	8.34	9.42	5.73	27.48	15.27	16.35	14.71	18.79	7.06	11.27	9.52	43.09	33.14	29.56	23.10	17.58	11.19	11.57	22.04	30.08	26.64	7.14			

Матриця відстаней між транспортними районами міста (фрагмент матриці)

Number: 981	No	Name	NumLines	PassBoard(AP)	PassAlght(AP)	PassTransTot	NumStopEven	NumDep(AP)	TransferWaitTime_DSeg(GTFS_	TransferWaitTime(AP)	PassTransDir(AI)	PassTransWalk	PassTransAlght
Sum	481671		3314	57823218217	57823218217	38228618523			1275012756h	1275012756h	14025646912	12101485805	12101485805
1	1	ТРЦ Кінг Кросс (320)	4	176768696	0	151338275			8963739h	8963739h	0	151338275	0
2	2	Іподром (434)	4	192953	5889697	29810			0h	0h	29810	0	0
3	3	Сокільницька (435)	4	272642	13379047	53306			0h	0h	53306	0	0
4	4	Автовокзал (433)	8	99684956	59366029	37031200			2336017h	2336017h	9413925	27613338	3936
5	5	Максимовича (432)	8	12807989	12862836	12156024			440329h 39min 58.25s	440329h 39min 58.25s	12156024	0	0
6	6	Гашека (431)	8	1374512	1108864	956379			2451h 33min 49.79s	2451h 33min 49.79s	794916	161463	0
7	7	Скорини (430)	8	99970976	15366738	38946824			754027h 55min 4.37s	754027h 55min 4.37s	1732410	26096419	11117995
8	8	Стрийська-Наукова (553)	6	50672366	79385919	58784272			1295323h	1295323h	21257842	18529293	18997138
9	9	Підстригача (552)	5	2808804	9525801	2326266			5509h 27min 47.87s	5509h 27min 47.87s	2326266	0	0
10	10	Тролейбусна (539)	7	9862758	11576262	9345258			12210h 3min 26.96s	12210h 3min 26.96s	6438780	2903395	3083
11	11	Княгині Ольги (541)	10	88606190	120572516	76705933			1433031h	1433031h	41160076	25307066	10238792
12	12	Центр зайнятості (545)	10	105452443	162168332	108284227			3015389h	3015389h	86917108	9048466	12318653
13	13	Клуб Науковий (549)	10	3826511	32127266	3241606			2873h 59min 53.03s	2873h 59min 53.03s	3241606	0	0
14	14	Симоненка (546)	10	47523712	54174258	1220425			970h 13min 13.07s	970h 13min 13.07s	1203545	16880	0
15	15	Щирецька (533)	8	10726100	29349334	4444836			11012h 2min 10.92s	11012h 2min 10.92s	2230810	575920	1638105
16	16	Скнилівок (131)	12	107121774	144745859	100287265			2457854h	2457854h	94606545	3906282	1774438
17	17	Південний (130)	0	0	0	0			0h	0h	0	0	0
18	18	Кульчицької (129)	0	0	0	0			0h	0h	0	0	0
19	19	Любінська-Виговського (128)	11	237979568	202706776	103576114			3067419h	3067419h	10268745	70332164	22975206
20	20	Любінська-Виговського (148)	3	76730346	29796719	45532661			1207165h	1207165h	6832230	30390976	8309456
21	21	Караджина (146)	3	929219	8542815	48647			723h 24min 11.50s	723h 24min 11.50s	17897	30750	0
22	22	Будинок меблів (156)	4	77279630	53977054	24039656			697638h 57min 8.25s	697638h 57min 8.25s	15890240	6411860	1737556
23	23	Коружна (554)	3	53721144	25663279	1388610			20726h 28min 15.27s	20726h 28min 15.27s	901330	472868	14411
24	24	Кардіологічний центр (530)	5	20802594	29252718	17846925			414964h 18min 7.69s	414964h 18min 7.69s	17835140	11688	97
25	25	Кульпарківська (529)	5	4479679	11950586	3391891			777h 29min 37.91s	777h 29min 37.91s	3385882	6009	0
26	26	Скриня (494)	15	275976395	279064705	235882718			6498698h	6498698h	232590652	2334756	957311
27	27	Привокзальний ринок (749)	15	98089892	234229837	152011380			349010h 48min 13.14s	349010h 48min 13.14s	37234456	11949137	10282788
28	28	Кропивницького (18)	10	143432267	148576063	84975244			2442344h	2442344h	65637584	7766684	11570975
29	29	Цирк (15)	10	126116709	90690399	90347051			2111616h	2111616h	76397323	13946345	3383
30	30	Церква Анни (16)	12	99557876	211430959	195758556			2120168h	2120168h	10206368	60290463	125261725
31	31	Наливайка (14)	12	134924888	121688243	97562844			871205h 28min 12.74s	871205h 28min 12.74s	24204744	44411167	28946933
32	32	пл. Різні (62)	9	278200426	528198644	500131869			7712294h	7712294h	43367534	152709258	304055077
33	33	Чорновола (7)	21	1577419704	1146051165	1496358785			61671731h	61671731h	742864959	548382502	205111324
34	34	Палац культури Гната Хоткевича (615)	23	1148917402	639475633	1015089724			49252742h	49252742h	136225033	869311061	9553631
35	35	Хімчна (616)	23	115161323	177791510	18433059			71580h 42min 10.55s	71580h 42min 10.55s	17812691	554326	66042
36	36	Шевченківська РА (597)	0	0	0	0			0h	0h	0	0	0
37	37	Замарстинівська (598)	6	5955285	29553068	2249916			6808h 2min 58.71s	6808h 2min 58.71s	1780	122523	2125613
38	38	Бетховена (599)	6	17438608	45141006	16615040			16910h 42min 52.64s	16910h 42min 52.64s	16615040	0	0
39	39	БТІ (600)	6	3588778	32268568	2158077			5824h 13min 58.85s	5824h 13min 58.85s	2127065	31011	0
40	40	Автаостанція №2 (605)	7	47356786	180313203	60576153			827991h 5min 35.11s	827991h 5min 35.11s	2657675	20411851	37506628
41	41	Автаостанція №2 (591)	9	192531412	187198656	176406217			5487129h	5487129h	86120057	55099814	35186346
42	42	Радіринок (590)	9	2909768	18956804	319858			8376h 26min 55.46s	8376h 26min 55.46s	149589	170269	0
43	43	Височана (588)	9	85686789	7565619	7460096			130972h 6min 9.22s	130972h 6min 9.22s	5176295	2218597	3518634
44	44	Фабрика повидла (586)	8	2286892	15474462	340534			563h 50min 55.04s	563h 50min 55.04s	355	338274	1905
45	45	Промислова (275)	8	91234158	162597026	94078442			108093h 30min 32.56s	1108093h 30min 32.56s	55779426	18830272	19468744
46	46	Кордуби (265)	2	0	27214019	9600778			0h	0h	0	0	9600778
47	47	Кордуби (266)	2	21125302	0	11995809			640136h 32min 12.69s	640136h 32min 12.69s	0	11995809	0
48	48	Промислова (582)	8	265214559	142147691	184097452			14237552h	14237552h	56603033	108963718	18530701
49	49	Фабрика повидла (583)	9	301685859	380282875	258337161			16988469h	16988469h	225896658	779365	31661138
50	50	Височана (585)	9	54575331	73752590	51332921			1205616h	1205616h	44904071	6428850	0
51	51	Радіринок (587)	9	161517351	205733430	87968954			714924h 20min 58.00s	714924h 20min 58.00s	5795294	16157527	66016133

Акт про використання результатів дисертаційної роботи у навчальному процесі кафедри «Транспортні технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор



про використання у навчальному процесі кафедри транспортних технологій матеріалів і результатів дисертаційної роботи Гіць Іванни Іванівни «Вплив попиту на транспортні послуги з перевезення пасажирів на функціонування транспортної системи міст»

Результати дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії Гіць Іванни Іванівни впровадженні в навчальний процес з підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)», спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», які навчаються за освітньою програмою «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» у таких навчальних дисциплінах:

1. «Організація пасажирських автомобільних перевезень» – використані матеріали, які містять пропонувані способи підвищення попиту на пасажирські перевезення та визначення пересадок в міській маршрутній мережі (Тема 1 – «Аналіз попиту на послуги перевезень», Тема 7 – «Розробка мережі обслуговування швидкісними автобусними перевезеннями»);

2. «Міський пасажирський транспорт» – використані матеріали щодо способів визначення сприйняття користувачами якості транспортних послуг, впливу демографічних та соціально-економічних характеристик користувачів на показники функціонування міської пасажирської мережі (Тема 5 – «Соціальна характеристика транспортної системи міста. Транспортна рухомість населення», Тема 6 – «Характеристики транспортного обслуговування в межах міста»).

Матеріали дисертаційної роботи Гіць Іванни Іванівни використовуються у курсовому та дипломному проектуванні, а також під час 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

**Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи у
ТзОВ «Успіх -БМ»**

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Директор
ТзОВ «Успіх-БМ»

Юрій МЕЛЬНИК
20 24 р.


АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Гіць Іванни Іванівни
«Вплив попиту на транспортні послуги з перевезення пасажирів на
функціонування транспортної системи міст»

Цим актом підтверджується, що в роботі ТзОВ «Успіх-БМ» при формуванні розкладів руху міських та приміських пасажирських маршрутів використовуються такі результати дисертаційної роботи Гіць І.І.:

- результати моделювання попиту на перевезення в міській мережі громадського транспорту міста Львова;
- визначення кількості пересадок та трансферних зупинок для їх здійснення.

Використання цих результатів дозволяє визначити часові інтервали руху та типи транспортних засобів для ефективного функціонування маршрутів громадського транспорту.

Голова комісії:
Директор ТзОВ «Успіх-БМ»



Юрій МЕЛЬНИК

Члени комісії:

Заступник директора
з безпеки руху


Андрій ЄДИНАК

Інженер з безпеки
руху


Василь МАРЦИНЮК

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав, що включені до міжнародних науково-метричних баз

1. Pivtorak H., Zhuk M., Gits I., Galkin A. Shifting the population mobility of the Ukraine western region on the strength of the Covid-19 pandemic // Archives of Transport. 2022. Vol. 62, No. 2. P.7–23.

2. Pivtorak H., Zhuk M., Kovalyshyn V., Gits I. Simulation of the Transfers Probability in the City Route Network (the Case of Lviv, Ukraine). Periodica Polytechnica Transportation Engineering. Volume 51. 2023.

Стаття у виданнях України, що включені до міжнародних науково-метричних баз

3. Zhuk M., Pivtorak H., Kovalyshyn V., Gits I. Development of a multinomial logit-model to choose a transportation mode for intercity travel // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2020. № 3/3 (105). P. 69–77.

Статті у фахових виданнях України

4. Жук М. М., Півторак Г. В., Гіць І. І., Козак М. М. Прогнозування вибору виду транспорту у разі міських переміщень на основі класифікаційних дерев рішень // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2020. Т. 31 (70), № 4. С. 221–226.

5. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I., Kozak M. Application of bayesian networks to estimate the probability of a transfer at a public transport stop // Transport Technologies. 2022. Vol.3, № 2. С. 22–32.

6. Жук М. М., Півторак Г. В., Гіць І. І. Застосування нейромережевого моделювання для прогнозування тривалості перебування транспортного засобу на

зупинці громадського транспорту // Розвиток транспорту. 2022. № 1 (12). С. 156–167.

7. Півторак Г. В., Гіць І. І., Жила М. П. Оцінка розподілу пасажиропотоків в транспортно-пересадочному вузлі // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2022. Т. 33 (72), № 2. С. 215–220.

8. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I. Assessment of the service quality in public transport (analysis of research in Lviv, Ukraine) // Transport Technologies. – 2023. – Vol. 4, № 2. – С. 12–22.

9. Півторак Г. В., Гіць І. І., Півторак С. І. Оцінка параметрів доставки останньої милі з використанням нечіткого аналітичного підходу // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2024. – Т. 35 (74), № 3. – С. 202–207.

Статті у інших виданнях

10. Gits I., Zhuk M., Pivtorak H. Analysis of demand for public transport service in Lviv city // Transport Technologies. 2020. Vol. 1, № 2. С. 57–64.

11. Zhuk M., Pivtorak H., Gits I. Assessment of sustainability of the Lviv city transport system according to the indicator of accessibility // Transport Technologies. 2021. Vol. 2, № 2. С. 11–19.

Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Гіць І. І. Оцінка впливу тривалості переміщення на вибір виду транспорту // Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем : матеріали Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції, 28–29 листопада 2019 р., Рівне. – 2019. – С. 41–43.

2. Гіць І.І. Про послуги інтелектуальних транспортних систем для користувачів // Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання :

тези доповідей III Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 28–30 березня 2019 року, Львів. – 2021. – С. 41–42.

3. Півторак Г. В., Гіць І. І. Оцінка якості систем громадського транспорту найкрупніших міст на основі показника насиченості // Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути : матеріали IX Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Київ, 16 жовтня 2020 р.). – 2020. – С. 660–666.

4. Жук М. М., Гіць І. І. Зміна вибору способу переміщення під впливом обмежень, пов'язаних з Covid-19 // Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання : тези доповідей IV Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 25–26 березня 2021 року, Львів. – 2021. – С. 90–91.

5. Гіць І. І., Погорельчук В. В, Красилівський Є. В. Прогнозування пасажиропотоків з використанням методу Хольта-Вінтерса // Матеріали до IV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні світові тенденції розвитку науки та інформаційних технологій», Одеса, 2021. – С. 124-127. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://novaosvita.com/>.

6. Гіць І. І. Характеристика системи громадського транспорту / І. І. Гіць, В. В. Євпак, Є. В. Красилівський. // Науковий простір: актуальні питання, досягнення та інновації: матеріали IV Міжнародної наукової конференції, м. Івано-Франківськ. – 2022. – С. 133–134.

7. Гіць І. І. Особливості вантажних перевезень в умовах військового стану / І. І. Гіць, А. В. Кучер, А. Р. Ярецький. // Науковий простір: актуальні питання, досягнення та інновації: матеріали IV Міжнародної наукової конференції, м. Івано-Франківськ. – 2022. – С. 131–132.

8. Гіць І. І., Кадюк Д. Р. Функціонування громадського транспорту під час воєнного стану // Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання : тези доповідей V Всеукраїнської науково-теоретичної конференції, 23–24 березня 2023 року, Львів. – 2023. – С. 109–110.

9. Півторак Г. В., Гіць І. І., Мохняк Р. Р. Оцінка впливу інформаційного забезпечення на ймовірність виконання пересадки на зупинці // Транспортні

технології та безпека дорожнього руху: збірник тез доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції, 13–14 квітня 2023 р., Запоріжжя. – 2023. – С. 73–75.

10. Жук М. М., Гіць І. І. Аналіз методів оцінки попиту на перевезення громадським транспортом у містах // Вплив інновацій на розвиток судової експертизи: від традиційних методів до цифрової трансформації : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 26 квітня 2024 року, Львів. – 2024. – С. 58–61.