

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ І ЛОГІСТИКИ

**ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ:
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ПЛАНУВАННЯ,
ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ**

Коллективна монографія

Харків

2025

УДК 656.072+073.7+504.5:629.33
Т 65

Затверджено до видання Вченою Радою ХНАДУ, Дозвіл № 76/25/5.16 від 16.05.2025

Рецензенти:

Давідич Ю.О. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова.

Степанов О.В. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри тракторів і автомобілів, Національний університет біоресурсів і природокористування України.

Мороз М.М. – доктор технічних наук, завідувач кафедри транспортних технологій, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського.

Редакційна колегія колективної монографії:

Горбачов П.Ф. – головний редактор, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Любий Є.В. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Свічинський С.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Кочина А.А. – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Т 65 Транспортні системи: актуальні проблеми планування, функціонування та аналізу : колективна монографія / Є.В. Любий, О.В. Свічинська, Т.Т. Токмиленко, В.М. Чижик, П.Ф. Горбачов, С.В. Свічинський, А.А. Кочина; за загальною редакцією проф. П.Ф. Горбачова. Харків : СГ НТМ «Новий курс», 2025. 262 стор.
ISBN 978-617-7886-79-1. DOI: 10.61718/tsl2025m1

Колективна монографія присвячена комплексному аналізу стану розвитку транспортних систем українських міст, підходів до проектування транспортних мереж, впливу транспорту на екологію та методів оцінки пасажиропотоків. Особливу увагу приділено закономірностям формування та просторового розподілу транспортного попиту, що є ключовим для інфраструктурного планування й управління міським транспортом. Монографія призначена для широкого кола наукових працівників, викладачів і здобувачів ЗВО, керівників некомерційних установ і бізнесових структур, представників органів влади та усім зацікавленим розвитком сучасних транспортних систем.

Представлені у монографії матеріали подані в авторській редакції і відображають власну наукову позицію авторів. Автори несуть повну відповідальність за точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, наукової термінології, імен власних, джерел посилання.

Т 65
УДК 656.072+073.7+504.5:629.33

ISBN 978-617-7886-79-1
DOI: 10.61718/tsl2025m1

© Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2025
© СГ НТМ «Новий курс», 2025
© Автори, текст, 2025

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ 1. Основні аспекти функціонування транспортних систем і планування їх розвитку.....	5
Любий Є.В.	
1.1 Проблеми планування, проектування і функціонування транспортних систем українських міст	5
Свічинська О.В.	
1.2 Визначення основних концепцій проектного аналізу на автомобільному транспорті.....	48
Токмиленко Т.Т.	
1.3 Оцінка впливу функціонування транспортної системи на екологічну ситуацію в великих і середніх містах	83
Чижик В.М.	
1.4 Теоретичні основи та практичний досвід в питанні розрахунку кількості безоплатних та платних пасажирів на маршрутах міського пасажирського транспорту.....	117
Розділ 2. Закономірності формування і розподілу транспортного попиту у міських агломераціях і зонах їх впливу.....	147
Горбачов П.Ф., Свічинський С.В.	
2.1 Передумови визначення закономірностей розподілу відстаней транспортних пересувань населення у містах.....	147
Кочина А.А.	
2.2 Особливості формування транспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування поблизу міст.....	222

ВСТУП

Сучасні умови розвитку міст України вимагають кардинального переосмислення підходів до організації та функціонування транспортних систем. Зростання чисельності населення, розширення міських агломерацій, активізація економічної діяльності та зростаючий рівень автомобілізації створюють нові виклики для транспортної інфраструктури, яка повинна забезпечити не лише ефективність перевезень, а й екологічну безпеку, економічну виправданість і соціальну доступність.

Особливої актуальності набуває системний підхід до аналізу функціонування транспортних систем, планування їх розвитку, оцінювання екологічного навантаження від транспорту на довкілля та визначення закономірностей формування транспортного попиту в міських агломераціях. Такі завдання потребують врахування як теоретичних основ транспортного планування, так і практичних аспектів реалізації планувальних рішень у сучасних умовах.

Коллективна монографія присвячена комплексному дослідженню проблем розвитку транспортних систем українських міст. У першому розділі розглянуто ключові аспекти функціонування транспортних систем: питання проектування та організації міських транспортних мереж; вплив транспорту на екологічний стан середовища; методичні підходи до визначення обсягів і складу пасажиропотоків. У другому розділі представлено аналіз закономірностей формування та просторового розподілу транспортного попиту, що є важливим фактором у прийнятті рішень щодо планування інфраструктури та управління транспортними потоками в містах і прилеглих до них зонах.

Матеріали монографії ґрунтуються на результатах теоретичних досліджень і прикладного аналізу сучасного стану транспортних систем. Запропоновані підходи можуть бути використані фахівцями в галузі міського планування, транспорту, екології та економіки для розробки ефективних рішень, спрямованих на покращення мобільності населення та підвищення якості життя в українських містах.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ АСПЕКТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ І ПЛАНУВАННЯ ЇХ РОЗВИТКУ

1.1 Проблеми планування, проєктування і функціонування транспортних систем українських міст

Є.В. Любий

завідувач кафедри транспортних систем і логістики ХНАДУ,
канд. техн. наук, доцент

1. Актуальність питання. Актуальність дослідження проблематики планування, проєктування та функціонування транспортних і маршрутних систем в українських містах ґрунтується на достатньо великій кількості аспектів, серед яких основними є:

- наслідки військової агресії РФ проти України;
- зростання урбанізації та транспортних потреб у містах;
- проблеми перевантаження транспортних мереж;
- проблеми розвитку систем громадського транспорту;
- екологічні наслідки функціонування транспорту;
- розвиток техніки та технологій в галузі управління транспортом;
- проблеми соціальної інклюзивності та доступності;
- тощо.

Слід розуміти, що одним із найбільш вагомих і актуальних аспектів, що робить вивчення проблематики планування, проєктування та експлуатації транспортних і маршрутних систем в містах України надзвичайно важливим на сьогоднішній день, є наслідки військової агресії РФ проти України. Війна, яка триває з 2014 року, а з 2022-го року набула особливої інтенсивності, спричинила масштабні руйнування інфраструктури, включаючи транспортні мережі.

У наслідок бойових дій значна частина дорожньої інфраструктури, мостів, залізничних шляхів, автостанцій, аеропортів та інших елементів транспортної мережі була знищена або серйозно пошкоджена. У зонах бойових дій дороги, мости та залізничні колії стали непридатними для використання, що значно ускладнює переміщення людей, вантажів, гуманітарних товарів, а також відновлення економічної активності в регіонах.

Відбудова транспортної інфраструктури є одним з першочергових завдань для забезпечення мобільності населення та відновлення економічних зв'язків між містами та регіонами України. Важливо врахувати не тільки відновлення зруйнованих об'єктів, але й модернізацію та реконструкцію існуючих мереж, щоб підвищити їх стійкість до майбутніх загроз і зміцнити безпеку транспорту.

В результаті бойових дій великі міста України, а також невеликі населені пункти втратили частину або навіть повністю свої транспортні засоби, що використовувались для задоволення потреб населення в пересуваннях. У багатьох випадках, особливо в постраждалих від бойових дій містах, громадський транспорт, включаючи автобуси, тролейбуси та трамваї, зазнав серйозних пошкоджень. Окрім відновлення самих транспортних засобів, необхідно також вирішити питання відновлення інфраструктури зупинок, ремонтних баз, автостанцій та інших об'єктів.

Особливо складною є ситуація на тимчасово окупованих територіях, де транспортна система, як правило, була повністю знищена або виведена з експлуатації. Важливим є відновлення маршрутів, забезпечення зручності та безпеки перевезень, а також впровадження сучасних технологій для управління транспортними потоками.

Зважаючи на складну економічну ситуацію, після завершення бойових дій перед Україною постане завдання інтеграції відновленої транспортної мережі не лише на рівні внутрішніх міських з'єднань, а й у контексті міжнародної транспортної системи. Це включає відновлення залізничних і автомобільних коридорів, а також відновлення функціонування аеропортів і морських портів для забезпечення економічних зв'язків з іншими країнами.

Процес відновлення транспортних систем після війни також відкриває можливості для впровадження новітніх технологій, які підвищать стійкість і ефективність транспортної інфраструктури. Це може включати використання більш стійких матеріалів для будови доріг і мостів, автоматизацію управління дорожнім рухом, інтеграцію інтелектуальних транспортних систем для моніторингу та управління потоками транспорту в умовах обмежених ресурсів.

Особливо важливим є використання «зелених» технологій, зокрема для відновлення транспортних систем в містах, зокрема у вигляді електричного транспорту, розв'язування питання зменшення

викидів шкідливих газів і покращення екологічної ситуації в постраждалих регіонах.

Війна в Україні призвела до значних соціальних потрясінь: переміщення величезної кількості біженців, втрата місць роботи, пошкодження житлових і громадських будівель. У зв'язку з цим важливою частиною відбудови є забезпечення доступу до транспортних послуг для соціально вразливих груп населення: осіб з обмеженими можливостями, пенсіонерів, багатодітних сімей, а також переселенців, які потребують допомоги у пересуванні між містами та районами.

Планування та проектування відновлення транспортних систем в умовах постійної загрози можуть бути ускладнені проблемами безпеки, обмеженим фінансуванням та нестачею необхідних ресурсів. Крім того, необхідно враховувати можливість подальших військових загроз, тому об'єкти транспортної інфраструктури повинні бути спроектовані таким чином, щоб забезпечити їхню стійкість та здатність функціонувати навіть в умовах кризи.

Необхідність відбудови транспортних систем в Україні після військової агресії РФ є однією з найбільш критичних задач, яка визначатиме стабільність і розвиток країни після закінчення війни. Вивчення тематики планування, проектування та функціонування транспортних мереж в умовах відбудови сприятиме швидкому відновленню економічної активності, покращенню мобільності населення та забезпеченню стійкості транспортної інфраструктури в майбутньому.

В свою чергу, Україна, як і більшість інших країн світу, стикається з достатньо інтенсивним процесом урбанізації. Щороку в містах зростає кількість населення, що збільшує навантаження на вже існуючу транспортну інфраструктуру. Міста, зокрема мегаполіси, такі як Київ, Харків, Одеса, потребують ефективних і сталих транспортних систем для забезпечення комфортного пересування громадян.

Зростання урбанізації веде до збільшення транспортних потоків, що, в свою чергу, ставить завдання забезпечення безпеки, ефективності та доступності транспорту для всіх верств населення, включаючи людей з обмеженими можливостями. Це також передбачає вирішення питань екології та якості повітря, оскільки великі обсяги автомобільного транспорту є основними забруднювачами навколишнього середовища.

Також однією з найбільших проблем у транспортних системах великих українських міст є перевантаження доріг, яке стається через значну кількість приватних автомобілів. В результаті цього відбуваються затори, що в свою чергу знижує ефективність використання транспортної мережі, збільшує час в дорозі та призводить до збільшення рівня забруднення. Перевантаження також має негативні наслідки для економіки – зниження продуктивності праці, збільшення витрат на паливе та обслуговування автомобілів. Тому важливим є пошук нових рішень для зменшення транспортних заторів, удосконалення організації руху та інтеграція нових технологій.

Розширення та удосконалення транспортних систем міст України напряду пов'язані з розвитком громадського транспорту, зокрема маршрутних систем автобусів, тролейбусів, трамваїв та метрополітену (у великих містах). Однак для забезпечення високої якості обслуговування пасажирів важливо вирішувати питання модернізації транспортних засобів, удосконалення існуючих маршрутних схем, розробку нових маршрутів, обчислення оптимальної кількості транспортних одиниць, їх інтеграцію в загальну систему міського транспорту, тощо. Тут однією з основних цілей є створення ефективних і комфортних маршрутних систем, які б задовольняли потреби різних верств населення – від людей, які використовують громадський транспорт для регулярних поїздок, до, наприклад, туристів, що потребують швидкої та зручної пересадки.

Зростання використання автомобільного транспорту, особливо в містах, призводить до серйозних екологічних проблем, зокрема до забруднення повітря внаслідок викидів шкідливих газів і часток. Погіршення якості повітря негативно впливає на здоров'я мешканців міст, сприяє розвитку респіраторних захворювань і навіть може викликати серйозні епідеміологічні проблеми. Слід розуміти, що вивчення функціонування та розвитку транспортних систем українських міст включає не тільки розробку та впровадження нових систем транспорту (електричні автобуси, каршерінг, велосипедні маршрути), а й стратегії зниження екологічного впливу, оптимізацію дорожніх потоків, використання екологічно чистих технологій та матеріалів.

Інтеграція новітніх технологій у проектування та управління транспортними системами відкриває нові можливості для покращення якості транспортних послуг. Це стосується не лише електричних і автономних транспортних засобів, а й технологій збору та

аналізу даних для оптимізації маршрутів, скорочення витрат пального та зменшення часу на поїздки. Застосування інтелектуальних транспортних систем, які включають автоматизовану систему управління рухом, відеоспостереження, моніторинг стану доріг і транспортних засобів, допомагає не тільки поліпшити якість обслуговування учасників руху, але й значно підвищити безпеку на дорогах. Важливою частиною є також розвиток інфраструктури для нових систем транспорту, наприклад, таких як електричні скутери, велосипеди та автопарки на основі каршерінгу.

Зрозуміло, що кожен із зазначених етапів – планування, проектування та функціонування транспортних систем міст повинні бути економічно ефективними. Це означає, що витрати на будівництво та утримання транспортної інфраструктури мають бути виправданими для місцевих бюджетів і забезпечувати максимальну вигоду для користувачів. У контексті обмежених фінансових ресурсів важливими є не лише інвестиції в інфраструктуру, а й оптимізація використання вже існуючих транспортних засобів і доріг.

Не менш важливим є забезпечення доступності транспортних систем для всіх соціальних груп міського населення. Особливо важливо враховувати потреби людей з обмеженими можливостями, людей похилого віку та інших вразливих груп населення. Транспортні системи мають бути адаптовані до їхніх потреб, що включає доступність транспорту (низькопідлогові автобуси, спеціальні ліфти на зупинках, тощо) та гнучкість маршрутів для забезпечення мобільності кожного мешканця.

Інтеграція українських транспортних систем в глобальні тенденції розвитку транспорту, а також вивчення міжнародного досвіду планування, проектування та функціонування транспортних мереж, стає важливим аспектом для досягнення ефективних результатів. Україна вже зараз переймає досвід провідних країн у створенні ефективних систем громадського транспорту, екологічних транспортних рішень, застосування сучасних технологій для оптимізації транспортування, а також в питаннях безпеки на транспорті.

З огляду на зазначені аспекти, актуальність вивчення проблематики розвитку транспортних і маршрутних систем в містах України не викликає сумнівів. Це є надзвичайно важливим для підвищення якості життя громадян, забезпечення сталого розвитку міст, а також забезпечення ефективного та безпечного функціонування об'єктів транспортної інфраструктури. Врахування глобальних ви-

кликів, розвитку нових технологій та вимог до екологічної безпеки свідчить про важливість і необхідність вивчення питань планування, проектування та функціонування транспортних і маршрутних систем, зокрема, в рамках стратегічного планування розвитку українських міст у майбутньому.

2. Планування. В Україні питання планування стійких транспортних і маршрутних систем регулюються низкою нормативно-правових актів і стратегічних документів, серед яких основними є:

- *Закон України «Про транспорт»*. Цей закон регулює загальні правові, економічні та організаційні засади діяльності транспорту в Україні, включаючи принципи сталого розвитку транспортних систем;

- *Закон України «Про автомобільний транспорт»*. Документ, який визначає правові та організаційні основи діяльності автомобільного транспорту, включаючи питання екологічної безпеки та енергоефективності;

- *Закон України «Про міський електричний транспорт»*. Цей закон регулює діяльність міського електричного транспорту, сприяючи розвитку екологічно чистих видів перевезень у містах;

- *Постанова Кабінету Міністрів України від 1 вересня 2021 р. № 926 «Про затвердження Порядку розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації»*. Положення цього порядку сприяють інтеграції принципів стійкої мобільності в процесі планування розвитку міських транспортних і маршрутних систем. Зокрема, через розвиток транспортної інфраструктури (передбачення ефективних транспортних мереж, які забезпечують зручне та безпечне пересування мешканців), забезпечення екологічної безпеки (врахування заходів щодо зниження негативного впливу транспорту на довкілля), підвищення енергоефективності (сприяння використанню енергоефективних рішень у транспортних системах), тощо;

- *Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року*. Цей документ визначає напрямки розвитку транспортної системи України, включаючи інтеграцію до світової транспортної мережі, підвищення безпеки та зниження негативного впливу транспорту на довкілля.

Ці документи створюють правову основу для планування, формування та розвитку стійких транспортних і маршрутних систем в Україні, сприяючи підвищенню ефективності, безпеки та екологіч-

ності транспортної інфраструктури в містах, але не містять ґрунтовних настанов і вказівок щодо ефективних дій для планування, проектування та розвитку міських транспортних систем.

Останні європейські та вітчизняні тенденції розвитку міських транспортних і маршрутних систем свідчать про отримання більшої кількості переваг руху пішоходів, велосипедистів і громадському транспорту. Цей факт підтверджуються достатньо великою кількістю настанов, рекомендацій, інструкцій та інших документів у галузях транспорту, містобудування і транспортного планування, серед яких можна відзначити наступні:

- *Стратегія сталої та розумної мобільності Європейського Союзу (Sustainable and Smart Mobility Strategy)*. Цей документ, прийнятий у 2020 році, має на меті трансформацію транспортної системи Європейського Союзу для досягнення скорочення викидів на 90 % до 2050 року. Стратегія передбачає ініціативи, спрямовані на створення розумної, конкурентоспроможної, безпечної, інклюзивної та доступної транспортної системи [1];

- *Біла книга «Дорожня карта до єдиного європейського транспортного простору – до конкурентоспроможної та ресурсоефективної транспортної системи» (White Paper «Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system»)*. Ця стратегія прийнята в 2011 році та визначає напрямки розвитку транспортної системи Європейського Союзу, включаючи інтеграцію різних видів транспорту, підвищення енергоефективності та зниження впливу на довкілля [2];

- *Керівництво з розробки Планів сталої міської мобільності (SUMP Guidelines)*. Це детальний посібник, розроблений Європейською комісією, який надає рекомендації щодо процесу створення та впровадження планів сталої міської мобільності. Він охоплює аспекти планування, залучення громадськості, моніторингу та оцінки ефективності заходів [3].

Останній документ є широко розповсюдженим і вживаним не лише на європейських теренах, а й в Україні, оскільки використовується органами місцевого самоврядування, в основному, для планування змін і розробки заходів щодо удосконалення міського простору та роботи громадського транспорту.

Слід розуміти, що план сталої міської мобільності – це стратегічний документ, який визначатиме транспортну політику міста на найближчі роки. План сталої міської мобільності дає відповідь на

питання: як оптимізувати місто для того, аби переміщення мешканців були ефективними з точки зору часу, комфорту, вартості, сприяли збереженню здоров'я та спричиняли якнайменший негативний вплив на довкілля. План сталої міської мобільності сприяє збалансованому розвитку всіх видів транспорту та пересувань, одночасно стимулюючи перехід до більш сталих видів транспорту. Також він передбачає інтегрований комплекс технічних, інфраструктурних, політичних і «м'яких» заходів для підвищення ефективності та економічної доцільності діяльності міської ради в галузі транспорту та містобудування, які повинні відповідати заявленій меті та конкретним цілям. План сталої міської мобільності стосується таких напрямків: громадський транспорт, велосипедний і пішохідний рух, безпека дорожнього руху, автомобільний транспорт (рух і паркування), міська логістика, управління мобільністю, інтелектуальні транспортні системи [4]. Загальна концепція сталої міської мобільності передбачає, що на першому місці серед пріоритетів має бути пішохід, потім – велосипедист, і вже після цього йде громадський транспорт, а в самому кінці – приватних транспорт.

Перші плани сталої міської мобільності почали розробляти у містах Європейського Союзу з кінця 80-х років минулого століття. Зараз законодавство більшості країн Європейського Союзу вимагає від влади міст розробку планів сталої міської мобільності. Принципи сталої міської мобільності вже застосовані у понад 10000 європейських міст [5]. Залучені міста стають частиною живої спільноти знань і мережі знань з обміном і багатьма інструментами планування. При цьому можлива інтеграція в інші плани.

Географія щодо розробки та впровадження планів сталої міської мобільності в містах країн Європейського Союзу наведена в табл. 1 та рис. 1.

Звісно є приклади розробки планів сталої міської мобільності й для українських міст, але слід зазначити, що, у переважній більшості випадків, вони розроблені за ініціативи місцевих органів влади, громади і за коштів сторонніх закордонних установ та організацій. Для розробки планів сталої міської мобільності в українських містах залучаються фахівці відомих європейських консалтингових компаній з транспортного планування, зокрема їх українські представництва. Практика розробки планів сталої міської мобільності виключно українськими компаніями та організаціями є зовсім незначною.

Таблиця 1

Міста країн Європейського Союзу, для яких розроблено та впроваджено плани сталої міської мобільності або деякі його складові

Країна	Міста, регіони	Кількість міст станом на грудень 2024 року
Австрія	Bregenz, Innsbruck, Salzburg, Linz, Klagenfurt, Graz, St. Pölten, Wien, Eisenstadt	9
Бельгія	Arlon, Charleroi, Namur, Liège, Ottignies-Louvain-la-Neuve, Leuven, Brussel, Hasselt, Gent, Antwerpen, Brugge	11
Болгарія	Vidin, Ruse, Varna, Burgas, Stara Zagora, Plovdiv, Sofia	7
Хорватія	Split, Rijeka, Osijek, Zagreb, Varaždin	5
Кіпр	Lemesos, Larnaka, Lefkosia	3
Чехія	Ostrava, Brno, Olomouc, České Budějovice, Plzeň, Praha, Pardubice, Hradec Králové, Liberec, Ústí nad Labem	10
Данія	København, Odense, Århus, Ålborg	4
Естонія	Tartu, Tallinn	2
Фінляндія	Helsinki, Turku-Naantali, Lahti, Tampere, Jyväskylä, Kuopio, Oulu	7
Франція	Ajaccio, Perpignan, Toulon, Marseille, Aix-en-Provence, Nice, Montpellier, Nimes, Toulouse, Bordeaux, Limoges, Clermont-Ferrand, Grenoble, Annecy, Lyon, Saint-Etienne, Besançon, Mulhouse, Dijon, Orléans, Poitiers, Tours, Le Mans, Angers, Nantes, Rennes, Brest, Caen, Le Havre, Rouen, Amiens, Paris, Reims, Lille, Strasbourg, Nancy, Metz та інші	43
Греція	Chania, Heraklion, Rodos, Mytilini, Alexandroupolis, Thessaloniki, Kozani, Larisa, Ioannina, Kerkyra, Volos, Lamia, Chalkida, Athina, Patras, Kalamata, Syros	17
Латвія	Rīga	1

Країна	Міста, регіони	Кількість міст станом на грудень 2024 року
Німеччина	Rostock, Kiel, Lübeck, Hamburg, Bremerhaven, Oldenburg, Bremen, Berlin, Potsdam, Magdeburg, Hannover, Wolfsburg, Braunschweig, Hildesheim, Münster, Osnabrück, Hamm, Paderborn, Bielefeld, Gütersloh, Göttingen, Kassel, Halle (Saale), Leipzig, Dresden, Chemnitz, Jena, Erfurt, Siegen, Gießen, Frankfurt am Main, Offenbach am Main, Mainz, Bochum та інші	78
Угорщина	Pécs, Szeged, Debrecen, Nyíregyháza, Miskolc, Kecskemét, Székesfehérvár, Budapest, Győr	9
Ірландія	Corcaigh, Luimneach, Gaillimh, Baile Átha Cliath	4
Італія	Palermo, Siracusa, Catania, Reggio di Calabria, Messina, Lecce, Taranto, Potenza, Salerno, Napoli, Bari, Andria, Foggia, Campobasso, Pescara, Latina, Roma, Terni, Perugia, Ancona, Rimini, Firenze, Prato, Livorno, Ravenna, Forlì, Bologna, Ferrara, Modena, Reggio Emilia, Parma, Piacenza, Milano, Monza, Torino та інші	50
Литва	Klaipėda, Šiauliai, Panevėžys, Kaunas, Vilnius	5
Люксембург	Luxembourg	1
Мальта	Valletta	1
Нідерланди	Maastricht, Venlo, Eindhoven, Middelburg, Tilburg, Breda, Den Bosch, Dordrecht, Rotterdam, Zoetermeer, Den Haag, Leiden, Amsterdam, Haarlem, Almere, Alkmaar, Utrecht, Apeldoorn, Nijmegen, Eindhoven, Venlo та інші	26
Словаччина	Košice, Žilina, Nitra, Bratislava	4
Словенія	Ljubljana, Maribor	2

Країна	Міста, регіони	Кількість міст станом на грудень 2024 року
Польща	Koszalin, Gdańsk-Gdynia-Sopot (Tricity), Elbląg, Olsztyn, Białystok, Warszawa, Bydgoszcz, Toruń, Płock, Włocławek, Poznań, Gorzów Wielkopolski, Zielona Góra, Łódź, Wrocław, Kraków, Katowice, Rzeszów та інші	30
Португалія	Ponta Delgada (Açores), Madeira, Faro-Loulé, Évora, Lisboa, Leiria, Coimbra, Viseu, Porto, Guimarães, Vila Nova de Famalicão, Braga, Barcelos	13
Румунія	Constanța, Craiova, București, Ploiești, Pitești, Râmnicu Vâlcea, Buzău, Brașov, Brăila, Galați, Sibiu, Târgu Mureș, Cluj-Napoca, Bacău, Piatra Neamt, Iași, Botoșani, Suceava, Oradea, Baia Mare, Satu Mare, Timișoara, Arad	23
Іспанія	Santa Cruz de Tenerife, Las Palmas de Gran Canaria Metropolitan Area, Melilla, Marbella, Málaga, Algeciras, Cádiz, Jerez, Sevilla, Granada, Almería, Murcia, Elche, Alicante, Albacete, Valencia, Barcelona, Gerona, Zaragoza, Bilbao, San Sebastián-Donostia, Santander, Gijón, Oviedo, La Coruña, Valladolid, Madrid та інші	49
Швеція	Umeå, Sundsvall, Uppsala, Stockholm, Västerås, Eskilstuna, Södertälje, Örebro, Norrköping, Linköping, Jönköping, Borås, Göteborg, Halmstad, Helsingborg, Lund, Malmö, Gävle	18

Примітка. Табл. 1 та рис. 1 розроблено за даними EU Urban Mobility Observatory: https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/sustainable-urban-mobility-plans/eu-city-database-sumps_en

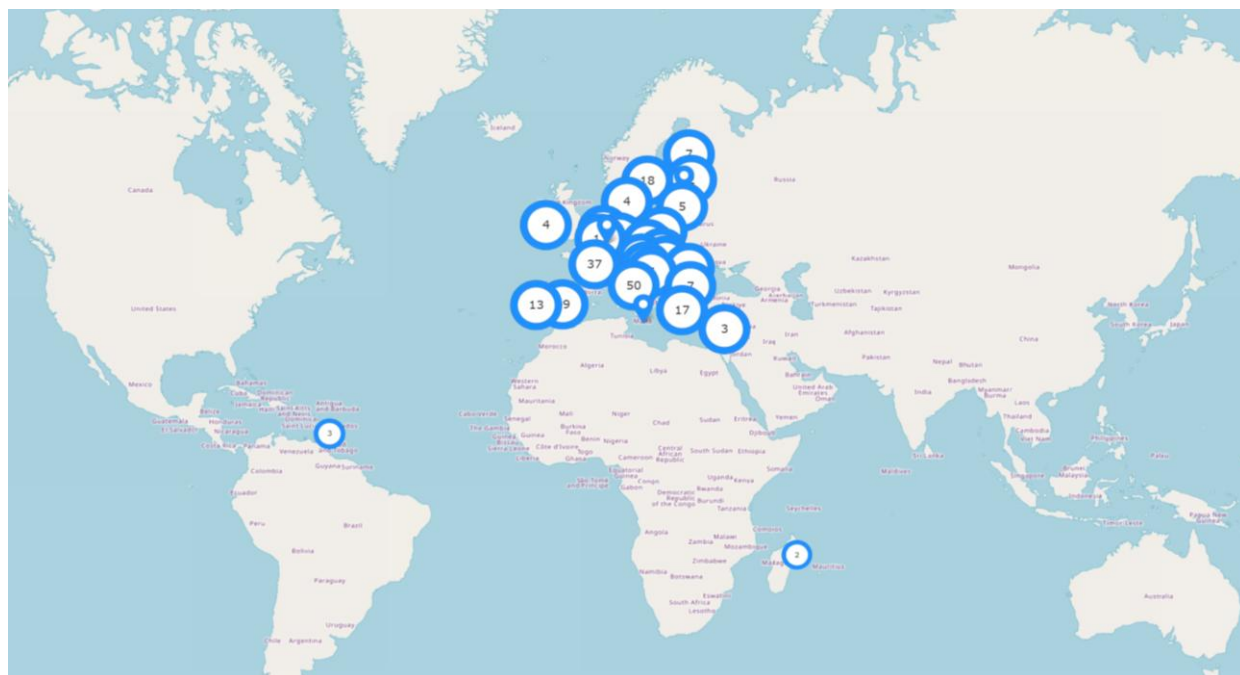


Рис. 1. Географія міст країн Європейського Союзу, де розроблено плани сталої міської мобільності та впроваджено відповідні заходи

Нажаль, на даний час в Україні ще спостерігається дуже слабке інституційне та державне бачення щодо питань і проблем планування міської мобільності. Відсутні програми та законодавчі акти, які б зобов'язували до обов'язкового планування сталої міської мобільності. Наприклад, у Франції розробка плану сталої міської мобільності є обов'язковим для міст із населенням більше 100 тис. осіб, строком на 10 років і підлягає перегляду та уточненню кожні 5 років [6]. До представлених вище проблем також можна додати наявність деяких суперечливих вимог українських галузевих стандартів у розрізі невідповідності цілей плану сталої міської мобільності та методики щодо його розробки нормативним вимогам до Комплексної схеми транспорту та Комплексної схеми організації дорожнього руху. До цього слід також додати брак стабільного та чіткого фінансування для заохочення та підтримки міст у розробці та реалізації їхніх планів сталої міської мобільності, а також брак технічної бази для їх розробки та впровадження із подальшою інтеграцією на державному рівні.

Але не дивлячись на представлені перепони, практика розробки планів сталої міської мобільності в Україні поступово розширюється і вже розроблено для таких міст як: Івано-Франківськ, Миколаїв, Полтава, Житомир, Львів, Херсон, Тернопіль, Ужгород і Харків, табл. 2.

Таблиця 2

**Розширена інформація про розробку планів сталої міської мобільності
для міст України**

Місто	Фінансування	Виконавець	Рік завершення	Горизонт планування, років
Івано-Франківськ	GIZ	PTV & Dreberis	2015	10
Миколаїв	бюджет міста	A+C	2018	20
Полтава	GIZ	Dornier	2018	15
Житомир	GIZ	Dornier	2019	15
Львів	GIZ	Львівавтодор	2020	10
Херсон	ЄБРР	Egis	2021	10
Тернопіль	бюджет міста	Dornier	2022	15
Ужгород	Європейський Союз	Урбан Консалтинг	2023	15
Харків	GIZ	Dornier	2024	25

Примітка. Табл. 2 розроблено за даними Egis: <https://surl.li/oolne> та інформації про плани сталої міської мобільності для Ужгорода, Тернополя та Харкова

Основною вихідною базою для розробки заходів з удосконалення роботи міських транспортних і маршрутних систем в рамках розробки планів сталої міської мобільності в Україні є інформація про мобільність мешканців, в більшості випадків, такими даними є:

- результати соціальних досліджень про щоденні пересування пасажирів різними видами транспорту;
- інформація про потужність і напрямки міських пасажиропотоків;
- дані про інтенсивність і склад транспортних потоків на міських вулицях і дорогах;
- інша аналітична інформація, яку можна отримати з автоматизованих (інтелектуальних) систем управління транспортом у місті;
- результати попередніх досліджень мобільності населення;
- існуючі плани та концепції розвитку міських територій (наприклад, Генеральний план міста, Концепція інтегрованого розвит-

ку, Комплексна схема транспорту, Комплексна схема організації дорожнього руху тощо);

- інша архітектурно-планувальна документація;
- проекти ініціатив щодо покращення міського середовища та інші.

Слід розуміти, що отримання об'єктивної та надійної інформації про пересування міського населення в Україні, для розробки планів сталої міської мобільності, є однією із основних проблем, оскільки на даний час майже повністю відсутня можливість автоматизованого збору даних про мобільність в українських містах. До цього слід також додати й те, що в рамках розробки планів сталої міської мобільності обов'язковим є застосування прогнозних транспортних моделей, використання яких дозволяє провести оцінку існуючого стану рівня транспортного обслуговування як міста в цілому, так й окремих його адміністративних частин, а також визначити рівень ефективності запропонованих заходів і напрямків з удосконалення роботи транспортної системи міста. В цьому контексті основними проблемами є: відсутність кваліфікованих фахівців в органах місцевого врядування, які б могли працювати з розробленими транспортними моделями та використовувати їх для планування та оцінювання змін в транспортній системі міста в майбутньому, а також достатньо високу вартість спеціалізованого програмного забезпечення для транспортного моделювання. Тому дуже часто розроблені транспортні моделі в рамках проектів з розробки планів сталої міської мобільності українських міст, які по собі є дієвим інструментом для обґрунтування планувальних і транспортних рішень, відкладаються в «довгий ящик» і зовсім не оновлюються.

3. Проектування. На даний час, в українській практиці транспортного моделювання та планування, на жаль, не йдеться про обов'язкове використання програмних засобів транспортного моделювання при розробці проектів присвячених дослідженню мобільності, але можна знайти згадування про доцільність їх використання. Наприклад, в ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці та дороги населених пунктів» зазначається: «...для оцінки ступеню впливу того чи іншого об'єкту транспортної системи на вулично-дорожню мережу міст, вибору планувальних рішень, отримання проектної інтенсивності руху, експлуатаційних показників об'єктів, що входять до транспортної системи міст, доцільно використовувати транспортне

моделювання (у тому числі за значеннями затримок транспорту, довжиною черг, часом перебування на вулично-дорожній мережі тощо)» та у ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій» йде мова лише про те, що «...для оцінки ступеню впливу того чи іншого об'єкта транспортної системи на вулично-дорожню мережу населених пунктів, ефективність прийнятих планувальних рішень, визначення проектної інтенсивності руху, експлуатаційних показників об'єктів, що входять до транспортної системи населеного пункту, доцільно використовувати транспортне моделювання транспортного вузла».

Хоча, слід відзначити, що вже зроблені перші кроки у просуванні питання доцільності та актуальності використання транспортного моделювання в Україні, особливо при оцінці ефективності проектних рішень щодо дорожньої інфраструктури. Так, за участі фахівців Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України (<https://restoration.gov.ua/>), Державного підприємства «Національний інститут розвитку інфраструктури» (<https://nidi.org.ua/ua>) та ТОВ «Про мобільність» (<https://promobility.org/>), розроблено першу редакцію методичних рекомендацій з моделювання транспортних потоків під час оцінювання ефективності проектних рішень щодо дорожньої інфраструктури МР-Б.2.2-37641918-928:2022 (<http://surl.li/frnck>). Названі вище методичні рекомендації містять в собі опис методик моделювання транспортних потоків на різних рівнях деталізації (мікрорівень та макрорівень), а також алгоритми збору та склад необхідної інформації для проведення моделювання з використанням програмних комплексів RTV Planung Transport Verkehr GmbH, але мови про обов'язкове використання засобів транспортного моделювання не йдеться.

Якщо спуститися на щабель нижче – на місцевий рівень, то тут основними документами, що пов'язані з питаннями як планування, так і проектування транспортних систем в містах України є:

- Генеральний план населеного пункту (містить загальне бачення розвитку транспорту);
- Комплексна схема транспорту (розробляється на основі генплану та визначає детальні параметри транспортної мережі);
- Комплексна схема організації дорожнього руху (містить детальну інформацію про засоби управління та функціонування дорожнього руху різних видів транспорту, а також інформацію щодо розвитку вулиць і доріг міста);

- інші локальні документи, спрямовані на покращення мобільності в місті (стратегії, концепції, плани, програми з розвитку транспортної системи міста).

Як вже зазначалося раніше, використання програмних комплексів транспортного моделювання сприяє отриманню якісної та кількісної оцінки заходів, спрямованих на удосконалення міських транспортних і маршрутних систем.

Укрупнено, програмне забезпечення для транспортного моделювання можна поділити на дві основні групи: макрорівневі (аналіз загальних транспортних потоків) та мікрорівневі (імітація руху окремих транспортних засобів).

Основне призначення макрорівневих (стратегічних) моделей є аналіз потоків транспорту та пасажирів у містах, регіонах, країнах. Серед основних програмних продуктів цього рівня можна виділити: PTV VISUM (комплексне планування транспортних систем, інтеграція громадського та індивідуального транспорту); EMME (стратегічне планування великих транспортних мереж) та TransCAD (просторовий аналіз і моделювання для транспортного планування).

PTV VISUM – потужне програмне забезпечення для макрорівневого транспортного моделювання, ключовими можливостями якого є (рис. 2, 3) [7]: моделювання різних видів транспорту; аналіз транспортного попиту і розподіл потоків за шарами попиту; оцінка впливу інфраструктурних змін на транспортну систему.

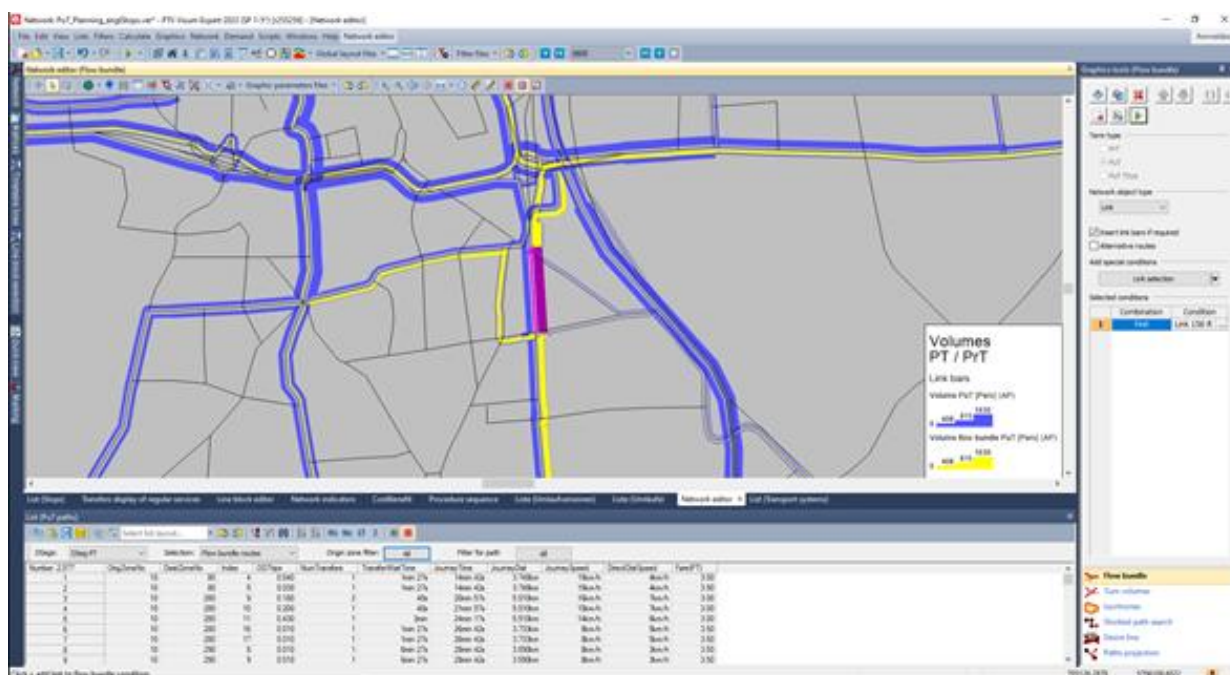


Рис. 2. Інтерфейс робочого вікна PTV VISUM [8]

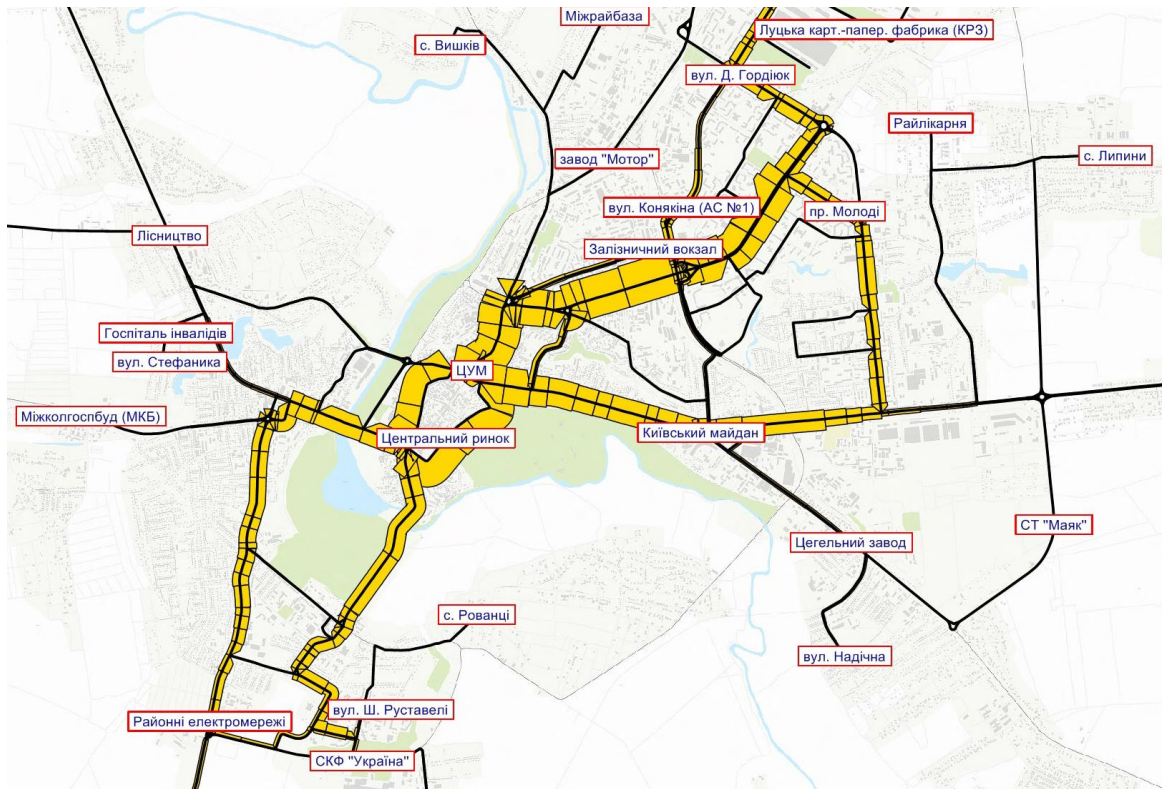


Рис. 3. Приклад моделювання пасажирських потоків у місті Луцьку з використанням PTV VISUM [9]

EMME – це програмний інструмент, призначений для аналізу великих транспортних мереж і планування громадського транспорту, основні можливості якого полягають в наступному (рис. 4) [10]: моделювання транспортного попиту та розподілу маршрутів; оцінка ефективності різних сценаріїв розвитку транспортної системи; підтримка багатьох форматів даних для імпорту та експорту; тощо.

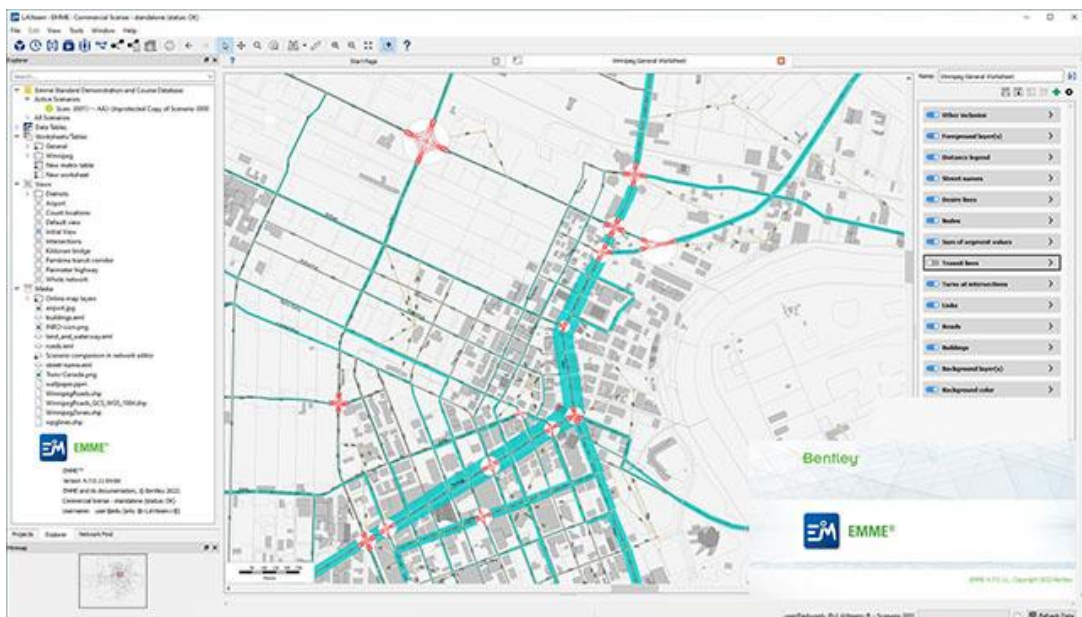


Рис. 4. Інтерфейс робочого вікна EMME [11]

TransCAD – це, в першу чергу, геоінформаційна система, спеціально розроблена для транспортного планування та моделювання, ключовими можливостями якої є (рис. 5) [12]:

- інтеграція ГІС-функцій з транспортним моделюванням;
- аналіз просторових даних і візуалізація результатів;
- підтримка різних типів транспортних моделей, включаючи гравітаційні та ентропійні тощо.

В свою чергу, мікрорівневі моделі (деталізоване моделювання руху) призначені для імітації руху окремих транспортних засобів або систем транспорту, аналізу локальних або групи перехресть, оптимізації світлофорних режимів на магістралях і в мережах, тощо. Найбільш широко розповсюдженими програмними комплексами цього рівня можна вважати: PTV VISSIM (детальне моделювання транспортних і пішохідних потоків, громадського транспорту); AIMSUN (швидке і точне мікроскопічне та мезоскопічне моделювання); SUMO (дослідження руху безпілотного транспорту, екологічних показників, має відкритий код).

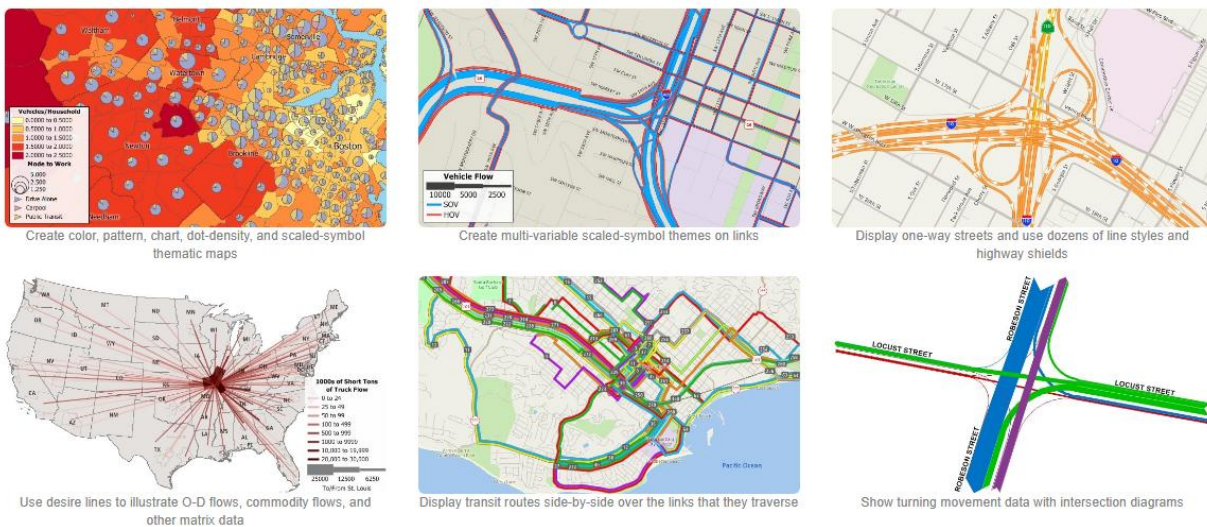


Рис. 5. Приклад візуалізації об'єктів моделювання в TransCAD [13]

PTV VISSIM – програмне забезпечення для детального моделювання транспортних потоків і поведінки водіїв, ключовими можливостями якого є (рис. 6) [14]:

- імітація руху окремих транспортних засобів і пішоходів;
- аналіз ефективності світлофорних циклів та інших елементів управління рухом;
- моделювання взаємодії між різними видами транспорту.

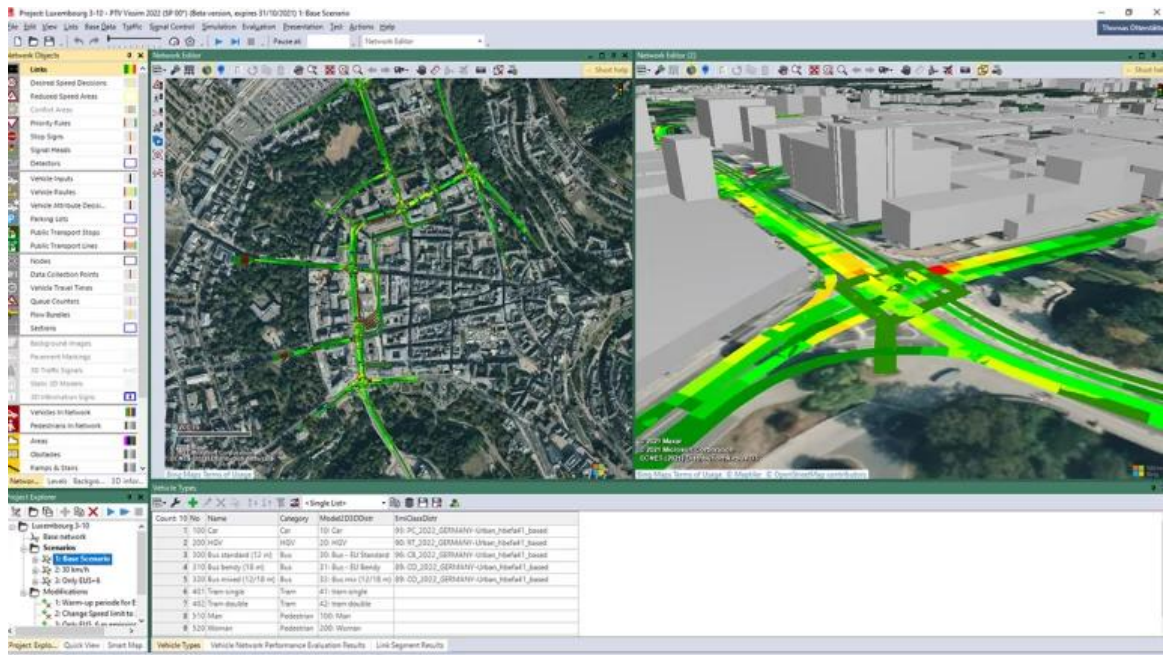


Рис. 6. Інтерфейс робочого вікна PTV VISSIM [15]

AIMSUN – це інтегроване програмне забезпечення, яке поєднує мікро- та макрорівневе моделювання для комплексного аналізу транспортних систем, ключові можливості якого полягають в наступному (рис. 7) [15]: моделювання від окремих перехресть до цілих регіонів; аналіз впливу нових транспортних політик та інфраструктурних проєктів на транспортну систему; інтеграція з реальними даними для калібрування моделей.

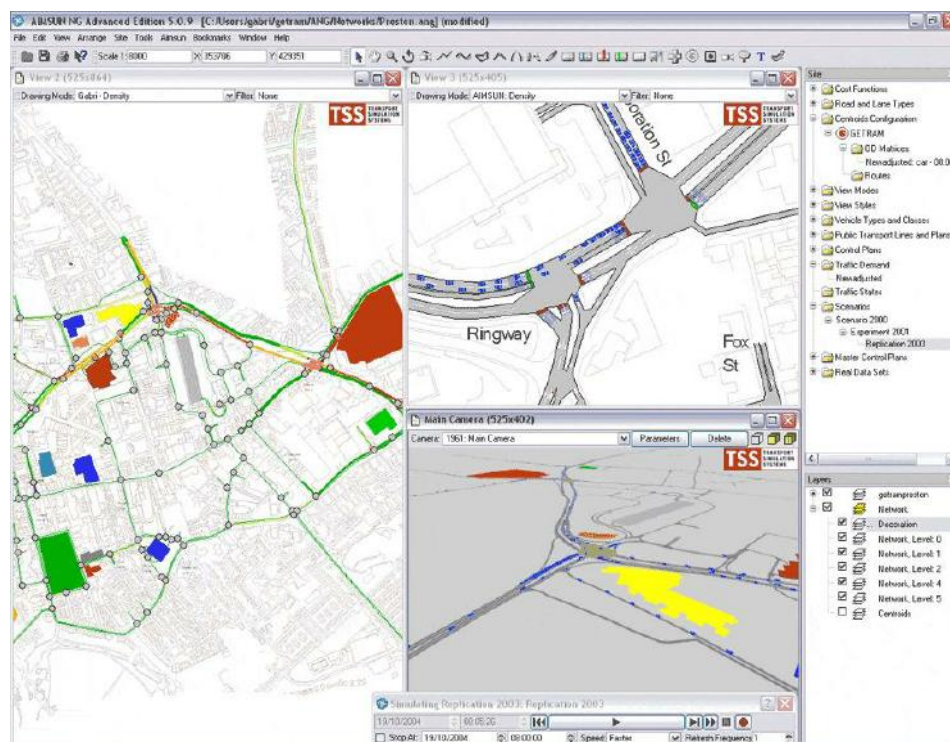


Рис. 7. Інтерфейс робочого вікна AIMSUN [15]

SUMO (Simulation of Urban MObility) – це безкоштовне програмне забезпечення з відкритим кодом для мікроскопічного моделювання транспортних систем. Основними перевагами SUMO можна вважати (рис. 8) [15]:

- імітацію руху окремих транспортних засобів у великих мережах;
- моделювання екологічних показників і споживання палива;
- гнучкість у налаштуванні та можливість розширення функціоналу через скрипти.

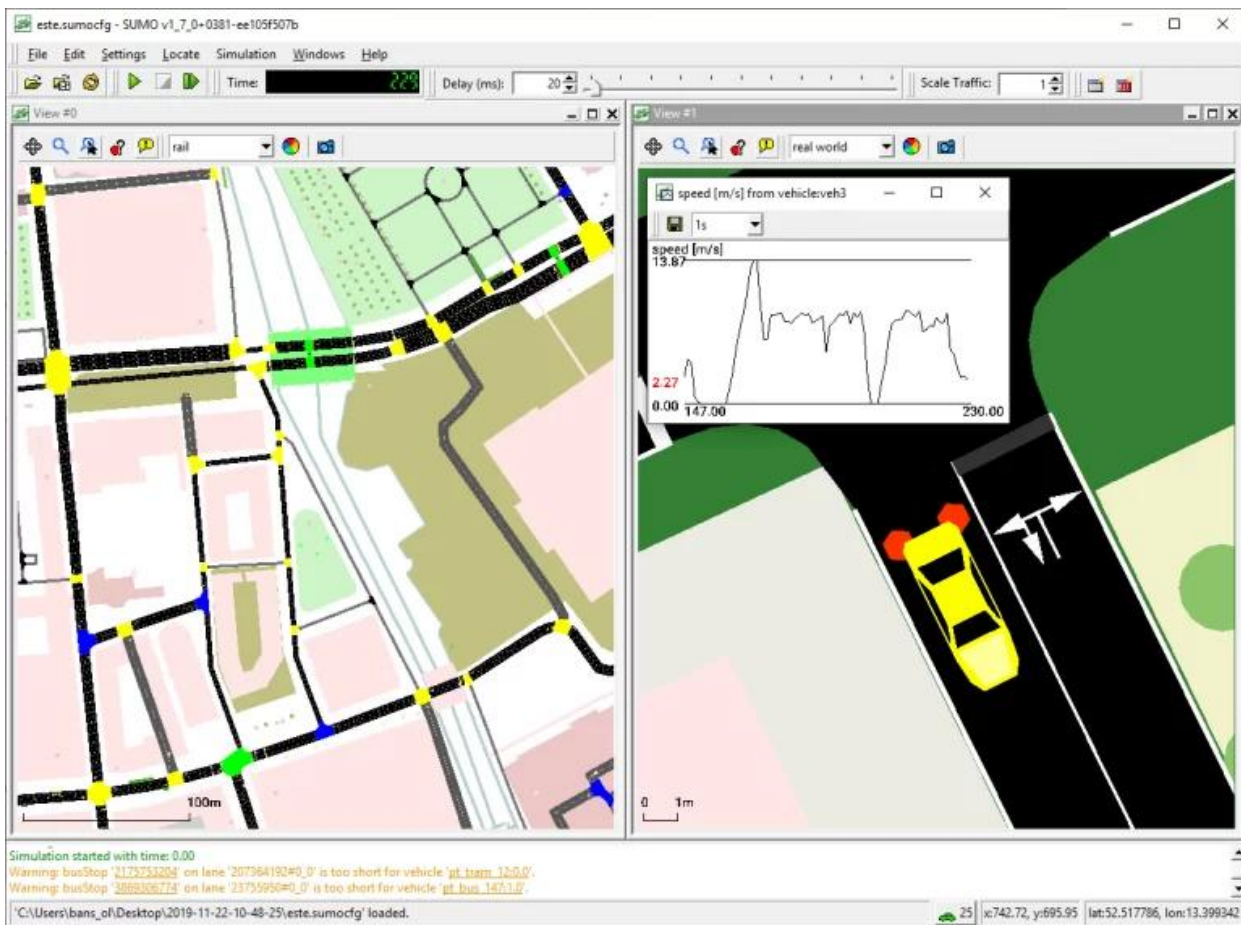


Рис. 8. Інтерфейс робочого вікна SUMO [15]

Перелічені програмні продукти надають широкий спектр інструментів для аналізу та прогнозування транспортних систем на різних рівнях деталізації, що дозволяє обирати найбільш підходящий інструмент залежно від конкретних завдань, масштабів проекту та доступності даних.

На прикладі українських міст у рамках виконання проєктів з удосконалення транспортних і маршрутних систем, а також при розробці та оцінці перспективних напрямків щодо покращення мобі-

льності населення територіальних громад, найбільшого розповсюдження отримали програмні продукти групи компаній PTV, а саме, PTV VISUM і PTV VISSIM.

4. Функціонування. Дослідження проблем функціонування міських транспортних систем є критично важливим для забезпечення ефективної життєдіяльності міст, зменшення заторів, покращення екологічної ситуації та підвищення мобільності населення. Основні проблеми, які виникають у сфері міського транспорту, включають нерівномірний розподіл потоків, перевантаженість дорожньої мережі, недостатню інтеграцію різних видів транспорту та низьку якість транспортного обслуговування.

Одним із ключових аспектів вирішення цих проблем є оптимізація маршрутних систем, які забезпечують зв'язок між різними частинами міста, враховуючи транспортний попит, пропускну спроможність вулично-дорожньої мережі та доступність транспортних засобів. Ефективне планування маршрутних систем дозволяє підвищити швидкість перевезень і пересування, зменшити експлуатаційні витрати та покращити комфорт пасажирів.

Таким чином, детальне дослідження міських транспортних систем створює основу для розробки ефективних маршрутних систем, які сприяють гармонійному функціонуванню всього міського транспорту, оптимальному використанню ресурсів та підвищенню якості транспортних послуг. Основні проблеми, які впливають на комфорт, безпеку та ефективність перевезень в сучасних пасажирських маршрутних системах українських міст, представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Проблеми функціонування міських пасажирських маршрутних систем в Україні

Проблема	Характеристика
Незбалансованість маршрутної мережі	Дублювання маршрутів громадського та приватного транспорту. Відсутність достатнього сполучення між окремими районами без пересадок. Концентрація маршрутів у центральних районах при слабкому покритті периферій.
Низька якість транспортних послуг	Відсутність чітких графіків руху, що призводить до нерівномірного інтервалу між транспортними засобами. Переповненість транспорту у години пік. Недостатня кількість рухомого складу.

Проблема	Характеристика
Застарілий рухомий склад	Велика частка маршрутних таксі та автобусів у незадовільному технічному стані. Відсутність комфортних умов для пасажирів (кондиціонування, опалення, зручні сидіння). Високий рівень викидів від застарілих транспортних засобів, що погіршує екологічну ситуацію.
Недостатній розвиток електротранспорту	Обмежена кількість трамвайних, тролейбусних маршрутів через нестачу фінансування. Проблеми з оновленням контактної мережі та інфраструктури. Відсутність сучасних екологічних альтернатив, таких як електробуси.
Тарифна політика	Низька рентабельність громадського транспорту через економічно необґрунтовані тарифи. Відсутність єдиної системи оплати проїзду та електронного квитка в багатьох містах. Непрозорість механізму дотацій та компенсацій для перевізників.
Безпека та контроль	Відсутність жорсткого контролю за технічним станом транспорту. Низький рівень дотримання правил дорожнього руху перевізниками. Відсутність достатньої кількості зупинок, що змушує пасажирів висаджуватися в небезпечних місцях.
Недостатня інтеграція різних видів транспорту	Відсутність єдиної системи пересадок між маршрутами, автобусами, електротранспортом і залізницею. Погано розвинена інфраструктура пересадочних вузлів. Відсутність уніфікованого транспортного планування на рівні міста.

Для вирішення перелічених вище проблем необхідне комплексне реформування пасажирських маршрутних систем, яке включатиме оптимізацію маршрутної мережі, оновлення рухомого складу, розвиток електротранспорту, впровадження єдиної системи оплати та підвищення контролю за безпекою перевезень. Все це дозволить підвищити якість послуг громадського транспорту та зробити його зручнішою альтернативою індивідуальному транспорту.

Одним із провідних наукових центрів, який, від початку свого заснування в 2011 році та на поточний час, займається розробкою і впровадженням сучасних підходів щодо дослідження міських пасажирських транспортних систем, є кафедра транспортних систем і логістики Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ). У рамках своєї діяльності фахівцями кафе-

дри проаналізовано існуючий рівень транспортного обслуговування та розроблено заходи щодо удосконалення роботи міських пасажирських транспортних систем у низці міст України: Суми, Луцьк, Херсон, Хмельницький, Біла Церква, Краматорськ, Конотоп, Прилуки, Охтирка, Сєвєродонецьк, Нікополь, Олександрія, Павлоград, Рівне, Маріуполь та інші.

Найчастіше, основними задачами, що стосуються раціоналізації роботи міського громадського транспорту можна вважати:

- 1) аналіз системи громадського транспорту міста;
- 2) відображення існуючих пасажиропотоків на вулично-дорожній мережі міста з використанням засобів транспортного моделювання;
- 3) розробка стратегії формування раціонального варіанту пасажирської маршрутної мережі;
- 4) надання пропозицій щодо зміни трас маршрутів руху громадського транспорту в місті;
- 5) надання пропозицій щодо розміщення зупинок і пересадочних пунктів;
- 6) надання пропозицій щодо реконструкції чи облаштування ділянок вулично-дорожньої мережі міста, де необхідно реалізувати пріоритетний рух громадського транспорту;
- 7) інші, за запитом замовника виконання проєкту.

Для виконання першої задачі використовується перелік критеріїв, які характеризують доступність маршрутної системи, її розвиненість, експлуатаційні характеристики маршрутів та рівень транспортного обслуговування населення міста громадським транспортом (табл. 4).

Таблиця 4

Система критеріїв, що використовуються для аналізу системи громадського транспорту міста

Група показників	Перелік показників
Доступність маршрутної мережі	<ul style="list-style-type: none"> - можливість реалізації права на пільговий проїзд відповідними категоріями населення; - відстані між суміжними зупиночними пунктами; - щільність маршрутної мережі; - середня дальність підходу пасажирів до зупиночних пунктів.

Група показників	Перелік показників
Експлуатаційні характеристики маршрутів	<ul style="list-style-type: none"> - ступінь дублювання маршрутів; - завантаженість зупиночних пунктів; - коефіцієнт непрямолінійності маршрутної мережі; - коефіцієнт динамічного використання місткості транспортного засобу; - добовий пробіг транспортних засобів на маршрутах; - коефіцієнт змінюваності пасажирів; - обсяг перевезення пасажирів; - тощо.
Розвиненість маршрутної мережі	<ul style="list-style-type: none"> - маршрутний коефіцієнт.
Якість транспортного обслуговування	<ul style="list-style-type: none"> - середній час пересування пасажирів у маршрутній системі міста; - середній час поїздки пасажирів у транспортному засобі при здійсненні пересування містом; - середня відстань поїздки та пересування пасажирів; - середній час очікування пасажиром громадського транспорту; - середній час на пересадку; - коефіцієнт пересадочності; - питома вага зупинок, що обслуговуються соціально значущими тролейбусними маршрутами; - тощо.

Слід розуміти, що для проведення розрахунків перелічених в табл. 4 показників необхідна точна та об'єктивна інформація про транспортний попит на пересування пасажирів, основним джерелом отримання якої, на даний час для українських міст, є проведення натурних спостережень за роботою громадського транспорту – найчастіше табличне та/або візуальне обстеження пасажиропотоків. Отриманню комплексної оцінки аналізу роботи системи громадського транспорту сприяє застосування засобів транспортного моделювання, використання яких дозволяє сформулювати загальну транспортну модель системи громадського транспорту міста.

При виконанні проєктів і робіт, присвячених аналізу та оптимізації міських пасажирських транспортних систем, фахівці кафедри транспортних систем і логістики ХНАДУ використовують спеціалізований програмний продукт PTV VISUM. Транспортна модель,

сформована з використанням PTV VISUM, складається з двох основних компонент: моделі транспортної пропозиції та моделі транспортного попиту.

Перша компонента транспортної моделі представляє собою цифрову модель дорожньої інфраструктури міста: вводяться системи громадського транспорту, що працюють в місті; моделюються вузли (перехрестя) та ділянки (дороги) вулично-дорожньої мережі міста; моделюються зупинки всіх систем громадського транспорту; вводиться інформація про маршрути громадського транспорту; моделюються транспортні райони; тощо.

Приклади сформованих моделей транспортної пропозиції для деяких українських міст наведено на рис. 9.

Найчастіше, формування моделі транспортної пропозиції починається завчасно або вже відбувається паралельно зі збором інформації про потреби міського населення у пересуваннях громадським транспортом (дослідження мобільності населення). Основною вхідною інформацією для розробки моделі транспортної пропозиції є дані отримані від замовника: перелік працюючих маршрутів громадського транспорту; паспорти маршрутів; тощо, а також інформація з відкритих джерел – різноманітні транспортні портали, наприклад, <https://www.eway.in.ua>, <https://city.dozor.tech/> та інші), об'єктивність якої підтверджується замовником проекту.

Друга компонента загальної транспортної моделі сформованої з використанням PTV VISUM – модель потреб населення в пересуваннях громадським транспортом (модель транспортного попиту). Модель потреб населення міста у пересуваннях громадським транспортом є ключовою основою для більшості завдань з транспортно-го планування. Вона вносить найбільшу невизначеність у транспортні розрахунки, оскільки є одним із найскладніших аспектів моделювання. Результатом її аналізу є матриця пасажирських кореспонденцій, яка в рамках переважної більшості досліджень відноситься до робочих днів тижня ранкового пікового періоду [16-22].

Зрозуміло, що забезпечити надійний прогноз потреб населення в пересуваннях можна лише на основі фактичних даних, отримання яких можливе шляхом проведення обстеження пасажиропотоків на маршрутній мережі міста.

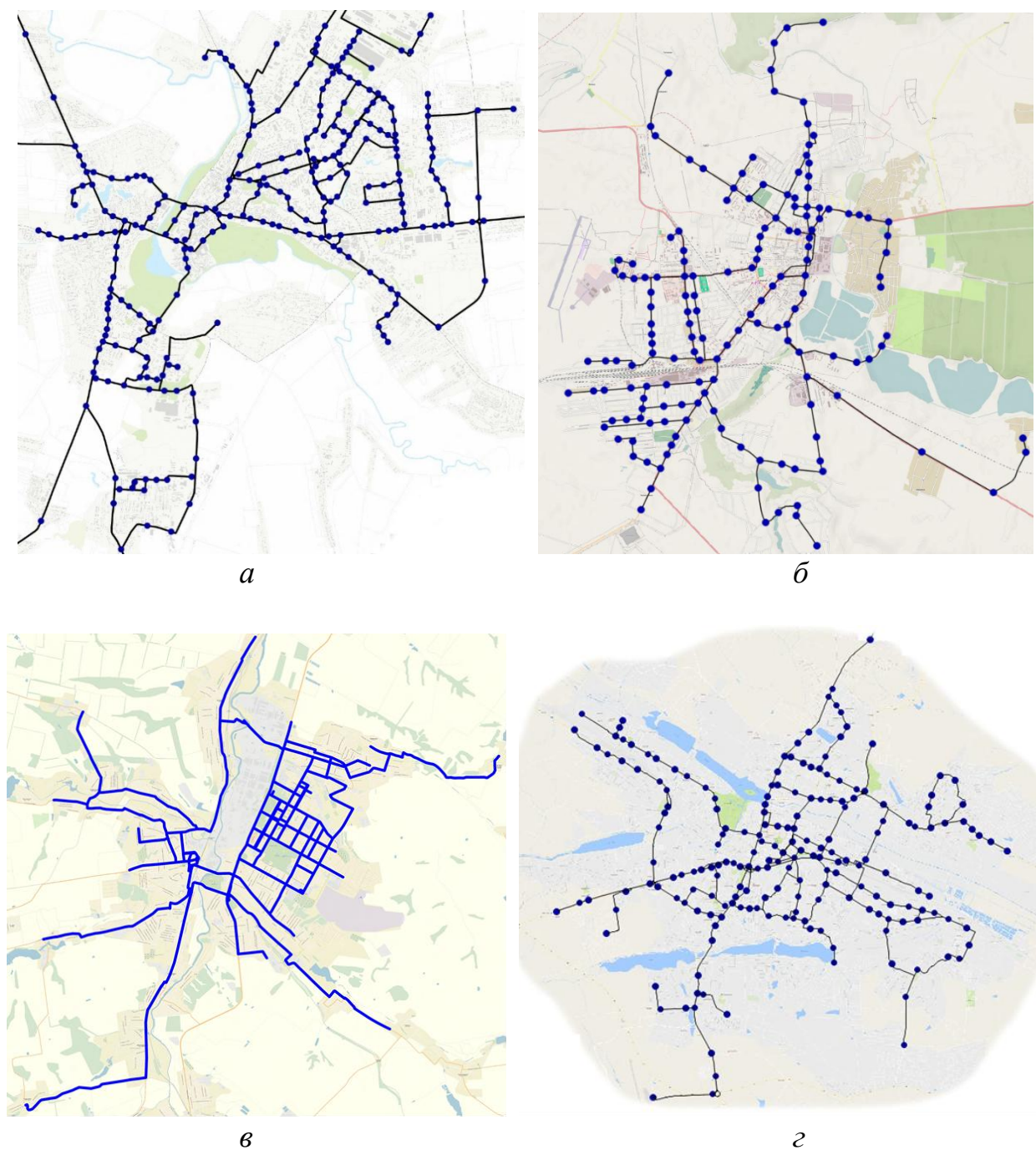


Рис. 9. Приклад транспортних моделей вулично-дорожньої мережі міст, задіяної під користування громадським транспортом, сформованих з використанням PTV VISUM:
а – Луцьк, *б* – Конотоп, *в* – Краматорськ, *г* – Хмельницький
 (джерело: дослідження колективу кафедри транспортних систем і логістики ХНАДУ)

За роки проведення досліджень з аналізу та оптимізації міських пасажирських транспортних систем фахівцями кафедри транспортних систем і логістики ХНАДУ відточено методику розрахунку ма-

триць пасажирських кореспонденцій, основні положення якої полягають в наступному:

1) розрахунок місткостей зупиночних пунктів з відправлення та прибуття пасажирів – визначаються на основі даних про обстеження пасажиропотоків на маршрутній мережі міста;

2) визначення місткостей транспортних районів з відправлення та прибуття пасажирів – отримуються за рахунок підсумування місткостей зупинок, які віднесені до відповідного транспортного району;

3) розрахунок кореспонденцій між парами транспортних районів з використанням гравітаційної, ентропійної або іншим моделей формування матриць пасажирських кореспонденцій.

Після розрахунку матриці пасажирських кореспонденцій вона інтегрується до загальної транспортної моделі, після чого з'являється можливість проведення аналізу розподілу пасажиропотоків на мережі маршрутів міста (рис. 3), у разі виявлення неточностей, модель транспортного попиту піддається калібруванню. Для цього можуть бути використані результати візуального обстеження пасажиропотоків на ключових ділянках вулично-дорожньої мережі або інші індикатори роботи системи громадського транспорту, наприклад, обсяги перевезення пасажирів по кожному маршруту. Процедура калібрування відбувається, безпосередньо, в середовище PTV VISUM через програмний модуль TFlowFuzzy [23]. Приклад вибору місць для порівняння розрахованих із використанням PTV VISUM пасажиропотоків із фактичними наведено на рис. 10. Приклад представлення результатів оцінки точності моделі транспортного попиту на пересування міського населення громадським транспортом представлено на рис. 11.

Після оцінки точності моделі транспортного попиту можна переходити до розрахунку показників якості рівня транспортного обслуговування пасажирів міським громадським транспортом, що передбачає в PTV VISUM реалізацію процедури перерозподілу пасажирських потоків і розрахунок й виведення обраних оцінних показників, якими найчастіше є:

- час пересування пасажирів мережею;
- час поїздки пасажирів в транспортному засобі;
- відстань пересування та/або поїздки;
- коефіцієнт пересадочності.

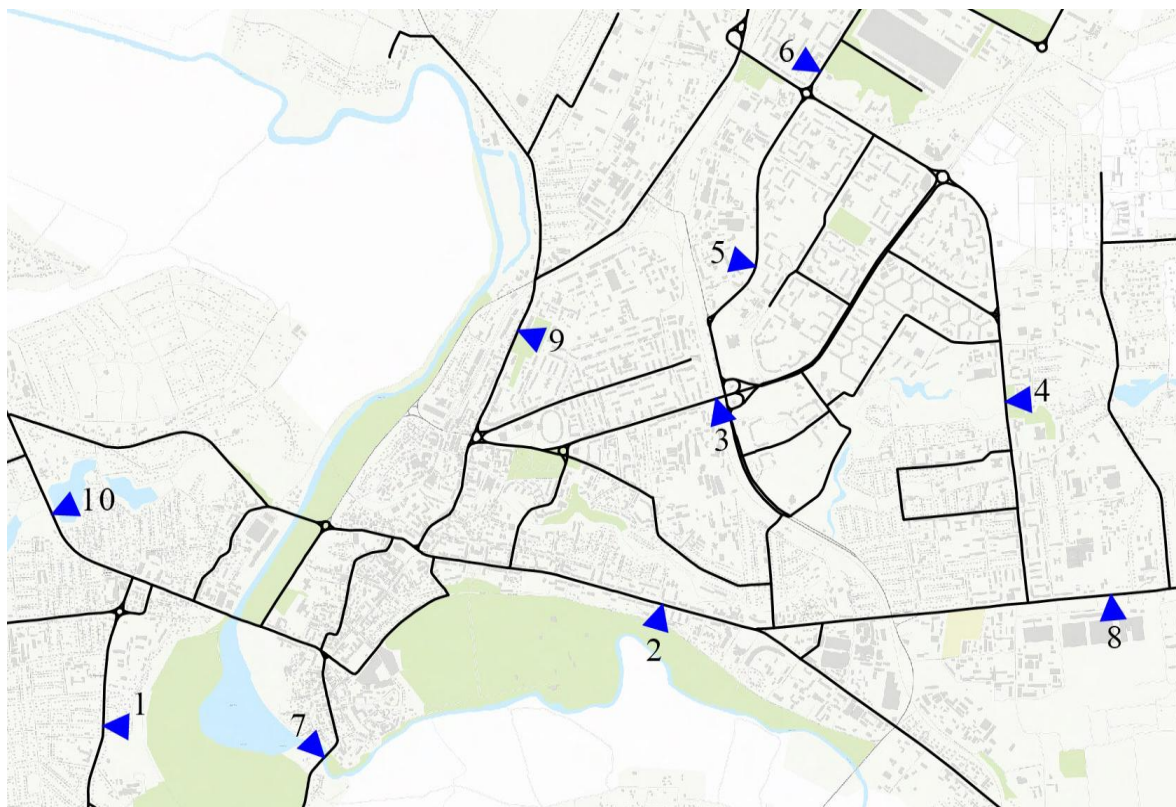


Рис. 10. Місця порівняння розрахункових пасажиропотоків із фактичними на прикладі транспортної моделі системи громадського транспорту міста Луцька

Місце порівняння пасажиропотоків	Існуючі потоки (пас./ранковий пік)		Розрахункові потоки (пас./ранковий пік)		Відносне відхилення, %	
	до центру	від центру	до центру	від центру	до центру	від центру
1) вул. Львівська	3623	3039	3630	3036	0,15	0,1
2) пр. Волі	5418	5238	5421	5230	0,06	0,15
3) пр. Перемоги	9820	7444	9835	7432	0,15	0,16
4) пр. Відродження	3033	3896	3027	3895	0,2	0,03
5) вул. Конякіна (район Автовокзалу)	1694	1398	1696	1398	0,12	0
6) вул. Конякіна (40 квартал)	3168	2789	3164	2790	0,13	0,04
7) вул. Гнідавська	4362	3401	4366	3392	0,09	0,26
8) вул. Рівненська	936	876	936	876	0	0
9) вул. Стрілецька	324	98	324	97	0	1,02
10) вул. Ковельська	904	919	908	921	0,44	0,22

Середня відносна помилка розрахунку пасажиропотоків:

- для ранкового періоду-пік – **0,17 %**;
- для робочого дня – **3,47 %**.

$$\text{Похибка розрахунку середньої відстані пересування пасажирів} : \Delta = \frac{|I_{\text{розрах}}^{\text{сер}} - I_{\text{факт}}^{\text{сер}}|}{I_{\text{факт}}^{\text{сер}}} \cdot 100\% = \frac{|3,58 - 3,31|}{3,31} \cdot 100\% = 8,16\%$$

Рис. 11. Приклад представлення результатів оцінки точності матриці пасажирських кореспонденцій після проведення її калібрування на прикладі міста Луцька

Представлений перелік показників дозволяє отримати достатню інформацію про існуючий рівень якості роботи маршрутної системи міста, а також оцінити ефективність можливих її змін. Слід відзначити, що серед представлено переліку оцінних показників, час пересування пасажирів мережею нормується ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій», табл. 5. Приклад представлення підсумкової оцінки діючої пасажирської системи міста представлено в табл. 6.

Таблиця 5

Нормативні значення середнього часу пересування мешканців міст громадським транспортом

Характеристика міста за чисельністю населення	Значення часу пересування, хв.
Найкрупніші (найзначніші) – понад 800 тис. осіб	до 45
Крупні (значні) – від 500 тис. осіб до 800 тис. осіб	до 40
Великі – від 250 тис. осіб до 500 тис. осіб	до 35
Середні – від 50 тис. осіб до 250 тис. осіб	до 30
Малі – до 50 тис. осіб	до 20

Таблиця 6

Приклад оцінки діючої маршрутної системи громадського транспорту

Показник	Розрахункове значення показника
Кількість маршрутів, од., в тому числі: - тролейбусних - автобусних	45 13 32
Кількість транспортних засобів на маршрутах, од., в тому числі: - тролейбусів - автобусів	275 46 229
Питома вага зупинок що обслуговуються соціально значущими тролейбусними маршрутами, %	56,1
Добовий пробіг всіх транспортних засобів на маршрутах, км, в тому числі: - пробіг тролейбусів - пробіг автобусів	65396 8373 57023
Середній час поїздки пасажирів в громадському транспорті, хв.	10,87
Середній час пересування, хв.	28,07
Середня відстань поїздки в транспортному засобі, км	3,578
Коефіцієнт пересадочності	1,009

Паралельно із цим виводиться графіка щодо розподілу пасажиропотоків (рис. 12), використання якої сприяє вивченню існуючих закономірностей розподілу потреб міського населення в пересуваннях громадським транспортом.

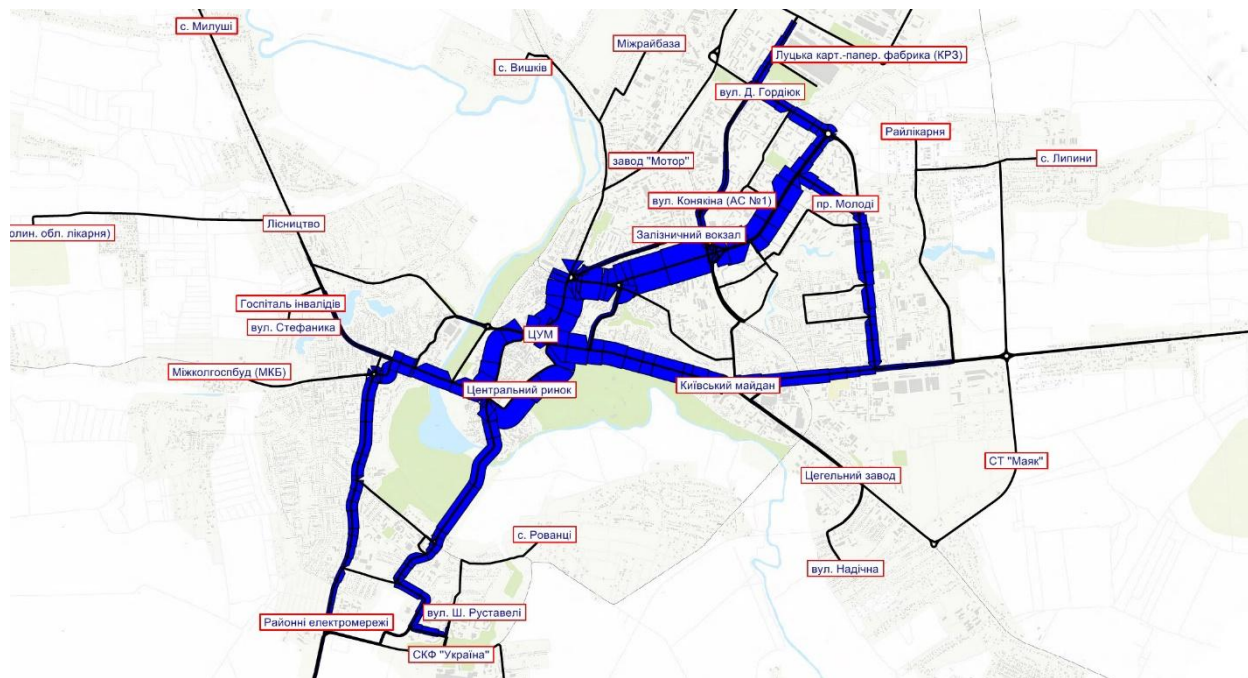


Рис. 12. Епюра розподілу добових пасажиропотоків у системі громадського транспорту міста Луцька

Разом із цим можливості PTV VISUM дозволяють проводити аналіз рівня завантаження зупинок рухом громадського транспорту через них і аналізувати ступень взаємного дублювання трас маршрутів.

Оцінка ступеню дублювання маршрутів подається шляхом визначення відносної кількості зупиночних пунктів, котрі є спільними в трасах маршрутів, що порівнюються

$$S = \frac{w_{cn}}{n_0} \cdot 100, \quad (1)$$

де S – ступінь дублювання «базового» маршруту, %;

w_{cn} – кількість зупиночних пунктів, що є спільними в трасах маршрутів, од.;

n_0 – кількість зупиночних пунктів «базового» маршруту, обраного як основа для порівняння, од.

Для проведення детального аналізу ступеню дублювання маршрутів виділяються маршрути із суттєвим ступенем дублювання –

більш ніж (70-75) % траси. За «базові» маршрути прийнято вважати маршрути електротранспорту (тролейбусні та/або трамвайні).

Взаємне дублювання автобусних маршрутів, які, найчастіше, в містах обслуговуються приватними перевізниками, хоч і не має законодавчих або економічних обмежень, але може призводити до таких негативних наслідків, як зниження безпеки руху, підвищення завантаженості рухом транспортної мережі, рівня забруднення повітря, тощо. Таке становище не може вважатися виправданим та призводить до зниження ефективності використання рухомого складу та рентабельності маршрутів й інших систем транспорту. Інформація про ступень дублювання потрібна для прийняття подальших рішень щодо доцільності функціонування того чи іншого маршруту в системі громадського транспорту міста.

Наявність такого явища як дублювання трас маршрутів супроводжується відповідною завантаженістю зупинок громадського транспорту. З метою оцінки ступеню завантаженості зупинок з використанням PTV VISUM в транспортній моделі для кожного зупиночного пункту можна відобразити маркери з кількістю маршрутів, що його обслуговують, рис. 13.

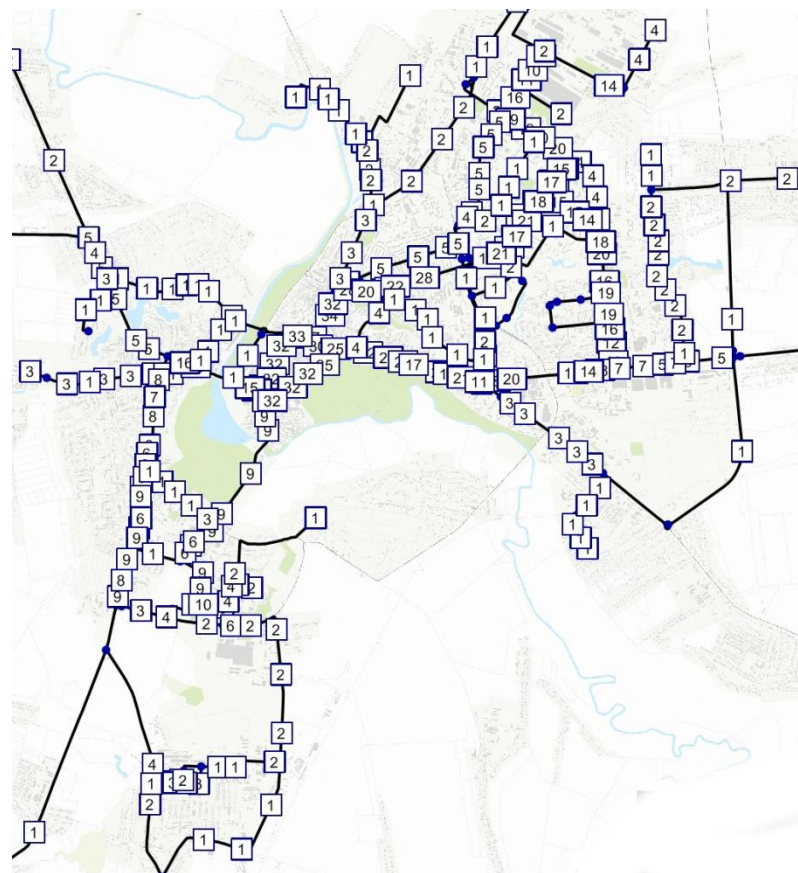


Рис. 13. Приклад графічного відображення кількості маршрутів, котрі обслуговують зупиночні пункти громадського транспорту

Отриману таким чином статистичну інформацію можна згрупувати за кількістю маршрутів, що проходять через зупинку, з відповідним шагом зміни. В результаті, виходячи з максимального значення завантаженості зупинок громадського транспорту, масив даних групується в інтервали, на основі яких будується гістограма, рис. 14.

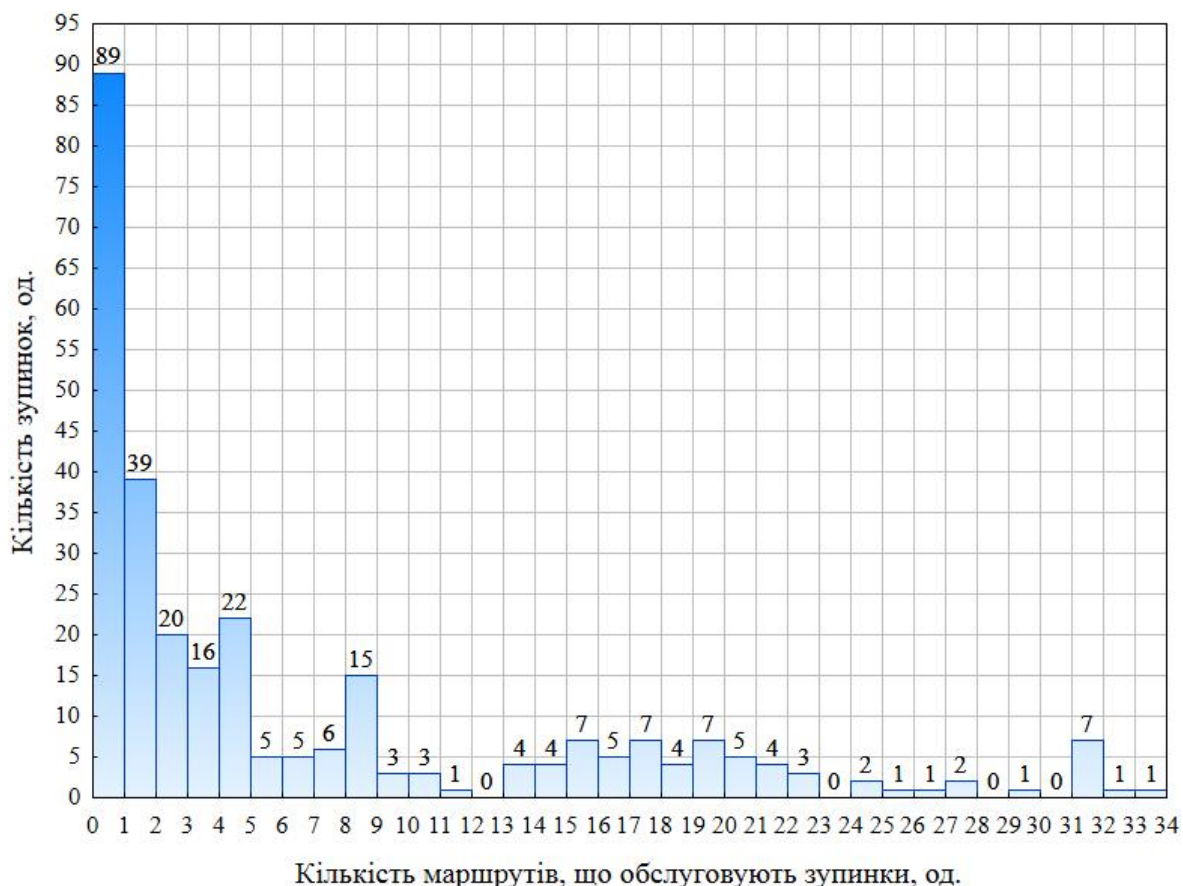


Рис. 14. Характеристика зупиночних пунктів громадського транспорту за кількістю маршрутів, що їх обслуговують

Отримана у такий спосіб інформація є додатковою основою для розробки заходів щодо удосконалення роботи системи громадського транспорту в місті.

Однією з ключових задач на етапі формування раціонального варіанту міської пасажирської мережі маршрутів громадського транспорту є вибір і обґрунтування стратегії її формування.

У галузі транспортного планування на прикладі пасажирських маршрутних систем українських міст можна виділити дві основні такі стратегії: стратегія однієї пересадки та стратегія основного маршруту. Перша стратегія (стратегія однієї пересадки) передбачає організацію маршрутної мережі міста таким чином, щоб пасажир

могли досягти більшості пунктів призначення з використанням (за потреби) всього однієї пересадки. В свою чергу, стратегія основного маршруту передбачає використання одного чи кількох основних маршрутів (остовів), до яких підключаються допоміжні маршрути (маятникові або підвізні). Ключові характеристики обох стратегій, а також їх переваги та недоліки представлені в табл. 7.

Таблиця 7

Характеристика основних стратегій формування маршрутних пасажирських мереж громадського транспорту

Стратегія	Основні характеристики	Основні переваги	Основні недоліки
Стратегія однієї пересадки	<ul style="list-style-type: none"> - маршрути формуються так, щоб пересадки відбувалися на великих вузлах (автовокзалах, станціях метро, терміналах); - пересадочні пункти об'єднуються розкладом руху з мінімальним часом очікування; - часто застосовується у містах із розгалуженою мережею громадського транспорту 	<ul style="list-style-type: none"> - скорочення кількості маршрутів, що знижує ступень дублювання трас маршрутів; - підвищення рентабельності маршрутів за рахунок рівномірного розподілу навантаження; - оптимізація руху через скорочення загальної довжини маршрутів 	<ul style="list-style-type: none"> - пасажирів змушені здійснювати пересадку, що може збільшити загальний час пересування; - необхідність створення зручної інфраструктури пересадочних вузлів
Стратегія основного маршруту	<ul style="list-style-type: none"> - основні маршрути забезпечують перевезення на найбільшій відстані з високою пропускну здатністю (метро, Bus Rapid Transit); - допоміжні маршрути підвозять пасажирів до магістралей; - часто застосовується у великих містах із зональним плануванням 	<ul style="list-style-type: none"> - висока ефективність перевезень в межах головних транспортних коридорів; - скорочення кількості транспортних засобів на менш навантажених маршрутах; - можливість гнучкого регулювання потоку пасажирів через зміну інтенсивності руху підвізних маршрутів 	<ul style="list-style-type: none"> - необхідність додаткових пересадок для пасажирів, які рухаються не вздовж основних магістральних ліній; - висока вартість розбудови головних магістральних ліній (будівництво метро або системи Bus Rapid Transit)

Вибір тієї чи іншої стратегії залежить від розміру міста, структури пасажиропотоків та наявної транспортної інфраструктури. У великих містах при розробці нових або удосконаленні існуючих маршрутних пасажирських систем часто застосовується стратегія основного маршруту, тоді як у середніх містах із менш складною мережею громадського транспорту ефективнішою може бути стратегія однієї пересадки.

Слід розуміти, що головним завданням формування раціонального варіанту міської пасажирської мережі є вибір трас маршрутів таким чином, щоб вони склали єдину систему, яка найкращим чином забезпечує мешканців міста транспортною пропозицією. Сформовані траси маршрутів створюють для проєктувальників можливість визначення пасажиропотоків на них і вибору раціонального типу транспортних засобів.

Розробка раціонального варіанту мережі міських маршрутів громадського транспорту не є механічним процесом, для якого необхідно просто мати інструмент досягнення мети та задати необхідні вихідні дані. Велика кількість потенційно можливих варіантів маршрутної мережі, що визначається як кількість сполучень за формулою $2^{\text{кількість можливих маршрутів}}$, навіть для категорії середніх міст обумовлює неможливість перегляду повного набору альтернатив за реальний період часу. У таких умовах єдиним можливим шляхом планування розвитку та раціоналізації мережі маршрутів громадського транспорту є створення сценаріїв розвитку (альтернативних варіантів) та вибір найкращого з них за допомогою кількісної оцінки результатів їхнього функціонування в транспортній моделі.

Залишається й відкритим питання, яким чином мають формуватися сценарії в умовах великої кількості альтернатив. Відповідь на це питання міститься у створенні принципів, виконання яких є обов'язковою умовою прийняття варіанту системи маршрутів до числа реальних сценаріїв функціонування мережі громадського транспорту.

Найчастіше, за ключові принципи формування мережі міських пасажирських маршрутів, які, за своїм сенсом, є певним механізмом реалізації обраної стратегії, приймаються наступні:

- не погіршення існуючого рівня транспортного обслуговування населення міста системою громадського транспорту;

- пріоритет і сталість розвитку систем електротранспорту (трамвай, тролейбус, метрополітен), як таких, що забезпечують основний (великий) обсяг, в тому числі соціально значущих перевезень в місті;

- конкретизація меж розвитку окремих систем транспорту, наприклад, в найближчій перспективі контактна мережа тролейбусних маршрутів залишиться без змін;

- користувачі системи міського громадського транспорту повинні мати можливість дістатися з одного району міста в інший не більше ніж з однією пересадкою;

- зменшення невиправданого дублювання маршрутів електротранспорту автобусними та взаємного дублювання автобусних маршрутів;

- на основних напрямках руху пасажиропотоків мешканці міста повинні мати альтернативні варіанти шляху пересування по відношенню до соціально значущих маршрутів електротранспорту;

- траса маршруту повинна бути якомога ближчою до найкоротшого шляху між районами міста, які він сполучає (прямолінійність маршрутів);

- рівень транспортного обслуговування населення громадським транспортом у відповідності до існуючих потреб пасажирів у пересуваннях;

- відповідність рухомого складу існуючому на маршрутах (напрямах) попиту на перевезення тощо.

Зрозуміло, що представлений перелік не є вичерпним, і може відрізнитися в залежності від об'єкту проектування та поставлених у дослідженні цілей, але він є достатнім для формування базового (початкового, стартового) варіанту мережі маршрутів громадського транспорту в місті.

Наявність транспортної моделі системи громадського транспорту міста значно спрощує процес пошуку раціонального варіанту маршрутної мережі пасажирського транспорту, оскільки надає результати аналізу його ефективності в зручній і зрозумілій формі – через розрахунок обраних оцінних показників і відповідну графіку розподілу пасажиропотоків мережею маршрутів. Найчастіше результати порівняння існуючого та раціонального варіантів міських пасажирських маршрутних систем подаються в табличному вигляді, табл. 8-10.

Таблиця 8

**Результати оцінювання варіантів маршрутних систем
на прикладі міста Луцька**

Показник	Розрахункове значення показника		
	діюча мережа	раціональна мережа	перспективна мережа
Загальні показники			
Кількість маршрутів, од., в тому числі: - тролейбусних - автобусних	45 13 32	35 12 23	33 13 20
Кількість транспортних засобів на маршрутах, од., в тому числі: - тролейбусів - автобусів	275 46 229	243 46 197	232 67 165
Питома вага зупинок що обслуговуються соціально значущими тролейбусними маршрутами, %	56,1	56,1	56,1
Показники використання рухомого складу			
Добовий пробіг всіх транспортних засобів на маршрутах, км, в тому числі: - пробіг тролейбусів - пробіг автобусів	65396 8373 57023	64330 8460 55870	62844 13770 49074
Показники пересування пасажирів			
Середній час поїздки, хв.	10,87	10,72	11,12
Середній час пересування, хв.	28,07	27,95	28,75
Середня відстань поїздки, км	3,578	3,568	3,569
Коефіцієнт пересадочності	1,009	1,009	1,009

Таблиця 9

**Результати оцінювання варіантів маршрутних систем
на прикладі міста Краматорська**

Показник	Варіант маршрутної мережі		Відхилення
	поточний	раціональний	
Середній час пересування по мережі, хв.	28,43	27,37	Зменшення на 3,87%
Середній час поїздки пасажирів, хв.	14,66	13,98	Зменшення на 4,64%
Коефіцієнт пересадочності	1,143	1,077	Зменшення на 5,77%
Середня відстань пересування, км	5,63	5,69	Збільшення на 1,07%

**Результати оцінювання варіантів маршрутних систем
на прикладі міста Конотопа**

Назва показника	Значення за варіантами маршрутної мережі		
	поточний (на момент обстеження пасажиропотоків)	раціональний	повний (за даними ресурсу EasyWay, 21 маршрут)
Середній час пересування по мережі, хв.	15,76	14,79	14,91
Середній час поїздки пасажирів, хв.	7,65	6,67	6,81
Коефіцієнт пересадочності	1,0769	1,068	1,0761
Середня відстань пересування, км.	4,27	4,25	4,24
Маршрутний коефіцієнт	2,22	2,62	2,89

Паралельно із цим, на основі результатів обстеження пасажиропотоків і з використанням транспортної моделі розробляються пропозиції щодо розміщення зупинок і пересадочних пунктів, а також пропозицій щодо реконструкції та/або облаштування ділянок вулично-дорожньої мережі міста, де необхідно реалізувати пріоритетний рух громадського транспорту.

Слід розуміти, що для впровадження розроблених пропозицій щодо розвитку системи громадського транспорту в місті потрібен деякий перехідний період, оскільки різкий перехід на нові схеми руху маршрутів завжди супроводжується негативною реакцією тієї частини населення, для якої умови пересування змінюються. Упродовж зазначеного перехідного періоду зміни доцільно впроваджувати поступово, із паралельною роботою нових та існуючих маршрутів протягом декількох тижнів бажано в літній період року.

Цілком можна вважати, що більшість завдань при формуванні раціонального варіанту міської пасажирської системи громадського транспорту є інженерними (розробка методики проведення та об-

робки пасажиропотоків на маршрутній мережі міста; збір, перевірка та обробка результатів обстеження; оцінка ефективності існуючого варіанту маршрутної мережі та розробка й оцінка її раціонального варіанту), для вирішення яких використовуються відомі та розповсюджені в даний час методики в галузі функціонування систем міського громадського транспорту. А ось завдання виявлення існуючих закономірностей пересувань населення з використанням системи громадського транспорту вже є науковою та потребує для вирішення наявності точної, об'єктивної інформації про пересування пасажирів, якою, в практиці українських проєктувальників, є результати проведення вибіркового табличного обстеження пасажиропотоків, а також результати опитування пасажирів на основних пересадочних вузлах маршрутної мережі міста [24].

Закономірності розселення населення міст використовуються для вирішення ряду досить важливих завдань, серед яких можна відзначити розробку або зміну генерального плану міста, прогнозування кількості пересувань міського населення та інші містобудівні чи транспортні розрахунки. Розселення населення територією міста розглядається в залежності від двох факторів – дальності сполучення та витрат часу на пересування відносно центрів транспортного тяжіння.

Для оцінювання пасажирських переміщень доцільно використовувати транспортні моделі, наприклад у програмному середовищі PTV VISUM можна провести аналіз відстані поїздки (IVD) та відстані пересування (JRD) пасажирів у маршрутній мережі. Показник IVD характеризує тільки дальність пересування пасажирів у транспортному засобі. Показник JRD складається з відстані підходу до зупинки, відстані поїздки в транспортному засобі, відстані переходу при здійсненні пересадки та відстані відходу від зупинки. Приклад представлення розподілу відстаней поїздки та пересування представлено на рис. 14, 15 [25].

Результати проведених розрахунків свідчать, що середня відстань пересування пасажирів становить 3,158 км, а середня відстань здійснення поїздки – 2,614 км. Різниця між розрахованими середніми значеннями дальності пересування та дальності поїздки в транспортному засобі є основою для визначення фактичного рівня доступності маршрутної мережі.

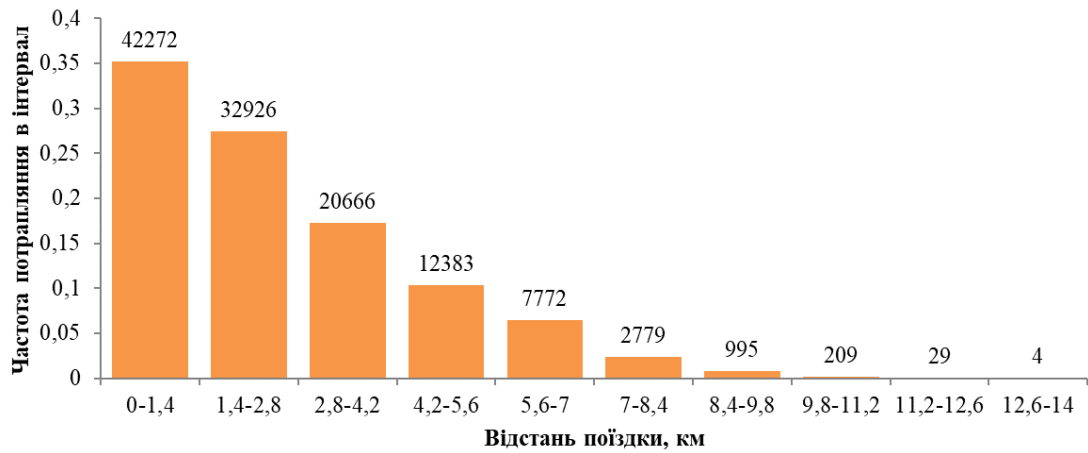


Рис. 14. Закономірності розселення населення міста Тернополя (розрахунок проведений на основі дальності поїздки пасажирів (IVD))



Рис. 15. Закономірності розселення населення міста Тернополя (розрахунок проведений з урахуванням часу підходу та відходу пасажирів до (від) зупиночного пункту (JRD))

Закономірності розподілу часу пересування пасажирів як і закономірності розподілу дальності пересування характеризують складність переміщення населення територією міста та можуть використовуватись для оцінювання середньої дальності пересування населення громадським транспортом.

В даному випадку для оцінювання пасажирських переміщень з використанням програмного забезпечення PTV VISUM можна провести аналіз часу поїздки в транспортному засобі (IVT) та загальному часу на пересування (JRT).

Показник IVT характеризує тільки час поїздки пасажирів у транспортному засобі. Показник JRT складається з часу підходу до зупинки, часу очікування транспортного засобу, часу поїздки в транспортному засобі, часу переходу при здійсненні пересадки, часу очікування пересадки та часу відходу від зупинки. Отриманий роз-

поділ часу поїздки та часу на пересування представлено на рис. 16, 17 [25].

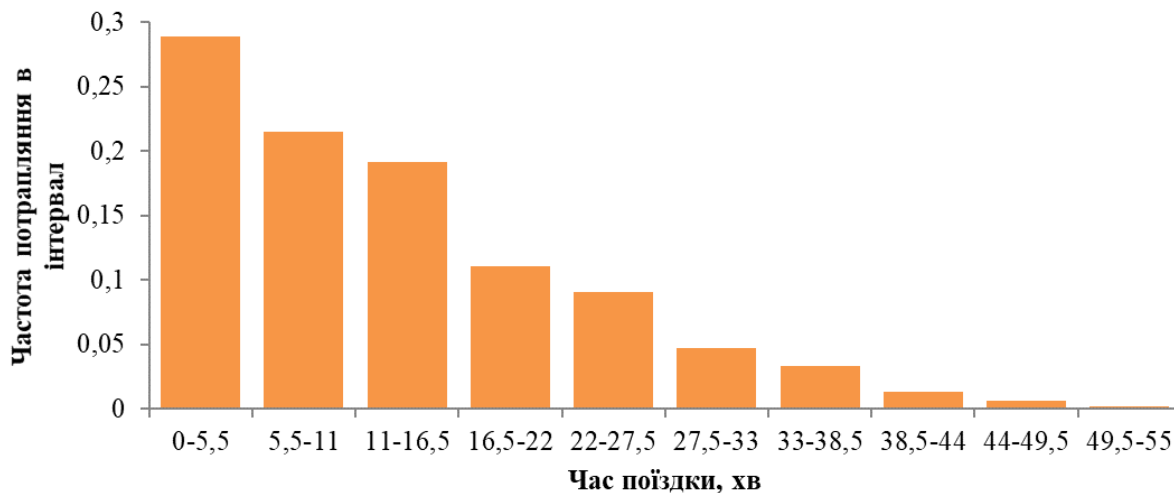


Рис. 16. Закономірності розподілу часу поїздки на прикладі міста Тернополя

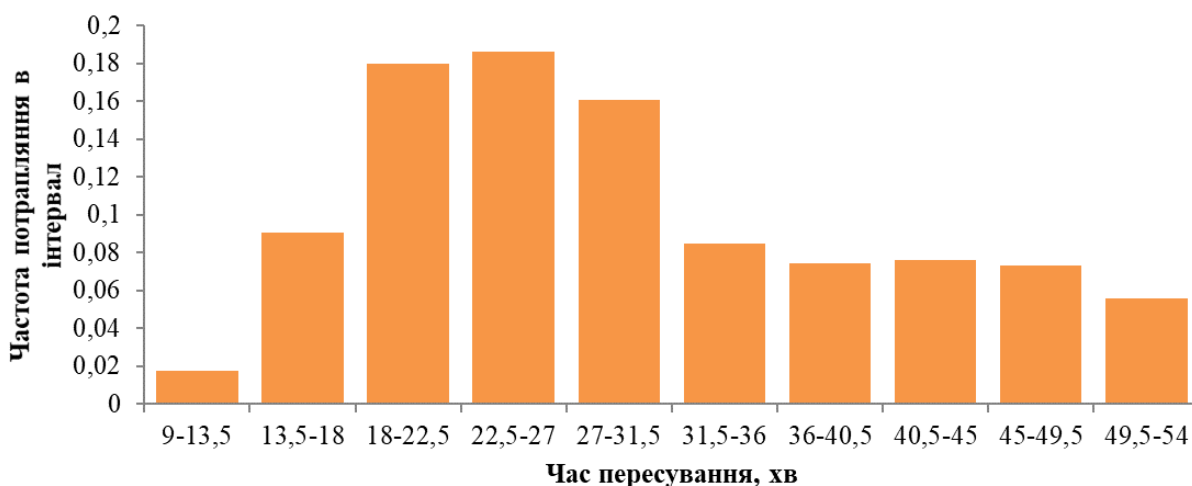


Рис. 17. Закономірності розподілу часу пересування на прикладі міста Тернополя

Результати проведених розрахунків свідчать, що середній час пересування пасажирів становить 29,9 хв., а середній час поїздки – 13,1 хв., що відповідає існуючим нормативам (ДБН Б.2.2-12:2019). Різниця між розрахованими середніми значеннями часу пересування та часу поїздки в транспортному засобі також є основою для визначення фактичного рівня доступності маршрутної мережі та визначення частки часу очікування в загальному часі на пересування.

Слід також відзначити, що отриманий вигляд закономірностей розселення населення та розподілу дальності та часу пересування громадським транспортом в місті Тернополі відповідають тради-

ційним закономірностям, описаним в роботі [19], та підтверджують основні існуючі тенденції щодо розвитку транспортних і маршрутних систем українських міст.

Список літератури до підрозділу 1.1

1. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. *European Commission* : веб-сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5e601657-3b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF.
2. White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. *European Commission* : веб-сайт. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:EN:PDF>.
3. Guidelines for developing and implementing a sustainable urban mobility plan. *European Commission* : веб-сайт. URL: https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/document/download/87adaa0c-cd13-4ce0-9a15-d138ea31bb2c_en?filename=sump_guidelines_2019_second%20edition.pdf.
4. Що таке ПСММ? *Мобільність Львова* : веб-сайт. URL: <https://mobilitylviv.com/sump-lviv/>.
5. Sustainable Urban Mobility Plans. *EU Urban Mobility Observatory* : веб-сайт. URL: https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/sustainable-urban-mobility-plans_en.
6. План сталої міської мобільності – Сучасні політики у сфері міської мобільності. *Citytransua* : веб-сайт. URL: <https://surl.li/gdtvpf>.
7. PTV Visum. *PTV Planung Transport Verkehr GmbH* : веб-сайт. URL: <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-visum>.
8. Public Transport Planning with PTV Visum. *PTV Planung Transport Verkehr GmbH* : веб-сайт. URL: <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-visum/public-transport-planning>.
9. Розробка комплексної схеми руху транспорту м. Луцька / Харківський національний автомобільно-дорожній університет; № держ. реєстрації 0117U006848. Харків: ХНАДУ, 2018. 309 с.

10. Bentley Software. *Bentley* : веб-сайт. URL: <https://www.bentley.com/software/>.
11. EMMЕ. *Tawwat* : веб-сайт. URL: <https://forum.tawwat.com/cgi-sys/suspendedpage.cgi?t=33827>.
12. TransCAD. *Caliper* : веб-сайт. URL: www.caliper.com/tcovu.htm.
13. TransCAD Reviews. *Slashdot* : веб-сайт. URL: <https://slashdot.org/software/p/TransCAD/>.
14. PTV Vissim. *PTV Planung Transport Verkehr GmbH* : веб-сайт. URL: <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-vissim>.
15. Traffic Simulation: A Powerful Tool for Better Transportation Planning. *Think Transportation* : веб-сайт. URL: <https://thinktransportation.net/traffic-simulations-software-a-comparison-of-sumo-ptv-vissim-aimsun-and-cube/>.
16. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.01 / Горбачов Петро Федорович. Харків: ХНАДУ, 2009. 370 с.
17. Россолов О.В. Удосконалення інтервальної концепції визначення попиту на послуги пасажирського маршрутного транспорту у великих містах: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Россолов Олександр Вікторович. Харків: ХНАДУ, 2012. 207 с.
18. Любий Є.В. Визначення попиту на пересування населення малих міст маршрутним пасажирським транспортом: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Любий Євген Володимирович. Харків: ХНАДУ, 2012. 191 с.
19. Горбачов П.Ф., Свічинський С.В. Інтервальне моделювання потреб населення міст у перевезеннях громадським транспортом на основі функції розселення : монографія. Харків: ХНАДУ, 2016. 148 с.
20. Гончаренко С.Ю. Визначення попиту на послуги пасажирського маршрутного транспорту в середніх містах: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Гончаренко Сергій Юрійович. Харків: ХНАДУ, 2017. 199 с.
21. Кара І.А. Визначення пасажиропотоків на міських маршрутах з використанням нечіткої логіки та транзакцій абонентів стільникового зв'язку : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Кара Інна Андріївна. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2017. 208 с.
22. Гілевська К.Ю. Удосконалення організації перевезень пасажирів міським громадським транспортом за критеріями якості : авто-реф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Київ: НТУ, 2017. 22 с.

23. PTV VISUM – MODULES. *ISSD* : веб-сайт. URL: https://www.issd.com.tr/upload/Node/36093/files/EN_PTV_Visum_Modules.pdf.
24. Пашкевич С.М. Дослідження впливу розташування міжміської автостанції на розподіл міських пасажиропотоків : дис. ... доктора філософії (PhD) : 275 / Пашкевич Світлана Михайлівна. Харків: ХНАДУ, 2024. 224 с.
25. План сталої міської мобільності Тернопільської міської територіальної громади. *Офіційний сайт Тернопільської міської ради* : веб-сайт. URL: <https://ternopilcity.gov.ua/sesiya/proekti-rishen-sesii/proekti-rishen-sesii-tmr/57868.html>.

1.2 Визначення основних концепцій проектного аналізу на автомобільному транспорті

О.В. Свічинська

доцент кафедри транспортних систем і логістики ХНАДУ,
канд. техн. наук, доцент

Ринок транспортних послуг відіграє важливу роль у розвитку економіки, забезпечуючи мобільність населення та ефективну логістику. Умови глобалізації та конкуренції вимагають оптимізації діяльності транспортних підприємств, вибору ефективних стратегій сегментації, формування конкурентоспроможних тарифів і підвищення якості обслуговування.

Розділ монографії присвячений аналізу сегментації ринку транспортних послуг, методиці оцінки вибору виду транспорту та вартісних факторів, ціноутворенню та маркетинговим стратегіям, що є важливим для ефективного розвитку підприємств цієї галузі.

1.1. Аналіз, сегментація і вибір цільових сегментів ринку транспортних послуг пасажирських перевезень

Аналіз проектів дозволяє зрозуміти, що його основна методологія полягає в порівнянні переваг та витрат, пов'язаних із реалізацією проектів, при цьому оцінка здійснюється в грошовому еквіваленті. Концепція проектного аналізу є набором методичних підходів, що визначають послідовність збору та аналізу інформації, методи оцінки інвестиційних пріоритетів та способи врахування різних факторів, що мають значення при прийнятті рішень щодо реалізації проекту.

Зазначимо також, що однією з основних цілей проектного аналізу є визначення вартості проекту, яка залежить від різниці між позитивними та негативними наслідками реалізації проекту. Проте, оцінка вартості проекту ускладнюється через різницю в часі між отриманням вигод і витратами, а також необхідність кількісного та якісного вимірювання реальних результатів. Тому аналіз проекту проводиться протягом усього його життєвого циклу.

Завданням проектного аналітика є також виявлення економічних, екологічних та соціальних проблем, що можуть виникнути в

процесі реалізації проекту на різних етапах його існування. Проектний аналіз допомагає виявити значущість різних аспектів і їх вплив на кінцеві результати проекту.

Концепція проектного аналізу зосереджена на вивченні витрат, пов'язаних з реалізацією проекту, та оцінці результатів з різних точок зору: інтересів власників, загальної економічної ситуації, учасників проекту, а також екологічного та соціального контексту [1]. Ці методики спрямовані на забезпечення економічної та технічної доцільності проекту, враховуючи не лише технологічні та технічні аспекти, але й систему управління фінансами та загальну довгострокову ефективність проекту.

Аналіз цих аспектів дає змогу сформуванню цілісного уявлення про методи порівняння та оцінки проектів, способи залучення ресурсів для їх реалізації, а також механізм управління всім життєвим циклом проекту. Таким чином, проектний аналіз виступає важливою частиною управління проектом, як показано на рис. 1.

Такий підхід до аналізу проектів є універсальним для будь-якої сфери, але відрізняється залежно від методів збору інформації про проект, її кількості та доступності для аналітика, а також від витрат і термінів, необхідних для якісного дослідження. Окремим аспектом є вивчення соціальних, екологічних та економічних наслідків проектів [1].

Проекти в сфері транспортних послуг найбільш повно охоплюють ці напрямки. Тому цей розділ наукової роботи присвячений аналізу соціальних аспектів, зокрема вивченню ринкових сегментів транспортних послуг.

Еволюція споживчих поглядів на автотранспортні послуги та можливості розвитку автотранспортних підприємств пройшла через три основні етапи [2].

Перший етап – масовий маркетинг. На цьому етапі автотранспортні підприємства використовували однотипні транспортні засоби з середніми показниками вантажопідйомності (пасажиромісткості), що становили близько 90 % загального парку автомобілів. Споживачі мали обмежену можливість вибору типу транспорту та послуг [2, 3].

Другий етап – товарно-диференційований маркетинг. Підприємства почали пропонувати більш різноманітний рухомий склад, що відрізнявся за типами (бортові автомобілі, самоскиди, тягачі, автобуси різних класів, маршрутки, таксі) і вантажопідйомністю

(від малотоннажних до великовантажних). Відповідно, зросла варіативність як у вантажопідйомності, так і в якості пасажирських послуг [3].



Рис. 1. Проектний аналіз як внутрішня складова процесу управління проектом

Третій етап – цільовий маркетинг. На цьому етапі підприємства здійснили сегментацію ринку та почали закуповувати спеціалізований рухомий склад для задоволення різноманітних потреб споживачів. Проте навіть великі автотранспортні компанії не можуть покрити всі запити, тому вони фокусуються на придбанні транспорту

для конкретних видів послуг.

Цільовий маркетинг передбачає виконання трьох ключових етапів [2]:

1. Сегментація ринку:
 - 1.1. Визначення змінних, що використовуються для сегментації;
 - 1.2. Формування профілів кожного з сегментів.
2. Вибір цільових ринкових сегментів:
 - 2.1. Оцінка привабливості отриманих сегментів;
 - 2.2. Вибір одного або кількох сегментів для роботи.
3. Позичіонування послуги та підприємства на ринку:
 - 3.1. Визначення стратегії позиціонування послуги для кожного обраного сегмента;
 - 3.2. Розробка маркетингового комплексу для кожного з цільових сегментів.

Сегментація ринку – це процес поділу всіх потенційних споживачів конкретної послуги на кілька великих груп, кожна з яких має схожі потреби та приблизно однакову цінову чутливість. При цьому потреби в межах однієї групи значно відрізняються від потреб інших груп споживачів [4].

Ключові моменти цього визначення:

- сегментація стосується виключно споживачів конкретного виду послуг;
- сегментація не є тим самим, що й поділ ринку. Ринок визначається певним видом послуг (наприклад, пасажирські перевезення, перевезення за годинними тарифами тощо), а сегмент є частиною ринку, яка виділяється за специфічними характеристиками послуг, що відповідають потребам споживачів.

Наприклад, ринок пасажирських перевезень можна розподілити на таксомоторні послуги та громадські автобуси в залежності від того, яку швидкість доставки вимагають споживачі.

Багатомірність – це використання кількох різних характеристик для сегментації споживачів. Хоча це не завжди необхідно, часто весь сегмент може базуватися лише на одній характеристиці, такій як рівень доходів. Проте практика показує, що правильна багатомірна сегментація може забезпечити значні переваги для автотранспортних підприємств [4].

Сегментація можлива на ринку, де є достаток послуг. Вона дозволяє глибше розуміти специфічні потреби споживачів, які готові

платити за послуги.

Основна мета сегментації полягає в тому, щоб виявити однорідні потреби в послугах серед споживачів у кожному сегменті та розробити відповідну стратегію для обслуговування цих груп.

Результатом сегментації є глибоке розуміння особливостей сегмента та розробка стратегії маркетингових дій для підприємства на цьому сегменті. Ключові принципи сегментації ринку:

- пошук споживачів, які мають або можуть мати суттєво різні вимоги до послуг.
- створення послуги з унікальними рисами, яка буде орієнтована на конкретний сегмент.
- не варто надмірно збільшувати кількість характеристик сегментації, оскільки це може значно зменшити ринковий потенціал у межах сегмента і знизити доходи підприємства. Крім того, багато характеристик ускладнюють процес збору інформації, подовжують його час, збільшують витрати та трудовитрати.

Не існує конкретних формальних правил для визначення оптимальної глибини сегментації, вона визначається на основі логічного підходу, з урахуванням вимог до комерційної доцільності та достатності. Сегментація повинна здійснюватися регулярно, оскільки характеристики споживачів, дії конкурентів та загальна ситуація на ринку можуть змінюватися.

Сегменти, що були визначені в результаті успішної сегментації, повинні відповідати таким вимогам [2, 4]:

- визначеність – кожен сегмент має чіткий набір потреб і однакову реакцію на пропоновану послугу;
- суттєвий розмір;
- доступність для маркетингових заходів;
- можливість вимірювання кількості;
- можливість тривалого використання.

Розподіл ринку автотранспортних послуг на сегменти включає такі етапи: визначення змінних для сегментації, поділ ринку на сегменти.

Набір змінних для сегментації залежить від типу досліджуваного ринку. Для ринку пасажирських перевезень або вантажних перевезень за індивідуальними замовленнями до параметрів сегментації можна віднести різноманітні характеристики, як показано в табл. 1.

Укрупнені класифікаційні характеристики споживачів [3]

Класифікаційні ознаки	Характеристика споживачів
Вік і родинний стан	- молоді люди, не одружені й живучі окремо від батьків; - молоді подружні пари, що не мають дітей; - молоді подружні пари, що мають дітей дошкільного віку; - подружні пари, що мають дітей шкільного віку; - подружні пари середнього віку, що не мають дітей; - окремі пенсіонери
Соціальна категорія	школярі, студенти, фахівці, робітники, пенсіонери
Рівень доходу	високий, середній, низький
Відношення до нової послуги	новатори, ранні послідовники, більшість, консерватори
Психологічні особливості	суспільний клас, спосіб життя, тип особистості
Географічні фактори	міська, приміська, сільська місцевість, інфраструктурний розвиток регіону, чисельність і щільність населення, клімат
Поведінкові фактори	привід для користування послугою, інтенсивність споживання, ступінь прихильності та ін.

На ринку автотранспортних послуг також використовуються специфічні ознаки, притаманні пасажирським перевезенням, серед яких: відстань перевезення (міжнародні, міжміські, приміські та внутрішньоміські маршрути); тип транспортних засобів (легкові автомобілі, автобуси, мікроавтобуси); зручність користування (заповненість автобусів, рівень комфорту); надійність перевезення (регулярність рейсів, безпека, гарантії якості обслуговування); доступність (насиченість транспортними засобами, інформативність, доступні тарифи); результативність (економія часу та зусиль пасажирів під час поїздки).

Щодо вантажних перевезень, автотранспортні підприємства працюють на ринках різноманітних товарів, таких як продовольчі товари, будівельні вантажі, металопродукція тощо. Для сегментації ринку вантажних перевезень можуть бути використані такі параметри: потреби (тип вантажу, додаткові послуги, партійність вантажу, галузь); технології (якість наданих транспортних послуг); тип клієнта (вагомість клієнта, питома вага доходів від нього, гранич-

ний рівень рентабельності по клієнту, тривалість співпраці, статус клієнта); географія попиту (внутрішньоміські, міжміські та міжнародні перевезення, відстань).

На другому етапі розподілу ринку автотранспортних послуг на сегменти, де групуються споживачі з подібними потребами та приблизно однаковою чутливістю до ціни, застосовуються різні методи, як показано на рис. 2.

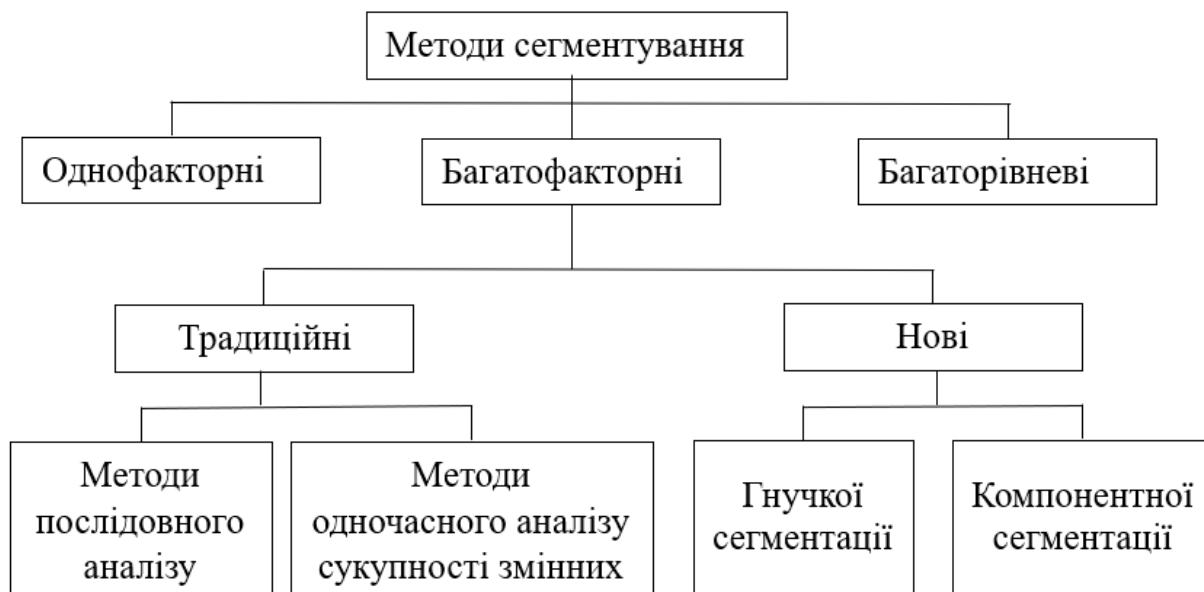


Рис. 2. Методи сегментування [3]

Однофакторні моделі передбачають розподіл усієї сукупності споживачів за однією характеристикою. Для кожної виділеної змінної визначають конкретні значення (або діапазони цих значень), і кожному значенню або діапазону відповідає певний сегмент. Таким чином, до конкретного сегмента відносяться ті споживачі, чия характеристика потрапляє в визначений інтервал.

Зазвичай за такого підходу сегменти визначаються після одного проходу класифікаційної процедури. Якщо кількість аналізованих змінних невелика і складає дві або три, отримані сегменти можуть бути представлені у вигляді таблиці для двох змінних або куба для трьох змінних [3].

Кожен з отриманих кубів можна розглядати як можливий або вже існуючий сегмент. Такий підхід допомагає значно знизити розмірність вирішуваних завдань і виключити малозначущі варіанти. Однак складність полягає в необхідності точно визначити межі зна-

чень аналізованої змінної. Згідно з цими межами, споживач потрапляє до відповідного сегмента. Зазвичай перед застосуванням цієї спрощеної схеми сегментування споживачів здійснюють детальний аналіз взаємозв'язків економічних параметрів споживачів з значеннями змінної, що аналізується.

Багатофакторні методи передбачають сегментування на основі сукупності всіх змінних, що описують поведінку споживачів. Є два основних підходи [3]. Перший передбачає поетапний аналіз змінних, де кожен етап передбачає виділення сегментів, які можуть бути розділені за допомогою наступної змінної. Зазвичай аналітик самостійно обирає порядок застосування змінних для сегментації споживачів і їх віднесення до сегментів.

Наприклад, для групи пасажирів міських автобусів, що мають такі характеристики, як статус (постійні та випадкові), місце проживання (центр чи околиця), тип поїздок (службові чи особисті) і соціальна категорія (робітники, студенти, пенсіонери та ін.), застосовують алгоритм, описаний нижче.

Крок 1. Ідентифікуємо групу пасажирів, які використовують послуги внутрішньоміських автобусів.

Крок 2. Визначаємо набір змінних, значення яких можна з'ясувати для кожного пасажирів в межах досліджуваної сукупності.

Крок 3. Визначаємо відносини вкладеності для кожної змінної. Це дозволяє встановити ієрархічний порядок їх використання при сегментуванні, що допомагає зменшити розмірність завдання. На першому етапі вся сукупність пасажирів розбивається на менші групи, що спрощує подальший аналіз.

Крок 4. Якщо відносини вкладеності між змінними визначені, вибираємо основну змінну, яка охоплює всі інші, і переходимо до кроку 5. Якщо вкладеності немає, переходимо до кроку 7.

Крок 5. На основі вибраної ознаки сегментуємо сукупність пасажирів.

Крок 6. Кожен з отриманих сегментів розглядається як неструктурована група пасажирів, після чого вибираємо наступну змінну з ієрархії та повторюємо крок 5. Процес повторюється до використання всіх змінних, для яких встановлено відношення вкладеності.

Крок 7. Якщо між змінними не встановлено відносин вкладеності, сегментування проводиться шляхом одночасного аналізу незалежних змінних.

Результати сегментування показано на рис. 3.

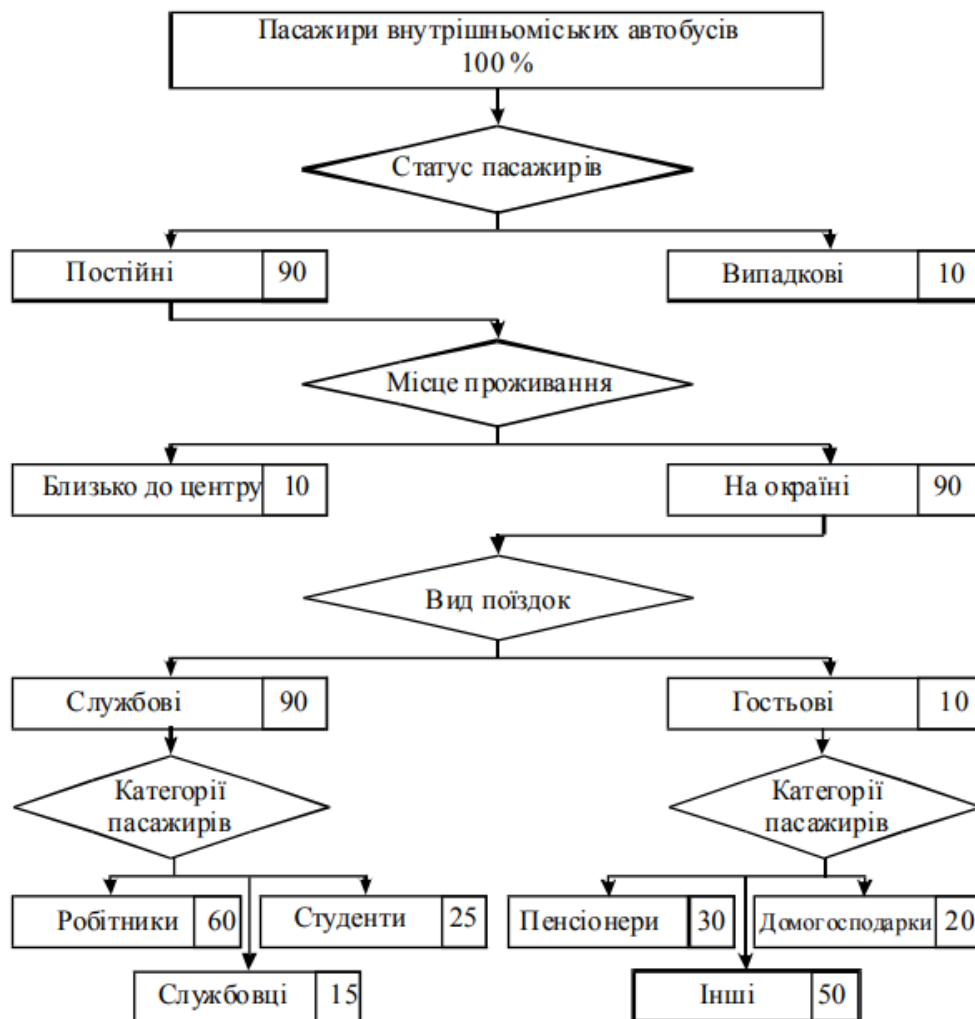


Рис. 3. Приклад сегментування ринку пасажирських перевезень [3]

Таким чином, процес виділення сегментів вимагає від аналітика чіткого дотримання послідовності та застосування знань про змінні і їх взаємозв'язки.

Необхідно зазначити, що аналітик повинен ухвалити концептуальне рішення щодо того, яку сукупність споживачів можна вважати нерозділеною або такою, що підлягає сегментуванню за допомогою однієї чи кількох змінних, між якими є відносини вкладеності. Це рішення приймається на етапі 7. Якщо неможливо виділити одну змінну для сегментування, то можна використовувати кілька змінних або вважати отриманий сегмент однорідною групою, що є об'єктом стратегічних цілей підприємства. Варто також зазначити, що побудова сегментів на основі спільного аналізу незалежних змінних є також вирішенням завдання. Однак, коли змінних багато, такі задачі стають математично складними, і деталі та методи розв'язання будуть розглянуті далі.

Цей метод має недолік у тому, що він орієнтований не на «обчислення», а на «підбір», що робить його досить трудомістким і, що найважливіше, не гарантує точного визначення профілів ринкових сегментів.

Другий підхід полягає в одночасному аналізі всіх перемінних сегментування. Якщо перемінні мають рівнозначне значення для відображення характеристик споживачів, застосовуються методи багатомірної статистики [5].

Третій метод, який базується на гнучкому сегментуванні, є динамічним процесом, що забезпечує гнучкість у формуванні сегментів на основі аналізу переваг споживачів щодо пропонованих альтернатив послуг. Це здійснюється через комп'ютерне моделювання вибору споживачів. Гнучке сегментування використовує метод спільного аналізу (*conjoint analysis*) [5].

Перевагою цього методу є можливість точного визначення груп споживачів при впровадженні нової послуги на ринок. Однак, серед недоліків можна відзначити високу вартість і складність процедури реалізації, а також можливі похибки при виборі атрибутів тестованих послуг, що суттєво впливає на точність результатів. Крім того, цей метод не враховує зміни в мотивах споживачів, динамічні взаємозв'язки між їх потребами, бажаннями і елементами маркетингового комплексу, якими вони керуються. Це є проблемою для ринків, де спостерігається нестабільність споживчої поведінки, швидка зміна потреб і наявність протиріч між реальними потребами та послугами, що споживаються, під впливом реклами.

Четвертий метод – компонентний аналіз [5], який також базується на складних статистичних методах і вимагає значних обчислювальних потужностей. Він відрізняється від інших підходів тим, що намагається визначити, який тип споживачів найбільше відповідає певним характеристикам послуги. Цей метод має багато спільного з гнучким сегментуванням і може застосовуватися як до споживчого ринку, так і до ринку організацій.

Не існує єдиного універсального методу сегментування ринку. Діячі ринку повинні тестувати різні варіанти сегментації на основі одного або кількох параметрів одночасно, щоб знайти найбільш ефективний підхід для аналізу структури ринку. Кінцевим результатом першого етапу сегментування є створення профілів ринкових сегментів.

Профіль сегмента являє собою набір перемінних сегментування, які набувають конкретних значень для відповідного сегмента, і визначає, які споживачі належать до цього сегмента. Існує два способи визначення множини: через перерахування або за допомогою умов віднесення. Задаючи профіль сегмента через перемінні сегментування, ми визначаємо критерії для віднесення споживачів до конкретного сегмента ринку [6, 7].

Приклад вибору цільових сегментів ринку транспортних послуг і визначення їх конкурентоспроможності за ранговими оцінками і коефіцієнтом значимості наведено нижче. Всі дані у прикладі взяті для орієнтиру.

Крок 1. Визначення цільових сегментів ринку транспортних послуг.

Ринок транспортних послуг можна поділити на такі основні сегменти:

- вантажні перевезення (логістичні компанії, виробничі підприємства, сільське господарство);
- пасажирські перевезення (міський та міжміський транспорт, таксі, туристичні перевезення);
- спеціалізовані перевезення (перевезення небезпечних вантажів, медикаментів, VIP-транспорт, оренда авто з водієм).

Для вибору пріоритетних сегментів використаємо методи рангової оцінки та коефіцієнта значимості.

Крок 2. Формування критеріїв оцінки конкурентоспроможності.

Оцінювання конкурентоспроможності сегментів можна здійснити за такими критеріями:

- розмір ринку (R_i) – частка сегмента на ринку, %;
- темпи зростання ринку (T_i) – середній приріст за останні 3 роки, %;
- конкурентне середовище (C_i) – рівень конкуренції (низький – 3 бали, середній – 2 бали, високий – 1 бал);
- прибутковість (P_i) – рівень рентабельності, %;
- вхідні бар'єри (B_i) – оцінка складності виходу на ринок (низькі – 3 бали, середні – 2 бали, високі – 1 бал).

В табл. 2 наведено приклад рангового оцінювання сегментів.

Рангове оцінювання сегментів

Сегмент	$R_i, \%$	$T_i, \%$	$C_i, \text{бали}$	$P_i, \%$	$B_i, \text{бали}$	Сума рангових оцінок
Вантажні перевезення	35	8	2	15	2	59
Пасажирські перевезення	25	5	1	10	3	44
Спеціалізовані перевезення	40	10	3	20	3	76

Крок 3. Розрахунок коефіцієнта значимості [4].

Коефіцієнт значимості сегмента ($KЗ$) розраховується за формулою

$$KЗ_j = \frac{\sum_{i=1}^n P_{оцi}}{\sum_{j=1}^m P_{оцj}}, \quad (1)$$

де $KЗ_j$ – значення коефіцієнта значимості для i -го сегмента ринку;

$\sum_{i=1}^n P_{оцi}$ – сумарне значення рангових оцінок для i -го сегмента ринку, $i=1, \dots, n$;

$\sum_{j=1}^m P_{оцj}$ – сумарне значення рангових оцінок по всім сегментам, $j=1, \dots, m$.

Приклад обчислення для кожного сегмента:

– вантажні перевезення

$$KЗ_1 = \frac{59}{59 + 44 + 76} = 0,33;$$

– пасажирські перевезення

$$KЗ_2 = \frac{44}{179} = 0,25;$$

– спеціалізовані перевезення

$$KЗ_3 = \frac{76}{179} = 0,42.$$

З даного прикладу видно, що найбільш конкурентоспроможним

сегментом є спеціалізовані перевезення, оскільки він має високі темпи зростання ($KЗ_3 = 0,42$), прибутковість та відносно низький рівень конкуренції. Вантажні перевезення також є перспективними – $KЗ_1 = 0,33$, але мають вищий рівень конкуренції. Пасажирські перевезення менш привабливі через низьку прибутковість та високий рівень конкуренції – $KЗ_2 = 0,25$.

1.2 Методика оцінки вибору виду транспорту і вартісних факторів

У містах послуги з перевезення пасажирів надаються як комунальними підприємствами, так і приватними автобусними перевізниками. Приватні перевізники не здатні забезпечити ринок необхідною кількістю транспортних засобів, не дотримуються графіків руху та не виконують обсягу транспортної роботи, що вимагається. Крім того, їхній рухомий склад вже давно потребує оновлення.

Скорочення кількості автобусів на маршрутах також спричинено технічними несправностями транспорту та нестачею водіїв у автопідприємствах. Часто реальна кількість автобусів на маршрутах не відповідає даним, що зазначені у паспортах міських автобусних маршрутів загального користування, як у робочі дні, так і у вихідні. У зв'язку з цим питання визначення оптимальної кількості транспортних засобів і оновлення парку залишаються актуальними. Приватним підприємствам важко оновити автопарк за власні кошти, і завжди постає питання: як забезпечити фінансування для цього.

Ефективне використання банківських кредитів ускладнене високими відсотками та низькою платоспроможністю більшості автотранспортних підприємств. Залучення інвестицій також є складним процесом. Очікувати на підтримку держави не доводиться, оскільки бюджетні кошти не вистачають навіть на покриття поточної заборгованості за безкоштовний проїзд пільгових категорій населення [8].

Отже, одним із більш реальних варіантів оновлення та поповнення автопарку підприємств може бути фінансовий лізинг.

У роботі розглядаються особливості придбання автобусів за допомогою лізингу відповідно до чинного законодавства та методика оцінки витрат, які супроводжують такі фінансові угоди.

Використання нових комфортабельних автобусів допоможе покращити якість обслуговування пасажирів, привернути додатковий

пасажиropотік, поліпшити техніко-економічні показники роботи маршруту та підприємства в цілому, зменшити кількість зривів рейсів та порушень розкладу руху, а також підвищить конкурентоспроможність на ринку пасажирських перевезень.

Лізинг полягає в передачі майна в користування від власника, який хоче продати майно, але не може отримувати регулярні платежі, до користувача, який не може придбати майно, але готовий орендувати його. Це стає можливим завдяки участі інвесторалізингодавця, який купує об'єкт лізингу у власника і передає його в оренду користувачеві.

Фінансовий лізинг – це форма цивільно-правових відносин, що виникає з договору фінансового лізингу, згідно з яким лізингодавець зобов'язується придбати майно у продавця (постачальника) відповідно до специфікацій, встановлених лізингоодержувачем, і передати його в користування лізингоодержувачу на визначений строк, не менше одного року, за лізинговими платежами [9, 10].

Перевага лізингу полягає в тому, що підприємство може використовувати необхідні засоби виробництва без великих витрат на їх придбання, що дозволяє зберегти фінансові ресурси та уникнути витрат обігових коштів на купівлю дорогих транспортних засобів.

Оцінка ефективності фінансового лізингу полягає в аналізі майбутніх прогнозованих витрат і прибутків [11]. Розрахунок економічної ефективності проекту відбувається за наступною послідовністю.

Витрати на реалізацію проекту включають:

$$V_t = K_t^n + C_t + V_{\text{ит}} + \Pi_t, \quad (2)$$

де V_t – витрати на реалізацію проекту за розрахунковий період, грн.;

K_t^n – капітальні вкладення в придбання рухомого складу у лізинг за розрахунковий період, грн.;

C_t – виплати по позиковому капіталу, грн.;

$V_{\text{ит}}$ – поточні витрати на транспортний процес і організацію роботи маршруту, грн. [12, 13];

Π_t – основні податки і збори, що виплачуються державним і місцевим

Попередньо потрібно визначитися з умовами лізингового договору: термін дії; орендна ставка % на рік; періодичність сплати лі-

зингових платежів (наприклад, наприкінці кожного кварталу); розмір авансового платежу у % від загальної суми лізингового договору, термін корисного використання рухомого складу. Результат розрахунку зручно наводити у табличному виді, табл. 3.

Таблиця 3

Розраховані лізингові виплати на придбання рухомого складу в MS Excel

Квартал	Виплата основного боргу, грн.	Виплата відсотків, грн.	Виплата ПДВ, грн.	Разом по лізингу, грн.
1				
2				
3				
4				
5				
<i>n</i>				
Разом				

Поточна вартість мінімальних орендних платежів нараховується наприкінці кожного кварталу та визначається з урахуванням справедливої вартості рухомого складу за виключенням: витрат на авансовий платіж, суми ПДВ та виплат відсотків лізингодавцю. За цією вартістю установа-лізингоодержувач оприбутковує об'єкт лізингу на баланс. Ліквідаційна і залишкова вартість об'єкта лізингу приймається рівною нулю;

Для зручності можна окремо провести розрахунок виплат основного боргу $V_{обг}$ та витрат по позиковому капіталу C_t використовуючи фінансові функції MS Excel PPMT та IPMT відповідно.

Функція PPMT – повертає розмір виплати для погашення загальної суми за інвестицією за вказаний період на основі постійних періодичних виплат і постійної відсоткової ставки. Що відповідає капітальним вкладенням в рухомий склад.

Функція IPMT – повертає суму сплати відсотків за інвестицією за вказаний період на основі постійних періодичних виплат і постійної відсоткової ставки. Відповідає виплатам за позиковим капіталом.

Функції містять такі аргументи:

– ставка – обов'язковий аргумент. Означає відсоткову ставку за період;

– період – обов'язковий аргумент. Період, для якого слід установити значення (відповідає діапазону значень від 1 до $K_{\text{пер}}$. Наприклад, розрахунок ведеться на кінець 1 або 16 кварталу;

– $K_{\text{пер}}$ – обов'язковий аргумент. Загальна кількість періодів сплати фінансової ренти;

– $Z_{\text{в}}$ – обов'язковий аргумент. Відповідає поточній вартості боргу;

– $M_{\text{в}}$ – необов'язковий аргумент. Майбутня вартість або касовий залишок, якого слід досягти після останньої виплати. Вказується нуль;

– Тип – необов'язковий аргумент. Число рівне 0 або 1, яке визначає час здійснення виплат. Вказати нуль, оскільки виплати здійснюються на кінець періоду.

З останньої строчки таблиці, можна отримати обсяг капіталовкладень та виплати за позиковим капіталом. Дані цієї таблиці необхідні як для визначення поточних витрат на транспортний процес і організацію роботи маршруту, так і для розрахунку тарифу на перевезення одного пасажира.

Третя складова залежності (2) визначається з табл. 3. Окрім загальновиробничих витрат, їх доцільно запросити від замовника для досліджуваних маршрутів. Далі розраховуються витрати на амортизацію.

Для цього потрібно скористатися вбудованою у MS Excel фінансовою функцією SYD (АСЧ). Функція повертає величину амортизації активу за період і розраховується з урахуванням кількості років корисного використання. Містить такі складові:

– початкова вартість активу. Обов'язковий аргумент;

– залишкова вартість. Обов'язковий аргумент. Вартість наприкінці періоду амортизації;

– період експлуатації. Обов'язковий аргумент. Число періодів амортизації активу (або термін корисного використання активу);

– період. Обов'язковий аргумент. Розрахунковий період, часто вимірюється в тих же одиницях, що і корисний період використання.

Спочатку визначається величина амортизаційних відрахувань за весь період корисного використання автобусів. Розрахунки можна представити у табл. 4. Дані вводяться поквартально або сумарно за роками.

Таблиця 4

Розраховані значення амортизації для нових автобусів

Рік експлуатації	1				2				3	4
Амортизація, тис. грн.										

Дані цієї таблиці необхідні як для визначення поточних витрат на транспортний процес і організацію роботи маршруту, так і для розрахунку тарифу на перевезення одного пасажирів на досліджуваному маршруті.

Інші складові формули (2) – податки та збори стане можливим поррахувати після встановлення тарифу на перевезення, що можна зробити скориставшись Методикою [13].

Після визначення всіх показників лізингу та інших витрат важливо провести комплексну оцінку доцільності реалізації такого проекту – придбання нового рухомого складу у лізинг. Це можна зробити за наступними показниками [2, 11].

Показник чистої приведеної вартості. Він показує різницю між сумою дисконтованих вигід і витрат за інвестиційним проектом [1, 2]

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}, \quad (3)$$

де B_t – вигоди за проектом в часовому періоді t ;

C_t – витрати за проектом в часовому періоді t ;

r – ставка дисконту, %.

Наступний критерій – коефіцієнт вигоди-витрати [1, 2]

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}. \quad (4)$$

Відповідно до цих умов доцільність проекту буде підтверджена, якщо вираз (4) буде більшим за 1.

Третій показник – внутрішня ставка доходності IRR [1, 2]

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + IRR)^t} = 0, \quad (5)$$

де IRR – внутрішня ставка доходності (ВНД), %.

Проект буде відхилено, якщо він не забезпечить значення внутрішньої ставки доходу, яке перевищує вартість капіталу за інвестиційним проектом.

Останнім показником визначається період окупності інвестицій.

Необхідні дані для розрахунку показників ефективності подаються у табличній формі, табл. 5.

У лізинговому проекті, грошові надходження є неоднорідними через нерівномірні пасажиропотоки, тому сукупний грошовий потік від діяльності підприємства повинен розраховуватися для кожного року. Виходячи з цього періодом окупності буде відповідний період, коли сукупні грошові потоки стануть рівними початковим грошовим витратам.

Доцільність оновлення рухомого складу буде очевидною якщо потенціал підприємства є фінансово стабільним. Обґрунтована реалізація подібних інвестиційних проектів позитивно вплине на всю діяльність і привабливість підприємства, що дозволить:

- покращити умови та якість надання послуг;
- збільшити позитивні відгуки про обслуговування пасажирів;
- підвищить рівень конкурентоспроможності підприємства;
- підвищить рівень вимог до водіїв для роботи на нових автобусах з метою підбору кваліфікованих, відповідальних та доброзичливих працівників;
- дозволить збільшити кількість перевезених пасажирів та отримати більший прибуток;
- стимулюватиме керівництво покращити рівень надання послуг з метою одержання більшого прибутку та скорішої виплати позикового боргу;
- стимулюватиме керівництво оновити рухомий склад на інших своїх маршрутах для залучення більшої кількості потенційних пасажирів та утримання більшої частки ринку міських автобусних перевезень.

Таблиця 5

Зведені дані для розрахунку показників ефективності проекту

Рік	Витрати, С, грн.	Вигоди, В, грн.	Коефіцієнт дисконтування	Чистий грошовий потік, грн.	Дисконтований, NPV, грн.	Дисконтовані витрати, грн.	Дисконтовані вигоди, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8
0							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
Всього							

Безумовно, досягти таких змін можливо не лише впровадивши інвестиційний проект, а завдяки плідній роботі над маркетинговою та експлуатаційною діяльністю підприємства.

1.3 Дослідження стратегій ціноутворення транспортного підприємства

Стратегія ціноутворення – це підхід, який підприємство використовує для визначення ціни на свої послуги або продукцію з метою досягнення своїх бізнес-цілей. Вона включає аналіз ринкових умов, витрат на виробництво, цільового ринку, конкуренції та інших факторів.

Також не є виключенням застосування цих стратегій в галузі міських і наземних міжміських пасажирських перевезень. Стратегії дозволяють транспортним підприємствам управляти попитом, максимізувати доходи та покращувати задоволення клієнтів.

Дослідження стратегій ціноутворення транспортного підприємства включає аналіз різних підходів до встановлення тарифів на транспортні послуги і включає декілька аспектів:

- на основі витрат на експлуатацію та обслуговування транспорту. Цей метод враховує всі витрати, включаючи паливо, технічне обслуговування, зарплату персоналу та адміністративні витрати;
- на основі аналізу цін, які пропонують конкуренти. Цей підхід враховує ринкові умови та прагне до конкурентоспроможності;
- на основі попиту на транспортні послуги. Цей метод може включати диференційоване ціноутворення в залежності від часу доби, днів тижня або сезонності;
- визначення максимально можливої ціни, яку споживачі готові платити за транспортні послуги, враховуючи еластичність попиту;
- встановлення тарифів з урахуванням соціальних та економічних факторів, таких як доступність транспорту для різних соціальних груп, державні субсидії та регулювання.

При дослідженні стратегій ціноутворення також важливо враховувати законодавчі вимоги, вплив на навколишнє середовище, якість обслуговування та зворотний зв'язок від пасажирів. В роботі проаналізовано дослідження присвячені стратегіям ціноутворення в галузі пасажирських перевезень.

Так в роботі [14] розглянуто кілька ключових завдань та стратегій для покращення сталого розвитку міського транспорту. Документ ви-

світлює роздроблені обов'язки та слабкі адміністративні заходи в управлінні міським транспортом. Зазначається відсутність координації між політикою землекористування та транспортною політикою, особливо у великих громадах з кількома місцевими урядами. Приділяється увага проблемам, пов'язаних з транспортом, таких як забруднення повітря, затори, аварії, шум, зміна клімату, виснаження енергії та відсутність доступності для бідної категорії громадян.

Згадуються такі стратегічні напрямки розвитку транспорту: підвищення ефективності автобусних транспортних систем, розвиток та покращення залізничних систем у містах впровадження технологічних досягнень для покращення транспортних систем, встановлення технічних стандартів і правил експлуатації транспортних систем, використання ринкових стимулів, таких як податки, субсидії та цінові механізми для впливу на транспортну поведінку, інвестування в інфраструктуру та послуги для підтримки сталого транспорту.

Автори [14] пропонують для застосування цих стратегій запозичити досвід країн Глобальної Півночі (США, Канаду, Англію, країни Європейського Союзу, а також Сінгапур, Японію, Південну Корею), адаптуючи успішні заходи до контексту країн Глобального Півдня (Азія, Африка, Латинська Америка та країни Карибського басейну). Ці ідеї та стратегії спрямовані на те, щоб допомогти політикам і дослідникам розробляти більш інтегровані, ефективні та стійкі системи міського транспорту.

В цьому ж документі обговорюються стратегії ціноутворення. Основними пунктами в яких є застосування цінових механізмів, субсидій та стимулів [14].

Пропонується введення податків на паливо, як ефективного методу для зменшення використання автомобілів у міських районах, особливо в мегаполісах з високою кількістю приватних автомобілів та серйозними проблемами з заторами [14].

Введення плати за затори допоможе у великих містах контролювати трафік. Введення податків на транспортні засоби, що базуються на викидах – підійде для міст з низькими адміністративними можливостями, оскільки не вимагає великих витрат на моніторинг або адміністративні витрати [14].

Щодо субсидій на проїзд у громадському транспорті – це позитивно відобразиться на вразливих групах населення.

Ці заходи спрямовані на зменшення використання приватних автомобілів, підвищення ефективності громадського транспорту та

стимулювання екологічно чистих транспортних засобів [14].

В роботі [15] розглядає кілька завдань, пов'язаних з розвитком і вдосконаленням транспортної системи Улан-Батора. Основні завдання включали:

- покращення інфраструктури автобусного транспорту шляхом оновлення систем управління автобусами, включаючи розвиток інтегрованої системи диспетчеризації автобусів та системи електронного квитка;

- розгортання послуг транзиту за запитом. Мається на увазі розробку платформи та пілотне впровадження кількох маршрутів для транзиту за запитом, використовуючи існуючі мікроавтобуси приватних перевізників;

- розробка стратегії сталого міського транспорту, включаючи рекомендації щодо інституційних, фінансових та технічних аспектів, а також заходи щодо управління попитом на транспорт;

- введення систематичного і прозорого процесу планування інвестицій у транспортну інфраструктуру, включаючи нове будівництво та ремонт доріг.

Стратегії ціноутворення та економічні механізми запропоновані у роботі [15] можуть бути застосовані для підтримки міського транспорту.

А саме, впровадження методології планування інвестицій у громадський транспорт з урахуванням витрат протягом життєвого циклу інфраструктури та впровадження субсидій на проїзд у громадському транспорті для вразливих груп населення.

Такі стратегії спрямовані на зниження заторів, підвищення ефективності використання громадського транспорту та стимулювання використання екологічних транспортних засобів.

У дослідженні [16] вирішувались завдання з визначення механізмів ціноутворення для підприємств пасажирського автотранспорту в умовах ринкової економіки, аналіз впливу державного регулювання на ціноутворення та доходність автотранспортних підприємств, розроблено методичні підходи до формування власної цінової політики для автотранспортних підприємств та задачі забезпечення балансу між соціальними функціями пасажирських перевезень та економічною ефективністю підприємств. Документ детально розглядає різні підходи до ціноутворення в сфері пасажирських автоперевезень, акцентуючи увагу на балансі між економічними інтересами підприємств та соціальними зобов'язаннями перед суспільством.

Автор [16] використав такі стратегії ціноутворення:

– контроль за нормою прибутку та зростанням цін. В цьому випадку держава контролює зростання цін на послуги з перевезення, щоб вони не перевищували зростання цін на матеріальні ресурси, такі як паливо та запчастини. Втручання держави також можливе, коли попит на конкретному маршруті не покриває витрат на його обслуговування, що призводить до компенсації витрат автотранспортних підприємств для збереження маршрутної мережі та доступності послуг;

– вільне ціноутворення в умовах конкуренції. У галузях з високим рівнем конкуренції забезпечується вільне ціноутворення, що вимагає від підприємств розробки власних підходів до формування тарифів на перевезення;

– знижки та відстрочка платежів. Для стимулювання попиту підприємства можуть застосовувати знижки для певних категорій споживачів або відстрочувати кінцевий розрахунок для постійних клієнтів. Це дозволяє максимізувати прибуток та збільшити обсяги перевезень;

– компенсації з боку держави. Держава може надавати компенсації автотранспортним підприємствам для підтримання соціального ефекту та забезпечення доступності транспортних послуг на збиткових маршрутах.

Робота [16] окреслює важливі аспекти фінансового механізму роботи підприємств пасажирського автотранспорту, але недосконалість законодавства та недостатня підтримка з боку держави обмежують ефективність впровадження запропонованих стратегій. Ці проблеми потребують додаткового дослідження та вирішення для забезпечення стабільної і ефективної роботи автотранспортних підприємств.

Проведений аналіз допоміг виділити декілька видів стратегій ціноутворення на міському пасажирському транспорті. Перший вид – соціальне ціноутворення. Направлений на забезпечення доступності транспорту для населення з низьким рівнем доходу. Це може бути впроваджено шляхом зниження тарифів для студентів, пенсіонерів та інших категорій населення. Використати при цьому субсидії або державне фінансування. Другий вид – інтермодальне ціноутворення. Виходячи із назви передбачає заохочення використання декількох видів транспорту. Наприклад, шляхом впровадження єдиного квитка для користування автобусами, трамваями, метро. Реалізація цієї стратегії дозволить пасажирам пересідати з одного виду транспорту на інший без додаткової оплати.

Третій вид стратегії – динамічне ціноутворення з метою оптимізації доходів і регулювання попиту на транспортні послуги. Наприклад, впровадження варіації тарифів залежно від часу доби, дня тижня або завантаженості маршрутів. Реалізація можлива при використанні технологій для аналізу попиту і автоматичного коригування цін на проїзд.

Четвертий вид – маржинальне ціноутворення з метою забезпечення оптимального використання ресурсів і покриття змінних витрат. Наприклад, встановлення тарифів на перевезення на основі маржинальних витрат з урахуванням попиту та пропозиції. Тобто робити розрахунок тарифів, які відображають реальні витрати на додаткового пасажирів, стимулюючи ефективно використання транспорту.

Такі стратегії допоможуть органам місцевого самоврядування та транспортним організаціям досягати балансу між забезпеченням доступності транспорту для населення та забезпеченням фінансової стійкості транспортних систем.

Для оцінки доцільності введення будь-якої з описаних стратегій ціноутворення на міському пасажирському транспорті, необхідно провести кілька ключових досліджень.

Аналіз попиту та пропозиції дозволить визначити реальні потреби населення в транспортних послугах. Допоможе в цьому проведення опитування пасажирів, аналіз транспортних потоків, вивчення часового розподілу попиту.

Соціально-економічний аналіз населення дозволить оцінити доходи та соціальний статус різних груп населення.

Аналіз фінансової стійкості транспортних підприємств дозволить оцінити поточний фінансовий стан та здатності до самофінансування. Провести такий аналіз можливо за допомогою фінансового аудиту, аналізу витрат та доходів, прогнозування фінансових показників.

Проведення техніко-економічного обґрунтування з метою визначення витрат на впровадження нових систем тарифікації та очікуваних доходів застосувавши аналіз витрат на технології та провівши розрахунок економічної ефективності.

Проведення аналізу правового середовища для визначення можливостей та обмежень з боку чинного законодавства. Дозволить визначити, які законодавчі зміни можуть бути необхідні для впровадження певних стратегій.

Дослідження задоволеності пасажирів для виявлення ставлення пасажирів до поточних тарифів та можливих змін шляхом опитувань

фокус-груп, аналізу скарг та пропозицій.

Для проведення вказаних досліджень можна залучати університети, дослідницькі інститути, аналітичні компанії та інші експертні організації. Також важливо залучати до процесу планування та впровадження нових стратегій місцеві органи влади, громадські організації та самих пасажирів, щоб забезпечити максимальну відповідність нових тарифів реальним потребам і можливостям населення.

Ці дослідження допоможуть зробити обґрунтоване рішення щодо впровадження певної стратегії ціноутворення, що дозволить оптимізувати роботу міського пасажирського транспорту і забезпечити його доступність та ефективність.

1.4 Теоретичні основи планування комплексу заходів маркетингу на транспортному ринку

Ефективне планування маркетингових заходів для розвитку транспортного ринку сприяє підвищенню конкурентоспроможності та задоволенню потреб споживачів. Комплекс маркетингу адаптується до специфіки транспортних послуг, враховуючи їхні особливості та виклики [4].

Підсумовуючи вищевикладене доцільно виділити специфічні характеристики транспортних послуг:

- надання та споживання транспортної послуги відбуваються одночасно;
- якість послуги може варіюватися залежно від умов перевезення та людського фактору;
- транспортні послуги не можна зберігати для подальшого використання.

У транспортному секторі застосовуються різні маркетингові концепції, такі як [17]: концепція вдосконалення виробництва, яка орієнтована на підвищення ефективності та зниження витрат для забезпечення доступних цін; концепція вдосконалення послуги, оскільки головною метою залишається фокус на покращенні якості та надійності транспортних послуг; концепція інтенсифікації комерційних зусиль, тому що акцент робиться переважно на активному просуванні та стимулюванні продажів послуг; концепція соціально-етичного маркетингу, яка направлена на урахування суспільних інтересів, екологічних аспектів та безпеки.

Планування комплексу маркетингових заходів на транспортному

ринку починається з аналізу ринку та його сегментації [2, 4]. Глибокий аналіз ринку дає відповіді на питання про економічну ситуацію, законодавче регулювання, технологічні тенденції, про конкурентне середовище, а також дозволяє зрозуміти потреби споживачів, сезонність та тенденції попиту. Сегментація транспортного ринку була розглянута вище але у підсумку її можна згрупувати по трьом критеріям: географічний (міські, міжміські, міжнародні перевезення), демографічний (вік, стать, соціальний статус користувачів), поведінковий (частота використання послуг, лояльність клієнтів).

Наступним заходом є розробка «продукту», тобто послуги перевезення яка має відповідати безпеці та надійності, комфорту і певним додатковим послугам, наприклад страхування.

Після цього досліджують і застосовують цінову політику яка враховує витрати (пальне, амортизація, зарплати ін.), конкуренцію (ціни конкурентів, еластичність попиту), попит (сезонність, пікові періоди). Далі обирають потрібну стратегію ціноутворення.

Визначившись із ціновою політикою потрібно обрати канал розподілу послуг: власні офіси продажу (каси, представництва), онлайн-платформи (веб-сайти, мобільні додатки), агенства або посередники.

Останнім заходом маркетингу на транспортному ринку буде просування послуг, що включає рекламу на різних платформах, PR-заходи (прес-релізи, участь у виставках, вебінарах, конференціях та ін.), реалізацію програми лояльності для клієнтів.

Отже, ефективне планування комплексу маркетингових заходів на транспортному ринку є невід'ємною частиною його розвитку, оскільки сприяє підвищенню якості послуг, оптимізації витрат та створенню довгострокових конкурентних переваг. Поєднання глибокого аналізу ринку, грамотного сегментування споживачів, розробки оптимальної цінової політики, вибору ефективних каналів розподілу та використання сучасних методів просування дозволяє транспортним компаніям не лише задовольняти актуальні потреби клієнтів, а й формувати новий попит, стимулюючи розвиток галузі.

З урахуванням динамічних змін у сфері транспорту та логістики, зокрема впливу цифрових технологій, глобалізації та екологічних викликів, маркетингові стратегії потребують гнучкості й інноваційного підходу. Впровадження цифрових платформ, використання штучного інтелекту для прогнозування попиту, інтеграція екологічно чистих транспортних рішень та персоналізований підхід до клієнтів – усе це визначатиме майбутнє маркетингу на транспортному ринку.

1.5 Дослідження місця і ролі транспортно-експедиторського обслуговування в системі маркетингу на транспорті

Транспортно-експедиторське обслуговування (ТЕО) є ключовим елементом логістичних процесів та займає важливе місце у системі маркетингу транспортних послуг [18]. Воно включає організацію та супровід перевезень, оформлення документації, страхування вантажів, контроль термінів доставки та оптимізацію маршрутів. Основною метою ТЕО є створення ефективного механізму, що дозволяє мінімізувати витрати, підвищити рівень сервісу та забезпечити якість транспортування.

Транспортний маркетинг спрямований на формування стійкого попиту на послуги перевезення, їх просування та управління взаємодією з клієнтами [17, 18]. У цьому контексті транспортно-експедиційні компанії виступають як посередники між вантажовідправниками та перевізниками, сприяючи ефективному використанню транспортних ресурсів та зниженню ризиків логістичних операцій.

Роль ТЕО в транспортному маркетингу визначається його впливом на [19, 20]:

- сегментацію ринку перевезень. Експедиторські компанії допомагають ідентифікувати потреби клієнтів та формують оптимальні пропозиції для різних категорій вантажовідправників;
- конкурентоспроможність транспортних компаній. Ефективне експедиторське обслуговування підвищує рівень надання послуг, знижує витрати на логістику та покращує якість перевезень;
- оптимізацію транспортних процесів. Експедитори використовують цифрові рішення для моніторингу маршрутів, планування перевезень та контролю за виконанням замовлень;
- формування вартості перевезень. Включення експедиторських послуг до загальної вартості транспортного обслуговування дозволяє забезпечити економічну ефективність як для перевізників, так і для клієнтів.

Сучасні експедиторські компанії активно застосовують маркетингові стратегії для залучення клієнтів та просування своїх послуг. Основними інструментами є: CRM-системи для управління взаємовідносинами з клієнтами та персоналізація послуг; цифрові платформи (онлайн-сервіси для бронювання та відстеження перевезень); програми лояльності (знижки та спеціальні умови для постійних клієнтів).

Ціноутворення в експедиторській діяльності враховує витрати на

організацію перевезень та додаткові послуги, конкурентний рівень тарифів на транспортному ринку, гнучкість у виборі транспортних засобів та маршрутів, динамічну зміну попиту на логістичні послуги [21].

Також важливо формувати довіру до експедиторських компаній, яка відіграє важливу роль у їх конкурентоспроможності. Для цього необхідно забезпечити прозорість процесу перевезень, надійність виконання зобов'язань, якісний клієнтський сервіс та швидке реагування на запити.

Маркетингові стратегії в транспортно-експедиційному обслуговуванні на сьогодні зосереджені на інноваціях, цифровізації, персоналізації послуг та покращенні клієнтського досвіду. Використання сучасних технологій для автоматизації процесів дозволяє значно знижувати витрати та підвищувати ефективність роботи. Впровадження програм лояльності та CRM-систем дає можливість покращити взаємодію з клієнтами, зміцнюючи довгострокові стосунки та зберігаючи конкурентоспроможність.

Іноземні компанії, такі як DHL, Kuehne+Nagel, FedEx та Maersk, активно інтегрують новітні технології, що дозволяє їм залишатися лідерами на глобальному ринку. Українські транспортно-експедиційні компанії також впроваджують ефективні маркетингові стратегії, зокрема для залучення нових клієнтів і підвищення лояльності існуючих [22].

Один з яскравих прикладів такої стратегії – компанія Нова Пошта, яка є однією з найбільших в Україні у сфері доставки вантажів та експрес-доставки [23-25]. Вона активно використовує різноманітні маркетингові інструменти, зокрема цифрові платформи. Мобільний додаток та онлайн-платформа дозволяють клієнтам відслідковувати посилки, бронювати доставку та оформляти документи для відправлення, що забезпечує зручність і ефективність для кінцевих користувачів. Компанія також пропонує програми лояльності та знижки для постійних клієнтів, а активна присутність у соціальних мережах дозволяє зберігати зв'язок з клієнтами та швидко реагувати на їх запити.

Інші компанії, такі як Meest Express, Інтайм і ТММ Express, також активно використовують цифрові платформи для спрощення процесу оформлення відправлень і відстеження посилок у реальному часі. Вони розробляють індивідуальні послуги, пропонують персоналізовані умови для клієнтів та активно працюють через соціальні ме-

режі.

Попри досягнення, українські транспортно-експедиційні компанії стикаються з низкою проблем, які можуть обмежувати ефективність їх маркетингових стратегій [26]:

– недостатній розвиток цифрових платформ. Не дивлячись на те, що багато великих компаній активно використовують цифрові рішення, більшість малих та середніх компаній, особливо в регіонах, ще не мають розвинутих онлайн-платформ. Це обмежує їх здатність залучати молодших клієнтів та ефективно моніторити логістичні процеси;

– низька довіра до онлайн-сервісів. В Україні рівень довіри до онлайн-платежів та електронних сервісів все ще нижчий, ніж у розвинених країнах. Це створює труднощі для компаній, які орієнтуються на онлайн-продажі та послуги;

– складнощі з конкуренцією та диференціацією послуг. Багато українських компаній надають схожі послуги, що ускладнює їх диференціацію на ринку. Для ефективного маркетингу необхідно чітко виділятися серед конкурентів, проте це в умовах жорсткої конкуренції є великим викликом;

– нестабільність економіки та її вплив на ціноутворення. Коливання валютного курсу та високі витрати на паливо можуть змушувати компанії коригувати ціни, що ускладнює планування маркетингових кампаній;

– проблеми з інфраструктурою та логістикою. Нерозвинена дорожня мережа та проблеми з транспортним обслуговуванням в деяких регіонах обмежують ефективність компаній у наданні послуг, що впливає на маркетингові стратегії, орієнтовані на швидкість та якість доставки;

– неопрацьованість брендівих стратегій. Багато українських компаній не мають чітко сформульованих брендівих стратегій, що обмежує їх здатність залучати нових клієнтів і створювати впізнаваність на ринку;

– недостатня персоналізація послуг. У той час як деякі великі компанії активно використовують персоналізацію послуг, багато менших компаній обмежуються стандартними пропозиціями, що знижує їх конкурентоспроможність;

– використання традиційних каналів комунікації. Попри розвиток цифрових технологій, деякі компанії досі активно використовують традиційні канали комунікації, що обмежує їх ефективність у сучас-

ному цифровому середовищі;

– низький рівень клієнтського сервісу. Нерідко компанії не приділяють достатньої уваги якості клієнтського сервісу, що є важливим елементом маркетингової стратегії і може значно вплинути на репутацію компанії та її здатність утримувати клієнтів.

Для підвищення конкурентоспроможності компаніям необхідно зосередитися на вирішенні цих проблем, удосконаленні маркетингових стратегій та розвитку нових підходів до обслуговування клієнтів.

Також ТЕО є важливою частиною загального ланцюга поставок, і його ефективність безпосередньо впливає на загальну результативність логістичних процесів. Ланцюг постачання включає в себе кілька етапів [18]:

– взаємодія зі складами для забезпечення своєчасного транспортування товарів після їх зберігання та оптимального управління запасами;

– якщо перевезення здійснюється через кордони, важливо враховувати митні процедури та необхідність надання відповідної документації;

– забезпечення доставки до кінцевих клієнтів, інтегруючи різні види транспорту (автомобільний, залізничний, авіаційний) для забезпечення ефективної доставки;

Така взаємодія з іншими ланками ланцюга постачання дозволяє мінімізувати затримки, знижує витрати на зберігання товарів та дозволяє своєчасно реагувати на потреби клієнтів.

В свою чергу, стійкість ланцюга поставок є важливим аспектом для забезпечення безперервності та надійності доставки товарів. ТЕО може відігравати важливу роль у цьому процесі.

По-перше, у випадку політичних або економічних нестабільностей, ТЕО допомагає швидко переналаштувати ланцюг поставок, використовуючи альтернативні маршрути та методи транспортування. Це може включати зміну маршрутів через країни, які зазнали політичних чи економічних потрясінь.

По-друге, ТЕО допомагає мінімізувати вплив зовнішніх факторів, наприклад, митних спорів чи змін в правилах торгівлі, завдяки активній співпраці з міжнародними організаціями та відстеженню змін у міжнародних угодах.

Варто відмітити і те, що міжнародні перевезення часто стикаються з різними викликами.

Кожна країна має свої митні процедури, тарифи та правила щодо

перевезення товарів. ТЕО повинно враховувати ці вимоги при плануванні транспортування через кордони.

Також, валютні коливання можуть сильно впливати на вартість перевезень, особливо якщо товари доставляються через кілька країн з різними валютами.

Проблеми з митним оформленням, затримки через несвоєчасну подачу документів або конфлікти між державами можуть призвести до значних затримок у доставці. Тому, транспортно-експедиційні компанії повинні мати відповідний досвід і технології для ефективного управління цими ризиками та забезпечення безперебійного обслуговування клієнтів.

Транспортно-експедиційна галузь активно змінюється завдяки інноваціям та новим технологіям. Впровадження автоматизованих систем для планування маршрутів, моніторингу транспорту та управління документацією значно знижує витрати і час, необхідний для виконання перевезень.

Блокчейн-технології дозволяють забезпечити прозорість в обміні інформацією між учасниками ланцюга постачання, знижуючи ризики шахрайства та затримок. В Україні ця технологія поступово інтегрується в транспортну логістику. Зокрема, дослідження вітчизняних науковців акцентують увагу на перевагах блокчейну для оптимізації логістичних процесів та підвищення довіри між учасниками ринку [27].

Аналіз великих даних (Big Data) допомагає прогнозувати попит на перевезення, оптимізувати маршрути і знижувати витрати на логістику. Аналітика даних стає важливою складовою управління логістичними процесами і в Україні. Вона базується на методах обробки та аналізу великих обсягів даних з метою виявлення корисних зв'язків та закономірностей у функціонуванні логістичних систем. Однак, впровадження аналітики великих даних у логістиці України все ще стикається з певними проблемами та викликами. Це вимагає адаптації до нових технологій та реалій ринку [28].

Технології автономних вантажівок та дронів можуть змінити саму природу транспортування, зменшуючи потребу в водіях і підвищуючи ефективність перевезень. В Україні використання автономних вантажівок знаходиться на етапі тестування [29].

Так, компанія Нова Пошта ще у 2015 році презентувала концепцію локальної доставки з використанням дронів, передбачаючи відкриття мобільних депо з майданчиками для посадки дронів та доставкою посилок між ними протягом 3 годин [30].

Зростаюча увага до сталого розвитку та екологічної відповідальності стає важливою частиною маркетингових стратегій в транспортно-експедиційній галузі [31].

Зелені технології – це про використання електричних транспортних засобів, впровадження систем моніторингу викидів та використання альтернативних джерел енергії знижують екологічний вплив логістичних процесів.

Перехід до екологічно чистих матеріалів для упаковки та транспортування товарів стає важливим елементом корпоративної соціальної відповідальності.

Клієнти все більше звертають увагу на екологічну відповідальність компаній, тому сертифікація за стандартами, такими як ISO 14001, може стати конкурентною перевагою для експедиторських компаній [32].

Великі міжнародні компанії, як DHL та FedEx, мають доступ до величезних ресурсів і можуть пропонувати широкий спектр послуг, часто за нижчими цінами завдяки ефекту масштабу [33]. Водночас малі та середні компанії стикаються з низкою проблем, такі як:

- обмежені ресурси для інвестицій в технології. Великі компанії можуть дозволити собі впроваджувати новітні технології, тоді як малим компаніям часто важко здійснювати такі інвестиції;

- конкуренція за клієнтів. Малим компаніям складно змагатися з великими, але вони можуть знайти свою нішу, пропонуючи персоналізовані послуги та орієнтуючись на регіональні особливості;

- гнучкість і швидкість реагування. Малі компанії часто можуть швидше реагувати на зміни в попиті або на потреби клієнтів завдяки більш гнучким структурам.

У підсумку можна сказати, що грамотне транспортно-експедиційне обслуговування є невід’ємною складовою маркетингової стратегії на транспортному ринку. Воно сприяє підвищенню конкурентоспроможності перевізників, оптимізації логістичних процесів та формуванню довгострокових відносин із клієнтами. Впровадження цифрових технологій, розвиток інноваційних сервісів та персоналізація послуг (індивідуальні тарифи, спеціалізовані пропозиції) є ключовими напрямками вдосконалення не тільки ТЕО, а й будь-якого учасника транспортного ринку, що дозволить українським компаніям не лише ефективно конкурувати на внутрішньому ринку, а й інтегруватися у міжнародні логістичні системи. Подальший розвиток цієї сфери залежить від здатності компаній адаптуватися до змін у глобальній

економіці, використовувати сучасні маркетингові підходи та забезпечувати високий рівень сервісу для своїх клієнтів.

Таким чином, вибір та реалізація маркетингових заходів у транспортній сфері не лише забезпечить економічний розвиток компаній, а й сприятиме загальному вдосконаленню транспортної інфраструктури, підвищенню якості послуг і задоволенню потреб суспільства в ефективному та безпечному транспортному обслуговуванні.

Список літератури до підрозділу 1.2

1. Пан М. П., Коненко В. В. Проектний аналіз: конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 051 – Економіка / М. П. Пан, В. В. Коненко. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 95 с.
2. Марунич В.С., Шморгун Л.Г. та ін. Організація та управління пасажирськими перевезеннями: підручник / за ред. В.С. Марунич, Л.Г. Шморгуна. Київ: Міленіум, 2017. 528 с.
3. Слободяник Ю.Б. Фінансовий механізм функціонування підприємств пасажирського автотранспорту в сучасних умовах. Суми: УАБС НБУ, 2007. 162 с.
4. Зоріна О. І., Волохов В. А., Волохова І. В. та ін. Маркетинг транспортних послуг: навч. посібник / за ред. О. І. Зоріної. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 305 с.
5. Полторак В. А., Тараненко І. В., Красовська О. Ю. Маркетингові дослідження: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2014. 342 с.
6. Ареф'єва, О. В., Сафонік, Н. П., Дудік, А. О. *Стратегічний аналіз розвитку транспортних підприємств в умовах інноваційних тенденцій. Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління.* 2023. № 7. С. 13–20.
7. Лаврова Ю. В., Горovий Д. А., Касатонова І. А. Маркетингова діяльність підприємств транспортного ринку: навчальний посібник. Харків: Вид-во ХНАДУ, 2014. 351 с.
- 8 Слободяник Ю. Б. Фінансовий механізм функціонування підприємств пасажирського автотранспорту в сучасних умовах. Суми: УАБС НБУ, 2007. 162 с.
- 9 Слободяник Ю. Б. Фінансовий лізинг в галузі пасажирського автотранспорту // *Фінансово-кредитна система України: проблеми та шляхи їх вирішення*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених. Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2003. С. 184–186.
- 10 Про фінансовий лізинг: Закон України від 14.12.2021 № 1953-IX.

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1201-20#Text> (дата звернення: 01.05.2023).

11 Клименко О. В. Методика розрахунку лізингових платежів в Excel. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. 2012. № 9. С. 498–504.

12 Палієнко І. В. Аналіз сучасних методик оцінки ефективності лізингових операцій. *Актуальні проблеми економіки та управління*. 2012. Вип. 6. 8 с.

13 Про затвердження Методики розрахунку тарифів на послуги пасажирського автомобільного транспорту: наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 17.11.2009 № 1175 (із подальшими змінами та доповненнями). Дата оновлення: 20.03.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1146-09#Text> (дата звернення: 01.05.2023).

14. Pojani D., Stead D. Policy design for sustainable urban transport in the global south. *Policy Design and Practice*. 2018. Vol. 1(2). P. 90–102. <https://doi.org/10.1080/25741292.2018.1454291>.

15. Ulaanbaatar sustainable urban transport project : Project appraisal document / International bank for reconstruction and development. Washington: IBRD, 2021. 93 p.

16. Слободяник Ю.Б. Фінансовий механізм функціонування підприємств пасажирського автотранспорту в сучасних умовах. Суми: УАБС НБУ, 2007. 162 с.

17. Аксьонов І.М., Ейтутіс Г.Д., Кравцов Є.П., Веприцький Р.С. Рязанцев А.В. та ін. Маркетинг транспортних послуг: навчальний посібник. Ніжин: Лисенко М. М., 2018. 279 с.

18. Зоріна О.І., Волохов В.А., Волохов І.В., Дергоусова О.А., Сиволовська О.В., Мкртич'ян О.М, Гончаренко Д.С. Маркетинг транспортних послуг: навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2018. 305 с.

19. Валявська Н. О., Корнійко Я. Р., Філін О. А. Шляхи вдосконалення діяльності і транспортно-експедиторських підприємств в умовах розвитку інформаційних технологій. *Економіка транспорту і зв'язку*. 2024. №5. С. 168–174. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-5-168-174>

20. Гаврилко Т. О., Сафонова Т. І. Транспортно-експедиторські послуги: чинники впливу та напрями підвищення якості. *Проблеми підвищення ефективності інфраструктури*. 2011. № 29. С. 111–117.

21. Кібік О.М., Романенко К.М. Особливості формування цін на комплексні послуги транспортно-експедиторських компаній. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. 2010. №1. С. 19–23.

22. Freight forwarder Kuehne+Nagel to open new site at Texas-Mexico border : стаття. URL: https://www.reuters.com/business/freight-forwarder-kuehnenagel-open-new-site-texas-mexico-border-2025-03-18/?utm_source (дата звернення: 19.03.2025)
23. Аналіз маркетингової діяльності ТОВ «НОВА ПОШТА» : стаття. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/> (дата звернення: 19.03.2025)
24. Формування та реалізація маркетингової діджитал стратегії ТОВ «Нова Пошта» : стаття. URL: <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/> (дата звернення: 19.03.2025).
25. Маркетингові стратегії підприємства у сфері послуг (за матеріалами ТОВ «Нова пошта», м. Варва) : стаття. URL: https://ur.knute.edu.ua/items/824290bf-7f0b-4b58-93c4-9edb2265c95a/full?utm_source (дата звернення: 19.03.2025).
26. Саюн А. О. Маркетингова діяльність транспортно-експедиційного підприємства : автореф. дис. ... канд. екон. наук. : 08.00.04. Київ, 2007. 21 с.
27. Жиглей І. В., Козир В. І. Обліково-аналітичне забезпечення відповідального управління ланцюгами постачання за умови використання технології блокчейн. *Економіка, управління та адміністрування*. 2023. Вип. №4 (106). С. 60–68.
28. Використання великих даних (big data) в логістичних операціях : стаття. URL: <https://allylogistic.com> (дата звернення: 19.03.2025).
29. Галузева стратегія: безпілотні технології та автономні системи (AUV) : стаття. URL: <https://winwin.gov.ua/assets/files/> (дата звернення: 19.03.2025).
30. Нова Пошта хоче доставляти товари за допомогою дронів : стаття. URL: https://inspired.com.ua/stream/nova-poshta-drones/?utm_source (дата звернення: 19.03.2025).
31. Уряд зобов'язав СГ встановити системи моніторингу викидів : стаття. URL: https://news.dtki.ua/state/other/82582-uriad-zoboviazav-sg-vstanoviti-sistemi-monitoringu-vikidiv?utm_source (дата звернення: 19.03.2025).
32. ISO 14001: 2015 – що варто знати? : стаття. URL: <https://www.qualityaustria.com.pl/ua/aktualnosci/iso-140012015> (дата звернення: 19.03.2025).
33. Modern Perspectives on Global Scientific Solutions : матеріали конференції. <https://surl.lu/gtlhvn> (дата звернення: 20.03.2025).

1.3 Оцінка впливу функціонування транспортної системи на екологічну ситуацію в великих і середніх містах

Т.Т. Токмиленко

старша викладачка кафедри
транспортних систем і логістики ХНАДУ

Високі темпи автомобілізації останніх десятиліть в Україні ведуть до перерозподілу навантаження між різними видами транспорту всередині регіональних транспортних систем. Подібна ситуація веде до зниження ефективності функціонування транспортних систем міст і регіонів, різкого ускладнення дорожньої обстановки, погіршення умов руху, збільшення витрат палива і як наслідок – погіршення екологічної обстановки. Сучасне місто – це складна система, всі елементи якої взаємопов'язані. Зміни, внесені до одного з них тягнуть за собою зміни всіх компонентів системи в цілому. Міське середовище, як система життєзабезпечення, має задовольняти соціальні, економічні, естетичні та екологічні потреби людини які найліпше забезпечують безпечне, якісне, екологічне існування. У сучасних містах має місце значна концентрація населення, транспортних засобів і промислових підприємств на відносно малих територіях, з формуванням екологічно незбалансованих антропогенних ландшафтів, що стає причинами екологічних проблем. Викиди шкідливих речовин від стаціонарних і пересувних джерел забруднення, їх тривалий вплив може викликати серйозні захворювання легенів і верхніх дихальних шляхів тощо. Ці проблеми особливо актуальні у великих містах, де викиди шкідливих речовин часто перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК). В результаті розвитку промисловості та транспортної інфраструктури в містах стаціонарні джерела забруднення розташовані настільки густо, що забруднені території часто перекриваються, утворюючи несприятливі та навіть небезпечні для життя зони. Повітря великих промислових міст з інтенсивним трафіком становить загрозу здоров'ю міського населення. У зв'язку з тим, що атмосферне повітря є так званим посередником забруднення всіх інших природних середовищ, він сприяє трансформації значних мас забруднень на великі площі, представляючи велику небезпеку забруднення атмосфери. Величина та концентрація забруднюючих речовин в атмосферному повітрі залежать від метеорологічних умов, циркуляції атмосфери, панівних вітрів, аерації місцевості тощо, які визначають трансформацію, концен-

трацію та розсіювання домішок у ньому. Мобільні джерела, такі як автомобільний транспорт, також вносять значний внесок у рівень забруднення, при цьому щільність транспорту постійно зростає. При цьому треба зазначити, що робота зі зниження негативного впливу автомобільного транспорту на довкілля виявляється недостатньою.

Аналіз обсягів викидів показує, що основна частка навантаження на атмосферне повітря у більшості великих і середніх міст України посідає функціонування транспортних засобів, викиди яких значно перевищують загальні викиди промислових підприємств та інших об'єктів. Викиди залізничного, автомобільного транспорту та автодорожнього комплексу містять в основному забруднювачі 3-го та 4-го класів небезпеки. З речовин першого класу небезпеки переважають сполуки свинцю. Збільшення обсягів викидів автотранспортом обумовлено зростанням споживання та наявністю частки палива, що спалюється, низької якості. Частка відпрацьованих газів автомобілів у забрудненні атмосферного повітря міста змінюється залежно від часу доби і пропорційна інтенсивності транспортного потоку. Мінімальні рівні шкідливих речовин спостерігаються в нічний час, максимальний – у години пік. Кількість транспорту, що працює із приводом від спалювання вуглеводнів збільшується, а електротранспорту (трамваї, тролейбуси) – в багатьох містах скорочується. Часто як паливо використовують етилований бензин, при цьому нейтралізатори газів, що відпрацювали, не застосовують. Основний парк автомобільного транспорту має застарілі параметри, якість бензину та дизельного палива не завжди відповідає стандартам. У масштабах країни викиди автомобільного транспорту значно перевищують викиди інших видів транспорту, і становлять порядку 90 % від усіх викидів транспорту [1]. Головним джерелом забруднення атмосферного повітря в центральній частині міст в Україні є саме автомобільний транспорт.

В той же час в провідних країнах світу за останні 60 років спостерігалось значне скорочення викидів твердих частинок (PM), оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів (HC_s), діоксиду сірки (SO₂) і свинцю (Pb) [2]. Удосконалені технології обробки викидів були розроблені для бензинових і дизельних транспортних засобів [3], щоб відповідати дедалі суворішим нормам, що забезпечує абсолютне скорочення викидів від автомобільного парку, незважаючи на збільшення пробігу автомобіля. У результаті зменшення викидів від транспортних засобів та інших джерел якість повітря в містах США та Європи значно покращилася [4-5]. Технічне вдосконалення систем

впорскування палива дозволяє точніше контролювати паливно-повітряні суміші, необхідні для контролю незгорілих вуглеводнів під час згоряння та ефективної роботи каталітичних нейтралізаторів. Система впорскування палива (PFI) використовувалася в більш ніж 90 % двигунів з іскровим запалюванням (SI), проданих з 1995 по 2010 рік, а зараз PFI замінюється безпосереднім уприскуванням (DI), кількість яких зростає з 8 % у 2010 році до 57 % нових бензинових автомобілів, продано в США в 2020 році [6]. Після впровадження системи контролю, який почався в 1970-х роках, викиди від випаровування з легкових автомобілів наразі зменшилися в приблизно в 100 разів [7-8]. Завдяки дедалі суворішим нормам щодо викидів, сукупний ефект удосконалення конструкції двигуна, паливних систем, каталітичних систем контролю викидів, сенсорної технології та електронних систем керування двигуном, а також зміни складів палива призвів до вражаючого зниження викидів автомобіля.

Університет Денвера проводив оптичне дистанційне вимірювання викидів транспортних засобів на дорозі протягом 30 років у Лос-Анджелесі [9] та понад 20 років у Чикаго [10]. Техніка дистанційного зондування вимірює співвідношення CO, HC, NO, SO₂, NH₃ і NO₂ до CO₂ у вихлопних газах окремих транспортних засобів, коли вони проїжджають повз обладнання для моніторингу. Відеокамера фіксує інформацію про номерний знак автомобіля, за якою можна визначити модельний рік автомобіля. Дані досліджень демонструють значний прогрес, досягнутий у скороченні викидів за останні 60 років. Дистанційні вимірювання можна використовувати для виявлення транспортних засобів із високим рівнем викидів у автопарку для перевірки та технічного обслуговування.

Оборот парку транспортних засобів, дедалі суворіші норми викидів (такі як Tier 3 у США, LEV III у Каліфорнії, Euro 6 у Європі та майбутні правила в тих самих регіонах), а також широкомасштабне впровадження електричних транспортних засобів приведе до ще нижчих викидів і подальшого покращення якості повітря.

Аналіз стану проблеми та проведені попередні дослідження дозволили встановити, що в умовах наростаючих («вибухових») темпів автомобілізації, моторизації та роудізації країни вирішення проблеми забруднення атмосфери міст можливе за допомогою створення ефективних систем моніторингу впливу автотранспортних потоків на забруднення атмосферного повітря, результати якого дозволять приймати управлінські рішення щодо оптимізації всіх складових системи

Водій – Автомобіль – Дорога. Вироблення подібних рішень не можливе без наявності якісної інформаційної основи.

Посилення контролю за дотриманням стандартів вмісту небезпечних хімічних речовин у довкіллі, забруднення та отруєння повітря є найважливішою задачею щодо Стратегії сталого розвитку України до 2030 року [3]. У Національній стратегії екологічної політики до 2030 року закладені ключові показники ефективності для України.

Моніторинг атмосферного повітря – це система спостережень за станом атмосферного повітря, а також оцінка та прогноз основних тенденцій зміни якості атмосферного повітря з метою своєчасного виявлення негативних впливів природних та антропогенних факторів [11-13].

Мета моніторингу:

- забезпечення збору, обробки, збереження та аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища;
- прогнозування його змін;
- розробка науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття ефективних управлінських рішень.

Принципи системи моніторингу:

- узгодженість нормативно-правового та організаційно-методичного забезпечення, сумісності технічного, інформаційного і програмного забезпечення її складових частин;
- систематичність спостережень за станом довкілля та техногенними об'єктами, що впливають на нього;
- своєчасність отримання, комплексність оброблення та використання екологічної інформації, що надходить і зберігається в системі моніторингу;
- об'єктивність первинної, аналітичної і прогнозної екологічної інформації та оперативність її доведення до органів державної влади, органів місцевого самоврядування, громадських організацій, засобів масової інформації, населення України, заінтересованих міжнародних установ та світового співтовариства.

Об'єкти моніторингу:

- кількісні, якісні характеристики природних ресурсів, обсяги, характер та режим їх використання (шляхом ведення державних кадастрів природних ресурсів);
- об'єкти, що шкідливо впливають або можуть вплинути на стан навколишнього природного середовища;

- види та кількість шкідливих речовин, що потрапляють у навколишнє природне середовище;
- види й розміри шкідливих фізичних та біологічних впливів на нього.

Залежно від просторового охоплення система екологічного моніторингу має рівні, що представлено на рис. 1.

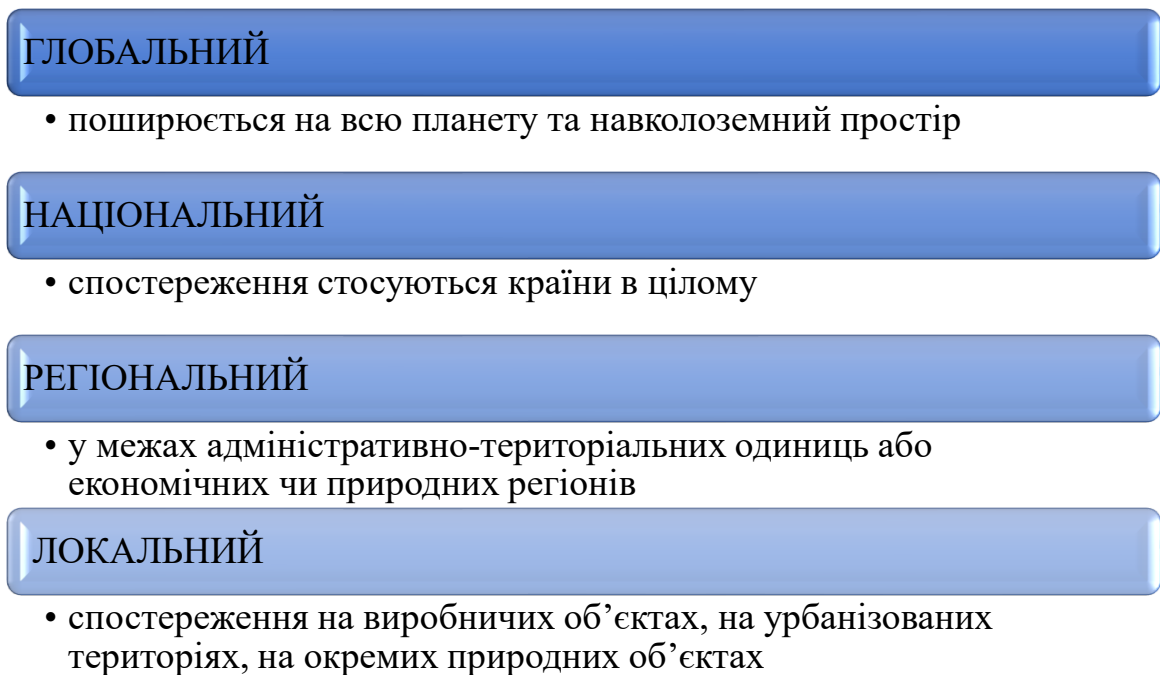


Рис. 1. Рівні просторового охоплення системи екологічного моніторингу

Найбільша за обсягом екологічна інформація виникає на локальному рівні, де досліджуються екологічно небезпечні підприємства та інші інженерні об'єкти, за станом окремих природних об'єктів у пунктах спостережень, в тому числі в містах щодо забруднення атмосферного повітря транспортом. Спостереження на глобальному, національному, регіональному і частково на локальному рівні здійснюються спеціально уповноваженими державними органами за кошти держбюджету і відносяться до державного екологічного моніторингу.

Система екологічного моніторингу в Україні називається державною системою моніторингу довкілля (ДСМД), яка є основою механізму системи державного екологічного управління. Як базові принципи при організації ДСМД в Україні виступають: організація опорних пунктів збору й обробки екологічної інформації на локальному, регіональному і державному рівнях, що мають прямі зв'язки з науково-

дослідними інститутами й органами Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України і Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС); інтеграція ДСМД у міжнародні системи моніторингу і глобальні бази даних; максимальне використання наявних у відомчих системах збору екологічної інформації обчислювальних потужностей і науково-методичних розробок. Щодо зближення ДСМД з міжнародною системою екологічного моніторингу, то в Україні прийнято низку законів і постанов КМУ з питань метрології, стандартизації й сертифікації у галузі природокористування й охорони довкілля. Основою для впровадження більш гнучкої системи управління навколишнім середовищем слугує адаптація і гармонізація до міжнародних стандартів ISO 9000 та ISO 14000. Відповідно до ISO 14000 в Україні розроблено та запроваджено серію українських стандартів, серед них ДСТУ ISO 14001-97 «Системи управління навколишнім середовищем. Склад і опис елементів, керівні вказівки щодо їх застосування», ДСТУ ISO 14004-97 «Системи управління навколишнім середовищем. Загальні керівні вказівки щодо принципів управління системами і засобами забезпечення». Щоб забезпечити порівняння результатів вимірів вмісту газів, парів, твердих частинок, хімічних забруднень у повітрі, отриманих фахівцями різних країн, у міжнародному стандарті ISO 4226 визначено одиниці виміру та їх позначення, уніфіковані на базі Міжнародної системи одиниць СІ. Загальний формат даних, що використовується для автоматизованого обміну інформацією про якість повітря та її обробки, визначено у міжнародному стандарті ISO 7168.

Європейські інституції використовують Індекс якості повітря як дослідницький та комунікаційний. При цьому європейськими агенціями також використовується Загальний Індекс якості повітря (Common Air Quality Index, CAQI), який дозволяє відображати якість повітря в європейських містах і поділяється на три різні індекси, які відрізняються часовими проміжками [14]. Основні структурні елементи міжнародного моніторингу якості атмосферного повітря:

- наявність розгалуженої системи моніторингових станцій;
- наявність методології вимірювання основних показників якості повітря разом з моніторингом метеорологічного стану;
- наявність системи збору, аналізу та передачі даних про стан якості атмосферного повітря;
- наявність стратегії підтримки і розвитку моніторингу;

– наявність комунікаційних інструментів щодо стану якості атмосферного повітря.

Погодинний індекс описує якість повітря виходячи з погодинних значень та оновлюється кожну годину. Щоденний індекс відповідає за загальні показники якості повітря попереднього дня, базується на щоденних значеннях і оновлюється раз в день. Щорічний індекс демонструє Індекс якості повітря протягом всього року і порівнюється з європейськими нормами якості повітря. Цей показник базується на середньому рівні за рік відповідно до річних граничних значень, і оновлюється один раз на рік. Індекс оцінює якість повітря за чотирима показниками: тверді частинки пилу (PM2.5 та PM10), наземний озон (O₃), діоксид азоту (NO₂) та діоксид сірки (SO₂).

Державна система моніторингу атмосферного повітря (ДМА) – це система спостереження, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан повітряного басейну, прогнозування його змін і розроблення рекомендацій для запобігання негативним змінам в атмосфері та для дотримання вимог екологічної безпеки.

Об'єктами ДМА згідно з «Порядком організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» є атмосферне повітря, атмосферні опади та викиди домішок в атмосферу. Встановлені списки загальнопоширених забруднюючих речовин, показників та інгредієнтів атмосферних опадів і речовин, які використовуються під час проведення моніторингу.

До суб'єктів моніторингу атмосферного повітря належать ДСНС, Держсанепідслужба, їх територіальні органи, Мінприроди, підприємства, установи, організації, діяльність яких призводить або може призвести до погіршення стану атмосферного повітря.

Вони проводять стандартизацію і нормування у галузі охорони атмосферного повітря. Державні стандарти у цій галузі є обов'язковими. Вони визначають поняття й терміни, режим використання й охорони атмосферного повітря, методи контролю за його станом, вимоги щодо запобігання несприятливому впливу на атмосферне повітря.

Крім того, встановлюються такі нормативи:

- екологічної безпеки атмосферного повітря;
- гранично допустимих викидів речовин стаціонарними джерелами та шкідливого впливу фізичних і біологічних факторів;

- обмежені нормативи утворення забруднюючих речовин, які відводяться в атмосферне повітря;
- використання атмосферного повітря як сировини;
- концентрації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах.

У зв'язку з існуванням державних стандартів і нормативів держава покладає на підприємства, установи і організації відповідні обов'язки. Вони зобов'язані вживати заходів щодо зменшення обсягів шкідливих викидів та підтримувати у справному стані споруди, устаткування й апаратуру для очищення викидів.

Правопорушеннями у галузі охорони атмосферного повітря є:

- порушення нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин;
- перевищення нормативів гранично допустимих рівнів шкідливого впливу фізичних і біологічних факторів;
- використання атмосферного повітря як сировини основного виробничого призначення без дозволу спеціально уповноважених державних органів та інші.

Метою ДМА є забезпечення одержання первинних даних про склад та обсяги викидів домішок в атмосферу, узагальнених даних про рівень забруднення на певній території за певний проміжок часу, показників стану, якості та оцінок небезпечності забруднення повітряного басейну.

У результаті проведення моніторингу атмосферного повітря одержуються:

- первинні дані контролю за викидами та спостережень за станом забруднення;
- узагальнені дані про рівень забруднення на певній території за певний проміжок часу;
- узагальнені дані про склад та обсяги викидів забруднюючих речовин; оцінка рівнів та ступеня небезпечності забруднення для довкілля та життєдіяльності населення;
- оцінка складу та обсягів викидів забруднюючих речовин.

Державною гідрометеорологічною службою (МНС) здійснюються спостереження за забрудненням атмосферного повітря у 53 містах України на 162 стаціонарних, двох маршрутних постах спостережень та двох станціях транскордонного переносу.

Отриману інформацію супроводжують даними про джерела викидів, вплив автотранспорту, а також наводять повний опис місцевос-

ті. Усі зазначені вище дані вводять в базу даних за стандартними формами. Мережа спостережень ДСМД охоплює практично всю територію України. Вона в сукупності відображає загальний стан довкілля країни, а також вплив найважливіших чинників зміни його стану. Спостереження за станом забруднення повітря проводять на стаціонарних постах, на яких визначають такі домішки, як пил, діоксини сірки й азоту, оксид вуглецю, формальдегід, бензопірен, свинець і його сполуки. Окрім цих інгредієнтів, залежно від розміщення поста, визначають ще від 7 до 10 специфічних інгредієнтів, характерних для викидів даного регіону.

Порядок здійснення державного моніторингу повітря було розроблено у рамках виконання Україною зобов'язань в екологічній частині Угоди про асоціацію з ЄС. Зокрема, повністю переглянута стара система моніторингу, змінено підхід до формування мережі спостережень та оцінювання якості атмосферного повітря, чітко визначені функції суб'єктів моніторингу, переглянуті обов'язкові для моніторингу показники та режими, впроваджено механізм обов'язкового регулярного інформування та розробки коротко- та довгострокових планів дій.

Моніторинг шкідливих викидів автотранспорту в атмосферне повітря є одним з ключових елементів Плану дій зі сталого енергетичного розвитку та клімату (SECAP), що присвячений як пом'якшенню наслідків зміни клімату, так і адаптації до змін клімату до 2030 року. План дій є ключовим документом, який показує, як міста, що підписали Угоду (в особі мерів), досягнуть своєї мети. План включає оцінку поточної ситуації, базовий кадастр викидів, пом'якшення наслідків зміни клімату та оцінку ризику та вразливості. План дій зі сталого енергетичного розвитку і клімату – це свого роду інструкція з розробленими методиками та рекомендаціями щодо зменшення утворення парникових газів у всіх сферах життя – промисловість, бюджетний сектор, транспорт, вуличне освітлення, житлові будинки тощо.

Сучасний рівень організації та моніторингу забруднення навколишнього середовища висуває вимоги до розроблення нових підходів щодо вирішення проблеми контролю якості атмосферного повітря, прогнозування його забруднення та управління джерелами викидів шкідливих речовин на основі нових інформаційних технологій. Тому актуальною проблемою є створення інтегрованих автоматизованих систем контролю та управління якістю атмосферного повітря, розро-

блення перспективних моделей і алгоритмів прогнозування забруднення повітря [15].

Наразі в Україні триває реформа системи державного моніторингу довкілля за європейськими стандартами та критеріями. Відходячи від виключної констатації фактів перевищення тих чи інших показників забруднення довкілля, країна переходить до побудови комплексної системи постійного моніторингу кожного компонента довкілля.

Зокрема, в новій державній системі передбачено 8 підсистем моніторингу – атмосферного повітря, вод, земель і ґрунтів, лісів, біологічного та ландшафтного різноманіття, геологічного середовища, у сфері управління відходами, фізичних факторів. Моніторинг здійснюватиметься на 4-х рівнях – національному, регіональному, місцевому та об'єктовому. При цьому на місцях будуть створені регіональні центри моніторингу довкілля.

Українська система відповідатиме міжнародним стандартам екологічного управління, в тому числі вимогам і директивам Угоди про асоціацію з ЄС. У подальшому національна система моніторингу довкілля буде інтегрована до загальноєвропейської. Це значно розширить можливості міжнародної співпраці України у сфері захисту довкілля.

Нова державна система моніторингу довкілля збиратиме та узагальнюватиме екологічні дані з усієї України. Такі дані акумулюватимуться на ЕкоСистемі і доступні кожному в режимі 24/7 [16].

Кабінет Міністрів України схвалив постанову щодо взаємодії між інформаційними системами органів влади та загальнодержавною системою моніторингу довкілля для прийняття управлінських рішень та доступу до екологічної інформації. Тобто визначено порядок, за яким здійснюватиметься збір екологічної інформації від різних органів державної та місцевої влади, а також регіональних центрів моніторингу довкілля, які планують створити в Україні. Така інформація з усіх наявних офіційних онлайн джерел в країні автоматично потраплятиме на ЕкоСистему, де систематизуватиметься та оприлюднюватиметься у зручному візуальному форматі. Відтак громадськості не потрібно буде заходити на різні вебсайти органів влади, щоб знайти потрібні дані, далі самостійно обробляти та аналізувати. А посадовці зможуть ефективно приймати управлінські рішення – не витрачаючи час на запити та листування з іншими державними органами.

Рішенням Уряду переглянута стара система моніторингу, змінено підхід до формування мережі спостережень та оцінювання якості атмосферного повітря, чітко визначені функції суб'єктів моніторингу, переглянуті обов'язкові для моніторингу показники та режими, впроваджено механізм обов'язкового регулярного інформування та розробки коротко- та довгострокових планів дій.

Так, нововведення передбачають низку елементів, зокрема:

- передбачено здійснення моніторингу та управління якістю повітря за принципом розподілу території України на зони та агломерації, утворено відповідні зони та агломерації;
- у кожній із зон та агломерації визначено відповідальний орган управління якістю повітря, що здійснюватиме координацію реалізації моніторингу, а також заходів з управління якістю повітря, зокрема підготовку та виконання планів поліпшення якості повітря, коротко-строкових планів дій тощо;
- врегульовано порядок визначення режимів оцінювання для кожної зони та агломерації залежно від рівня забруднення території;
- передбачено створення інформаційно-аналітичної системи даних про якість повітря та своєчасного інформування населення;
- визначено показники рівнів забруднення атмосферного повітря, перевищення яких вимагає впровадження заходів для поліпшення стану повітря або мінімізації шкідливого впливу забруднення на здоров'я населення;
- включено до переліку забруднюючих речовин, моніторинг яких здійснюється обов'язково, РМ 2.5, РМ10 та озон, які мають значний негативний вплив на здоров'я людини, та рекомендовані для вимірювання ВООЗ;
- передбачено створення нової мережі постів спостережень, які відповідають мінімальним європейським вимогам до моніторингу;
- передбачено розроблення програми моніторингу для зон та агломерацій на кожні 5 років.

В Україні паралельно діють державна та громадська системи моніторингу повітря. Державна – це система Українського гідрометеорологічного центру, яка відбирає проби атмосферного повітря на 129 стаціонарних постах з періодичністю 3-4 рази на добу 6 днів на тиждень. Крім державної системи моніторингу, в Україні діє також громадська – вона допомагає державній більшою розгалуженістю, особливо в малих містах і селищах.

Первинні показники якості атмосферного повітря вимірюються станціями моніторингу, які встановлено мешканцями населених пунктів, незалежними проєктами, організаціями, органами місцевого самоврядування тощо. За всю історію спостережень в Україні встановлено 1677 станцій моніторингу якості повітря. Активними на початок 2025 року залишаються лише 316 точок по всій країні. Громадські системи моніторингу дуже сильно постраждали, тому що вони активно останні роки розвивалися саме на сході України й півдні України, де були промислові міста, а також на Київщині. Так на Донеччині втрачено 90 % станцій моніторингу якості повітря.

Єдина в Україні екологічна система (проєкт SaveEcoBot) поєднує дані про поточний стан довкілля, про забруднення, забруднювачів та інструменти захисту довкілля [17]. Зокрема надаються карта якості повітря з напрямком та швидкістю вітру, інформація про якість повітря з кожного поста моніторингу та дані по населених пунктах, статистика результатів роботи екоінспекції тощо. Чат-бот допомагає впорядкувати наступну інформацію: моніторинг реєстру ОВД (оцінка впливу на довкілля), в якому відображаються етапи проходження процедури екологічної оцінки планової діяльності підприємств; дані про дозволи на викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами підприємств-забруднювачів 1, 2 та 3 груп; щогодинні концентрації та індексу якості атмосферного повітря за формулою NowCast (US EPA) для головного забрудника повітря - дрібнодисперсного пилу фракції 2.5 мікронів в населених пунктах України (AQI PM2.5). Система SaveEcoBot збирає та агрегує усі ці показники, щогодини розраховує середнє арифметичне значення для PM2.5 та розраховує AQI PM2.5 за формулою NowCast (US EPA) по кожній зі станцій. На рис. 2 надано приклад інтерактивної карти якості повітря.

Для отримання об'єктивної інформації про стан і рівень забруднення атмосферного повітря необхідно мати надійні методи аналізу. Ефективність будь-якого методу оцінюється сукупністю таких показників, як селективність та точність визначення, відтворюваність одержуваних результатів, чутливість визначення, межі виявлення елемента та експресність виконання аналізу. Крім того, методи повинні забезпечувати проведення аналізу у широкому інтервалі концентрацій елементів (включаючи слідові). Це має враховуватися під час виборів методів та засобів спостережень.

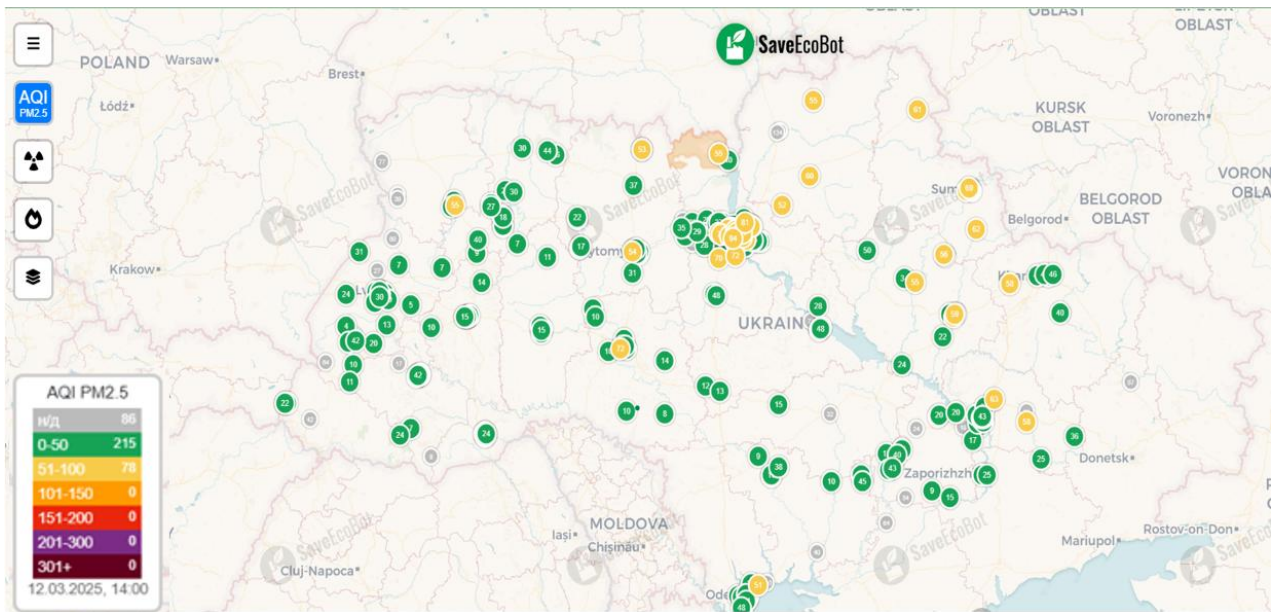


Рис. 2. Карта якості повітря в Україні (12.03.2025, 14:00)

В даний час вміст забруднюючих речовин в об'єктах навколишнього середовища визначається різними методами: фотометричним, фотоколориметричним, спектрофотометричним, турбідиметричним, нефелометричним, флуориметричним, полярографічним, хроматографічним та ін. Пости спостереження встановлюються в житлових, адміністративних районах; у районах з різним типом забудови; там, де відзначаються найбільші середні рівні, що перевищують ГДК, а також у парках і інших зонах відпочинку.

Для визначення необхідної кількості постів використовуються статистичні методи: кореляційний, спектральний, метод інтерполяції.

Пост спостереження може давати інформацію про стан повітряного басейну (якщо він знаходиться поза зоною впливу окремих джерел викидів), а також здійснювати контроль за джерелами викидів (якщо він знаходиться в зоні впливу джерел викидів).

При розміщенні постів спостереження перевага надається районам житлової забудови з найбільшою щільністю населення, де можливі випадки перевищення встановлених граничних значень гігієнічних регламентів (ГДК). Спостереження повинні проводитися за всіма домішками, рівні яких перевищують ГДК.

В обов'язковому порядку виконується відбір проб основних забруднюючих речовин і речовин, що найбільш часто трапляються в досліджуваних зонах активного забруднення атмосферного повітря (пил, діоксид сірки, оксид вуглецю, оксиди азоту). Необхідність замі-

ру концентрації інших речовин для контролю визначається специфічною виробництва і викидів у даній місцевості та частотою їх перевищення ГДК.

Важливим аспектом моніторингу атмосфери є його здатність забезпечувати контроль так званого трансграничного перенесення потоків ЗР за рахунок їх поширення на великі відстані від місця викиду. Цей контроль здійснюється системою наземних і авіаційних станцій. Мережа станцій трансграничного перенесення обладнується автоматичними системами відбору газу й аерозолей, збору сухих і мокрих опадів, аналізу вмісту домішок у відібраних пробах.

Існуюча в Україні мережа спостережень за забрудненням атмосферного повітря включає пости ручного відбору проб повітря й автоматизовані системи спостережень і контролю навколишнього середовища.

Основні види постів спостереження:

- стаціонарні (постійно діючі);
- маршрутні (за затвердженим маршрутом і графіком роботи);
- пересувні (підфакельні).

Стаціонарний пост спостережень – це спеціально обладнаний майданчик, на якому розміщена апаратура, необхідна для реєстрації концентрацій забруднюючих речовин (ЗР) і метеорологічних параметрів за встановленою програмою. Поміж цих стаціонарних постів виділяються опорні стаціонарні пости, призначені для виявлення довготермінових змін вмісту основних та найбільш поширених ЗР.

Місце для установки стаціонарного посту вибирається, як правило, з урахуванням метеорологічних умов формування рівня забруднення. При цьому заздалегідь визначається коло завдань, що потребують вирішення: оцінка середньомісячної, сезонної, річної та максимальної разової концентрацій, імовірності виникнення концентрацій, які перевищують ГДК тощо.

Маршрутний пост спостережень – це місце на певному визначеному маршруті пересувної лабораторії для відбору проб. Він призначений для регулярного відбору проб у фіксованих точках місцевості при спостереженнях, що проводяться за допомогою цієї пересувної лабораторії.

Маршрутні спостереження здійснюються на маршрутних постах за допомогою автолабораторій. Така пересувна лабораторія має продуктивність близько 5000 відборів проб на рік. За день вона здатна зробити відбір близько 10 проб.

Порядок об'їзду маршрутних постів щомісяця змінюється так, щоб відбір проб на кожному пункті проводився в різний час доби (наприклад, першого місяця лабораторія об'їжджає пости в порядку зростання номерів пунктів, другого – у порядку їх спадання, а третього – із середини маршруту до кінця чи від початку до середини).

Пересувний пост (підфакельний) для спостережень за забрудненням повітря призначений для відбору проб із метою виявлення зони впливу даного джерела. Ці спостереження здійснюються за спеціально розробленими програмами та визначеним маршрутом, як правило, за специфічними забруднюючими речовинами, характерними для викидів даного джерела.

Місце для установки стаціонарного посту вибирається, як правило, з урахуванням метеорологічних умов формування рівня забруднення атмосферного повітря. При цьому заздалегідь визначається коло завдань (оцінка середньомісячної, сезонної, середньорічної і максимальної разової концентрацій, ймовірності виникнення концентрацій, що перевищують ГДК, тощо).

Перед установкою посту аналізуються розрахункові поля концентрацій для всіх інгредієнтів викидів стаціонарних і пересувних джерел; особливості забудови і рельєфу місцевості; перспективи розвитку житлової забудови і розширення підприємств промисловості, енергетики, комунального господарства, транспорту та інших галузей; функціональні особливості обраної зони; щільність населення; метеорологічні умови даної місцевості й інші фактори впливу.

В той же час можна відмітити, що практично неможливо при статистичному дослідженні відокремити забруднення, що створює саме транспортна система від впливу інших об'єктів комплексу. Методики збору, отримання та аналізу інформації про стан забруднення атмосфери міст України викидами автотранспорту є недосконалими, високо витратними, не відображають сучасних реалій розвитку автотранспортного комплексу (зокрема значну кількість автомобілів з дизельними двигунами та застарілий рухомий склад). Відсутність системного підходу на етапі накопичення та узагальнення інформації про пайовий внесок автомобільного транспорту у забруднення атмосферного повітря великих міст не дозволяє прогнозувати розвиток ситуації, що зумовлює низьку ефективність робіт, що проводяться [11]. Для вирішення подібного класу завдань у суміжних галузях науки і техніки застосовується створення інформаційних систем, що включають елементи, що відповідають за поведінку кожного компонента систе-

ми. Створення системи моніторингу, що включає етапи збору, обробки, аналізу та візуалізації інформації, для комплексної оцінки параметрів системи Водій – Автомобіль – Дорога є актуальною для розробки та прийняття обґрунтованих рішень у галузі дорожнього будівництва та організації дорожнього руху, спрямованих на оптимізацію вулично-дорожньої мережі та мінімізацію забруднення атмосфери.

Існує багато варіантів розрахунку величин викидів шкідливих речовин. Оцінка стану повітряного басейну в населених пунктах здійснюється шляхом порівняння реальних концентрацій з гранично допустимою концентрацією (ГДК). Один з підходів до контролю за викидами від транспорту означено в «Плані дій сталого енергетичного розвитку та клімату» (ПДСЕРК), який приймається в рамках «Угоди мерів» [18]. «Угода мерів» – це всесвітній рух, який об'єднує тисячі місцевих органів влади, які добровільно взяли на себе кліматичні та енергетичні зобов'язання. Вони також розробляють спільний підхід до пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації до них. Міста-підписанти Угоди подають свої ПДСЕРК, в яких розписані дії та зобов'язання населеного пункту зі зменшення викидів CO₂ щонайменше на 30 % до 2030 року у порівнянні із рівнями викидів від базового року. Раз на 2 роки подається звіт із виконання Плану для його оцінки. Також міста досліджують власну вразливість до зміни клімату і створюють свої проекти з адаптації [18, 20].

ПДСЕРК поєднує в собі комплекс стратегічних проектів щодо вдосконалення всіх сфер і галузей міста (ОТГ, району, регіону) з урахуванням можливих джерел та механізмів їх фінансування, а також їх впливу на зменшення викидів CO₂. ПДСЕРК охоплює об'єкти у сферах як громадської, так і приватної власності.

ПДСЕРК передбачає якісні стратегічні зміни міста (ОТГ, району, регіону), його ефективне енергоспоживання та зменшення викидів парникових газів (ПГ) усіма залученими господарюючими суб'єктами міста.

Для об'єкту дослідження «транспортна система міста» мета дослідження сформулюється як виявлення впливу функціонування транспортної системи міста на обсяг викидів парникових газів в навколишнє середовище, розробка методу оцінки викидів задля практичного використання місцевим органами влади для оцінки діяльності у транспортному секторі.

Непрямі або прямі викиди парникових газів підраховуються для кожного енергоносія шляхом множення кінцевого енергоспоживання

на відповідний коефіцієнт викидів. Два підходи можна застосовувати у рамках Угоди мерів для підрахунку цих викидів: підхід, що базується на діяльності, та ОЖЦ (Оцінка життєвого циклу). За рішенням органу місцевої влади про застосування або підходу, що базується на діяльності, чи підходу ОЖЦ, може стояти кілька причин.

Підхід, що базується на діяльності, який, як правило, використовується в рамках Угоди (94 % підписантів з ЄС та 90 % населення з ЄС-28 Угоди мерів станом на вересень 2016 року). У рамках такого підходу включаються всі викиди CO₂ (або ПГ), що з'являються внаслідок енергоспоживання на території МО, або безпосередньо (спалювання палива), або побічно (споживання електроенергії та тепла/холоду). Викиди ПГ підраховуються безпосередньо на підставі вмісту вуглецю в паливі, хоча невелика кількість вуглецю є неокисленим (менше 1 %). Цей підхід використовується для національної звітності в рамках Рамкової конвенції ООН про зміну клімату.

Більшість викидів ПГ – це викиди CO₂, тоді як викиди CH₄ та N₂O – не настільки важливі для процесів згоряння в житловому та транспортному секторах.

У деяких країнах підписанти Угоди мерів застосовуватимуть підхід ОЖЦ. Це підхід також є міжнародним стандартом, первинно розробленим щодо екологічного сліду продукції. Він, зокрема, підходить для оцінки потенційного взаємовпливу між різними видами екологічного впливу, асоційованими з конкретними політичними та управлінськими рішеннями, оскільки він включає викиди з цілого ланцюжка поставок, а не тільки кінцевого згоряння. Це особливо стосується біопалив та біомаси.

Три головні довгоживучі ПГ можуть розглядатися в рамках Угоди: CO₂, CH₄ та N₂O. Включення CH₄ і N₂O залежить від того, чи заплановані кроки по скорочення цих парникових газів у ПДУЕРК, а також від обраного підходу (підходу, що базується на діяльності, або оцінки життєвого циклу).

Усі викиди ПГ (прямі викиди від спалювання палива та непрямі викиди, пов'язані зі споживанням енергії, що поставляється в мережі), що з'являються в наслідок функціонування транспортної системи на території місцевого органу влади, підлягають включенню до звітності. Крім того, місцевим органам влади рекомендується в надалі зробити розбивку за видами транспорту: дорожній, залізничний, водний та позашляховий транспорт, а також за видами транспортного парку: муніципальний, державний, приватний та комерційний транспорт. Міс-

цевим органам влади рекомендується використовувати «географічну територіальну» методику для оцінки діяльності з активності у транспортному секторі. При конкретних обставинах можуть бути використані інші методики, наприклад «продаж палива», «діяльність резидентів» та «міська методика».

Відповідно до ПДСЕРК рекомендується використовувати «географічну територіальну» методику. Усі викиди ПГ (прямі викиди від спалювання палива та непрямі викиди, пов'язані зі споживанням енергії, що поставляється в мережі), що з'являються внаслідок транспортування (як вантажного, так і пасажирського) на території місцевого органу влади, підлягають включенню до аналізу.

Угода мерів визначає сектори діяльності транспорту, за критеріями володіння та функціонування, таким чином: муніципальний транспортний парк; громадський транспорт та приватний й комерційний транспорт.

Загальні річні викиди в транспортному секторі [19]

$$GHG_{emissions} = \sum_{modes} \sum_{fuels} [emission\ factor \cdot VKT \cdot Energy\ intensity], \quad (1)$$

де *modes* – спосіб (транспортний засіб) пересування (перевезення) вантажу;

fuels – вид палива, на якому працює транспортний засіб;

emission\ factor – коефіцієнт викидів CO₂, що в кількісному плані вимірює викиди на одиницю діяльності;

VKT – річний обсяг транспортної роботи, від якого залежать витрати палива;

Energy\ intensity – витрати палива на одиницю транспортної роботи (питоме споживання моторного палива).

Згідно рекомендацій [19] транспортний парк має щонайменше розділятися на відповідні категорії:

- пасажирські автомобілі і таксі;
- великотоннажні автомобілі і малотоннажні транспортні засоби;
- автобуси і інші транспортні засоби, що використовуються для надання послуг громадського транспорту;
- двоколісні транспортні засоби.

Оцінки викидів парникових газів від дорожнього транспорту можуть ґрунтуватися на двох незалежних наборах даних: продажу пали-

ва і пробігу транспортних засобів. Якщо доступні обидва набори даних, важливо перевірити їх порівнянність [20].

Розрахунок викидів здійснюється на основі даних про пробіг для кожного виду палива для різних видів транспорту.

Відповідно до вимог форми звіту з реалізації Плану сталого енергетичного розвитку та клімату і кадастру викидів, класифікація сектору транспорту відбувається по типу парку рухомого складу і типам енергії, що споживається.

Рухомий склад поділяється на:

- муніципальний парк;
- громадський транспорт;
- приватний і комерційний транспорт.

Розрахунки викидів від транспортних засобів ґрунтуються на даних про загальне споживання палива. Питома теплота згоряння і коефіцієнти викидів для кожного типу палива розраховуються з урахуванням специфіки палива, що використовується транспортними засобами. При аналізі враховуються джерела енергії, що не відновлюються і що відновлюються. Для оцінки викидів від сфери транспорту враховуються наступні види палива: бензин; дизельне паливо; зкrapлений нафтовий газ; стиснений природний газ; електроенергія; біопаливо (біодизельне паливо, біобензин, інші рідкі біопалива).

Розрахунок викидів діоксиду вуглецю від спалювання палива в двигунах внутрішнього згоряння рекомендується проводити на основі врахування видів палива і типів двигуна. Викиди вуглекислого газу за цим методом оцінюються наступним чином. Спочатку оцінюється споживання кожного виду палива за типами транспорту (легковий, вантажний, автобуси, спецмашини). Потім оцінюються загальні викиди CO₂ шляхом множення кількості спожитого палива на фактор викидів для кожного типу палива і типу транспортних засобів. Річні викиди CO₂ від спалення палива *i*-го типу

$$Q_{CO_2,i} = VП_i^p \cdot НТЗ_i \cdot КВ_i \cdot КО_i, \quad (2)$$

де $VП_i^p$ – дані про обсяг спалювання *i*-го типу палива за рік, т/рік;

$НТЗ_i$ – нижча теплотворна здатність палива *i*-го типу, МВт·год/т;

$КВ_i$ – коефіцієнт викидів CO₂, тCO₂/МВт·год. [20];

$КО_i$ – коефіцієнт окислення вуглецю в паливі *i*-ого типу (показує частку згорілого вуглецю), табл. 1, 2.

Таблиця 1

Коефіцієнти викидів для спалювання викопного палива

Енергоносії		Міжурядова група експертів зі зміни клімату (IPCC, МГЕЗК)		Оцінка життєвого циклу (LCA)	
Визначення СЕКОП (SECAR)	Стандартне визначення МГЕЗК	tCO ₂ /МВт·год.	tCO ₂ -екв./МВт·год.	tCO ₂ /МВт·год.	tCO ₂ -екв./МВт·год.
Природний газ	Природний газ	0,202	0,202	0,201	0,237
Зкраплений газ	Зкраплений нафтовий газ	0,227	0,227	-	-
	Стиснений природний газ	0,231	0,232	-	-
Топковий мазут	Дизельне паливо	0,267	0,268	0,292	0,305
Дизельне паливо	Моторне дизельне паливо	0,267	0,268 ^{a)}	0,292	0,305
Бензин	Бензин	0,249	0,250 ^{a)}	0,299	0,307
Лігніт	Лігніт (буре вугілля)	0,364	0,365	0,368	0,375
Вугілля	Антрацит	0,354	0,356	0,379	0,393
	Інше кам'яне вугілля	0,341	0,34	0,366	0,385
	Суббітумінозне вугілля	0,346	0,348	0,371	0,385
Інші невідновлювані види палива	Муніципальні відходи	0,330	0,337	0,181	0,174
	Торф	0,382	0,383	0,386	0,392

Примітка. Коефіцієнти викидів для транспортного сектора на 3 % перевищують наведені значення, характерні для стаціонарних джерел.

Таблиця 2

Коефіцієнти викидів для енергетичних джерел, що відновлюються

Енергоносії		Критерій сталості ^{a)}	Міжурядова група експертів зі зміни клімату (IPCC, МГЕЗК)		Оцінка життєвого циклу (LCA)	
			тCO ₂ /МВт·год.	тCO ₂ -екв./МВт·год.	тCO ₂ /МВт·год.	тCO ₂ -екв./МВт·год.
Визначення SECAP	Визначення МГЕЗК					
Рослинне паливо	Інші рідкі біопалива	s	0	0,001	0,171	0,182
		ns	0,287	0,302		
Біопаливо	Біо бензин	s	0	0,001	0,194	0,206
		ns	0,255	0,256		
	Біо дизельне паливо	s	0	0,001	0,147	0,156
		ns	0,255	0,256		
Інша біомаса	Біо газ	-	0,197	0,197	-	-
	Муніципальні відходи	-	0	0,007	0,107	0,106
	Деревина (дрова)	s	0	0,007	0,006	0,013
		ns	0,403	0,410	0,409	0,416
	Деревні відходи	-	0,403	0,410	0,193	0,184
	Інша первинна тверда біомаса	-	0,306	0,367	-	-

Примітка. а) – коефіцієнти викидів можуть ураховуватися нульовими якщо біопаливо/біомаса має критерій сталості (s); у випадку, коли біопаливо/біомаса не відповідає критерію сталості (ns) замість цього використовуються викиди викопного палива.

Обсяг спалювання i -го типу палива за рік визначається окремо для кожної категорії транспортних засобів по формулі:

$$ВП^P = L_P \cdot ВП_{100км}, \quad (3)$$

де L_P – річний пробіг, км;

$ВП_{100км}$ – питоме споживання палива, л/100 км.

Розрахунок річного пробігу транспортних засобів залежить від наявності даних та відбувається окремо для кожної групи типу рухомого складу. Нижче приведено методологію визначення річного пробігу для різних категорій.

Найбільш точні дані, доступні органам місцевого самоврядування, є інформація про парк муніципального транспорту. Дана інформація може бути зібрана з рівнем деталізації до транспортного засобу. Інформація по роботі муніципального парку надається відповідними організаціями (розпорядник інформації) по кожному транспортному засобу, який знаходиться на балансі, що містить інформацію про:

- тип автомобіля або механізму;
- марка;
- середньорічний пробіг, км;
- питоме споживання моторного палива, л/100 км (бензин, дизельне паливо), м³/100 км (скраплений газ);
- тип палива (бензин, дизельне паливо, скраплений газ);
- рік державної реєстрації;
- об'єм двигуна, см³;
- машино-години роботи (для механізму): примітка, поточний стан транспортного засобу (наприклад, списання з балансу).

Згідно з бланком базового збору даних серед муніципального транспорту виділяються наступні типи автомобілів та машино-механізмів:

- легкові автомобілі на бензині;
- легкові автомобілі на дизпаливі;
- легкові автомобілі на газі;
- вантажні автомобілі на бензині;
- вантажні автомобілі на дизпаливі;
- вантажні автомобілі на газі;
- сміттєзбиральні машини;
- сміттєрозподільчі машини;

- автомобілі швидкої допомоги;
- поліцейські автомобілі;
- дорожньо-будівельні машини;
- автокрани;
- інші машино-механізми.

Відповідно викидів CO₂ по муніципальному парку транспортних засобів визначаються в залежності від таких показників транспортної роботи, як загальний пробіг транспортних засобів і загальний час роботи механізмів.

Для механізмів (екскаватори, автокрани та ін.) основні витрати палива – на виконання робіт (машино-години роботи фіксуються) пробіг може бути при самостійному русі спецтехніки на об'єкти виконання робіт, або бути відсутнім при транспортуванні автотранспортом

$$ВП_p = L_p \cdot ВП_{100км} + МГ_p \cdot ВП_{1год.}, \quad (4)$$

де $МГ_p$ – машино-години роботи за рік, год;

$ВП_{1год.}$ – питоме споживання моторного палива, л/год.

Витрати палива розраховуються по кожному типу транспортних засобів

$$ВП_i^p = \sum_{j=1}^n ВП_j^p, \quad (5)$$

де n – кількість транспортних засобів, що працюють на паливі i -го типу.

Для розрахунку викидів CO₂ по муніципальному парку транспортних засобів по типах палива використовується формула (2).

При визначені обсягів викидів від громадського транспорту необхідно розглядати транспортну систему як єдину незалежну від форми власності рухомого складу (приватний чи муніципальний). Громадський транспорт можна розділити в залежності від виду транспорту на:

- рейковий (потяг, трамвай), метрополітен;
- автомобільно-дорожній: тролейбус, автобус;
- авіаційний.

А за типом сполучення на: міський, приміський, міжміський (регіональне та міжнародне сполучення).

Згідно з настановами [19] при виборі парку рухомого складу, який підлягає аналізу необхідно враховувати тільки ту частину пересування, яка відбувається територією міста. При чому, якщо поїздка починається або закінчується поза межами територіальної громади, нею можна знехтувати. Приміський і міжміський транспорт доцільно включати в розрахунок, якщо заплановано заходи, які впливають на показники викидів цими видами транспорту. Якщо залізничний транспорт враховується, то для приміського залізничного транспорту розрахунки викидів CO₂ тепловозами і опалювальними пристроями вагонів виконуються окремо. Для розрахунку викидів CO₂ тепловозами використовується формула (2). Якщо опалювальний пристрій працює на дизельному паливі, то розрахунки викидів CO₂ здійснюються на основі кількості спаленого палива (як для тепловоза).

Для розрахунку викидів CO₂ міським електричним транспортом використовуються дані про споживання енергії відповідними видами транспорту. Викиди CO₂ автобусним транспортом розраховуються на основі даних про річний пробіг автобусів на кожному маршруті. У випадку, якщо на автобусному маршруті працює однотипний рухомий склад з використанням одного типу палива

$$L_{Pk} = \left[\left(N_{p\ k}^{pd} \cdot l_{mk} \right) \cdot k_{ek} + l_0 \right] \cdot D_{pd} + \left[\left(N_{p\ k}^{ed} \cdot l_{mk} \right) \cdot k_{ek} + l_0 \right] \cdot D_{ed}, \quad (6)$$

де $N_{p\ k}^{pd}$, $N_{p\ k}^{ed}$ – добова планова кількість рейсів на k -му маршруті, відповідно, в робочі та вихідні дні, од.;

l_{mk} – довжина k -го маршруту, км;

l_0 – добовий нульовий пробіг на k -му маршруті, км;

D_{pd} , D_{ed} – дні роботи в році на k -му маршруті, відповідно, в робочі та вихідні дні, од.;

k_{ek} – коефіцієнт виконання рейсів на k -му маршруті:

$$k_{ek} = \frac{N_{pk}^{\phi}}{N_{pk}^{nl}}, \quad (7)$$

де N_{pk}^{ϕ} , N_{pk}^{nl} – відповідно, фактично виконана і планова кількість рейсів за рік на k -му маршруті, од.

У випадку, якщо на автобусному маршруті працює рухомий склад різних моделей з використанням різних типів типу палива:

$$L_{Pkl} = \sum_{l=1}^n \left[\left(N_{p \ kl}^{p\delta} \cdot l_{mk} \right) \cdot k_{\delta k} + l_0 \right] \cdot D_{p\delta} + \left[\left(N_{p \ kl}^{e\delta} \cdot l_{mk} \right) \cdot k_{\delta k} + l_0 \right] \cdot D_{e\delta}, \quad (8)$$

де l – лічильник моделей автобусів, що працюють на k -му маршруті;
 n – кількість моделей автобусів, що працюють на k -му маршруті,
 од.;

$k_{\delta k}$ – коефіцієнт виконання рейсів автобусами l -ої моделі на k -му маршруті

$$k_{\delta kl} = \frac{N_{pkl}^{\phi}}{N_{pkl}^{nl}}, \quad (9)$$

де N_{pkl}^{ϕ} , N_{pkl}^{nl} – відповідно, фактично виконана і планова кількість рейсів автобусів l -ї моделі, що працюють на k -му маршруті за рік, од.

При відсутності детальної інформації по роботі рухомого складу різних моделей з використанням різних типів типу палива з певним допущенням можливо використовувати формулу

$$L_{Pkl} = \left(\left(N_{p \ k}^{p\delta} \cdot l_{mk} \right) + l_0 \right) \cdot D_{p\delta} + \left(\left(N_{p \ k}^{e\delta} \cdot l_{mk} \right) + l_0 \right) \cdot D_{e\delta} \cdot k_{\delta k} \cdot \partial_l, \quad (10)$$

де ∂_l – частка пробігу автобусів l -ої моделі, що працюють на k -му маршруті в загальному пробізі на маршруті

$$\partial_l = \frac{N_{pkl}^{\phi}}{N_{pk}^{\phi}} \approx \frac{AD_{kl}}{AD_k} \approx \frac{A_{kl}}{A_k}, \quad (11)$$

де AD_k , AD_{kl} – відповідно, загальні автомобіле-дні роботи та автомобіле-дні роботи автобусів l -ї моделі, що працюють на k -му маршруті за рік, дні;

A_k , A_{kl} – відповідно, загальна кількість автобусів і кількість автобусів l -ої моделі, які закріплено за k -м маршрутом, од.

Для підтримання комфортних умов для пасажирів і водіїв в автобусах використовуються системи обігріву (охолодження). Додаткові витрати палива ураховуємо за допомогою корегувального коефіцієнту

$$k_{\Delta BП} = 1 + \frac{\sum_{i=1}^p \delta_i \cdot D_i}{100 \cdot D_p}, \quad (12)$$

де δ_i – значення надбавки для i -го інтервалу температури повітря, % [21];

D_i – кількість днів в році, коли мав місце i -ий інтервал температури повітря, котрий потребує опалення (охолодження) салону автобусу, од.;

D_p – кількість днів в році, од.

Тоді формула (3) приймає вигляд:

$$ВП^P = L_p \cdot ВП_{100км} \cdot k_{\Delta ВП}, \quad (13)$$

Витрати палива розраховуються по кожному маршруту і типу палива по формулі (13), після чого знаходимо річні витрати палива по кожному типу палива

$$ВП_i^P = \sum_{k=1}^m ВП_k^P, \quad (14)$$

де m – кількість маршрутів, на яких працюють транспортні засоби на паливі i -го типу.

Для розрахунку викидів CO_2 громадським транспортом по типах палива використовується формула (2).

Найбільшу складність для визначення становить приватний і комерційний транспорт, адже достовірних даних про пробіг такого транспорту для всього міста немає в наявності. Визначення річного пробігу здійснюється на основі даних про реєстрацію транспортних засобів, обсяги продажу палива та дослідження транспортних потоків і мобільності населення. Враховуючи, що пересування пасажирським і вантажним транспортом дуже сильно відрізняється один від одного вони мають розраховуватися окремо.

Річний пробіг приватних легкових автомобілів розраховуємо по автомобілях, що працюють на різних типах палива на основі даних про рухомість населення

$$L_i^{пла} = \frac{N_{меш} \cdot k_{рух} \cdot \Delta_a \cdot \bar{l}_n \cdot \delta_i}{100}, \quad (15)$$

де $N_{меш}$ – населення, осіб. Приймається по [22];

$k_{рух}$ – коефіцієнт рухомості (середня кількість пересувань за день);

Δ_a – відсоток поїздок автомобільним транспортом в якості водія, %;
 \bar{l}_n – середня відстань поїздки автомобільним транспортом, км;
 ∂_i – частка приватних легкових автомобілів в залежності від типу палива.

Частка приватних легкових автомобілів по видах палива визначається на основі даних про реєстрацію транспортних засобів. За умови, що ці дані не доступні можна прийняти частку транспортних засобів на основі даних про продаж палива

$$\partial_i = \frac{Q_i^{A3C}}{Q_{\Sigma}^{A3C}}, \quad (16)$$

де Q_i^{A3C} – обсяги палива і-го типу продані через АЗС, тис. т;

Q_{Σ}^{A3C} – загальний обсяг палива всіх типів, проданих через АЗС, тис. т.

Важливо зазначити, що зі збільшенням частки легкового електротранспорту такий підхід некоректно відобразить склад потоку і доцільно використовувати дані про реєстрацію транспортних засобів. Проте наразі електромобілі складають менше 1 % транспортного парку України.

Річний пробіг двоколісних транспортних засобів (мотоцикли, скутери тощо) визначаємо аналогічно за формулою (15).

Річний пробіг комерційного вантажного транспорту визначаємо методом аналогії з певними допущеннями в категоріях: малотоннажні автомобілі, великотоннажні автомобілі.

Загальний пробіг вантажних автомобілів розраховується для категорій: малотоннажні автомобілі, великотоннажні автомобілі:

$$L_i^{mva} = L_i^{pla} \cdot \frac{\partial_{mva}}{\partial_{la}}, \quad (17)$$

$$L_i^{vva} = L_i^{pla} \cdot \frac{\partial_{vva}}{\partial_{la}}, \quad (18)$$

де ∂_{la} , ∂_{mva} , ∂_{vva} – відповідно, частка приватних легкових автомобілів, малотоннажних вантажних автомобілів, великотоннажних вантажних автомобілів.

Для розрахунку викидів CO_2 приватним і комерційним транспортом по типах палива використовується формула (2).

В якості прикладу на рис. 3 надано результати розрахунку річних викидів CO₂ основними підсистемами транспортної системи м. Житомир у 2019 р. [23].

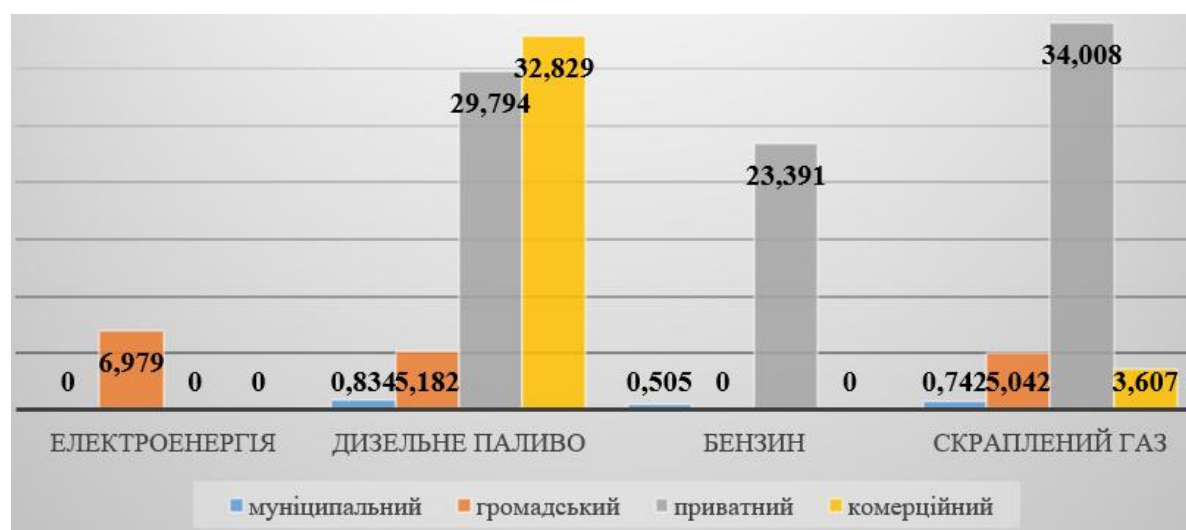


Рис. 3. Річні викиди CO₂ в результаті функціонування транспортної системи по видах палива, тис. т

Житомир – великий транспортний вузол України, головною особливістю якого є безпосередня близькість до міста Києва.

До міста Житомира підходять п'ять автомобільних доріг державного значення: автомобільна дорога міжнародного значення М-06, сполученням Київ – Чоп (на Будапешт через Львів, Мукачеве, Ужгород); автомобільна дорога національного значення Н-03, сполученням Житомир – Чернівці; автомобільна дорога міжнародного значення М-21, сполученням Житомир – Могилів-Подільський (через Вінницю); автомобільна дорога регіонального значення Р-18, сполученням Житомир – Попільня – Сквиря – Володарка – Ставище; автомобільна дорога регіонального значення Р-28, сполученням Виступовичі (на Мозир) – Житомир (через Овруч). Таке географічне положення призводить до проходження транзитних потоків через територію міста, частина з яких пересікається на центральному майдані м. Житомира. Найбільш активний транзитний потік проходить трасою Е40/М-06 (Київ – Чоп), який завдяки наявності об'їзної дороги проходить територією Житомирського району.

Міська мобільність населення забезпечується мережею автомобільних доріг, системою громадського транспорту (рис. 4) та пішохідною інфраструктурою. Територією міста облаштовані незв'язані

між собою елементи велосипедної інфраструктури загальною протяжністю 2400 м по осі вулиць.

Згідно дослідження мобільності м. Житомир переважна більшість населення пересуваються громадським транспортом. Частка користувачів громадського транспорту становить 46 %, і водночас значна частка переміщень здійснюється пішки.

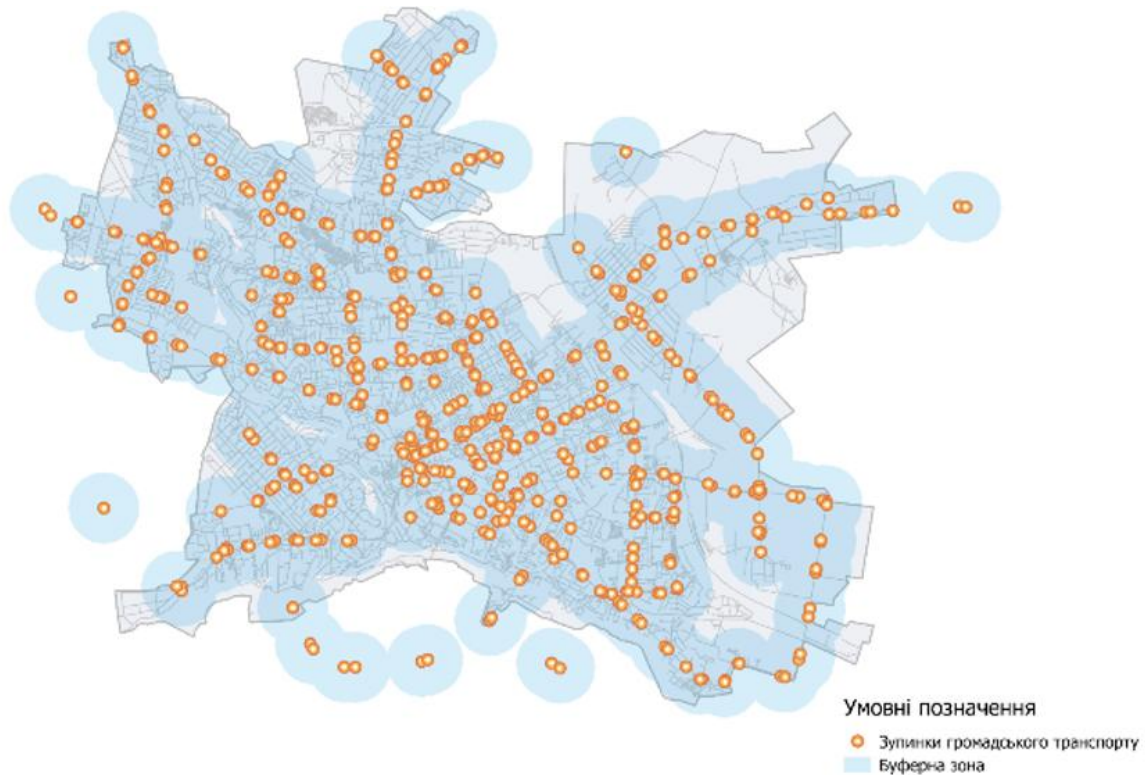


Рис. 4. Покриття території міста громадським транспортом [24]

У м. Житомир 2016 року розпочато реформу громадського транспорту, розроблено план оптимізації транспортної мережі, розпочато залучення інвестицій на оновлення рухомого складу пасажирського транспорту комунальної форми власності, оновлено вимоги на обслуговування міських автобусних маршрутів загального користування та проведено конкурс на визначення перевізників. В 2017 році містом було затверджено «План дій зі сталого енергетичного розвитку міста Житомира на 2015-2024 роки», а в 2019 році «План сталої міської мобільності міста Житомира». В 2018 році було впроваджено систему електронної оплати проїзду в громадському транспорті та придбано 17 нових автобусів великої пасажиромісткості, залучено інвестиції (укладено договір з Європейським банком реконструкції та розвитку) для покупки придбання 50 нових тролейбусів.

За результатами дослідження пасажиропотоків, середньодобовий обсяг перевезення в 2019 році автобусними маршрутами становив 130 846 пасажирів, тролейбусами – 101 524 пасажирів та трамваєм – 24 174 пасажирів.

Автобусний парк всього рухомого складу, що обслуговує міські автобусні маршрути загального користування, відносно новий, середній вік рухомого складу – 8 років, без врахування муніципального автотранспорту (придбаного в 2018 році) – 9 років. Парк рухомого складу електротранспорту знаходиться в значно гіршому стані та. Парк рухомого складу громадського електричного транспорту потребує оновлення. Середній вік тролейбусів становить 27,5 років, трамваїв – 32,5 років, у той час як нормативний період експлуатації становить, відповідно, 10 та 15 років.

Велосипедна мережа м. Житомир є недостатньо розвинена, станом на 2019 рік в місті Житомирі налічувалось 2,4 км велосипедної дорожньої інфраструктури. Попри це рельєф та просторова організація міста сприяють пересуванню на велосипеді. Середня відстань пересування автомобільним транспортом в міста складає 7,1 км, що є оптимальною відстанню для руху на велосипеді, тому Житомир має великий потенціал збільшення частки велосипедного транспорту. Місто Житомир має компактну структуру, що сприяє пересуванню пішки. Частка пересувань пішки складає 37,8 %, що відповідає значенням прогресивних європейських міст.

З метою аналізу забруднення атмосферного повітря від муніципального транспорту було отримано дані про парк рухомого складу від структурних підрозділів і комунальних підприємств Житомирської міської ради. Визначення обсягів викидів для приватного і комерційного транспорту становить найбільшу складність і спирається на низку припущень. Методологічно доцільно розділити приватний транспорт на приватний транспорт індивідуального користування і комерційний транспорт, а також на пасажирський і вантажний транспорт. Особисті автомобілі, які використовуються населенням в приватних цілях відносяться до пасажирського транспорту індивідуального користування. Розрахунок викидів CO₂ від приватного легкового транспорту здійснювався на основі даних про пересування населення, отриманих в результаті дослідження мобільності. Перевезення вантажу здебільшого потрапляють в комерційні вантажні перевезення. Для визначення викидів від комерційного вантажного транспорту використовувалися дані про склад транспортного потоку на вулицях

Житомира. Загальний річний пробіг вантажного транспорту визначається як частка загального пробігу приватного транспорту на основі даних про склад транспортного потоку.

За допомогою рекомендації по збору даних та застосування методики визначення викидів CO₂ від функціонування транспортної системи при достатній точності розрахунків можливо впровадити механізм обліку викидів для сектору транспорту, який дозволяє проводити аналіз доступних даних. Визначено, що основна частка забруднення довкілля в м. Житомир відбувається від транспортних засобів на дизельному паливі (68,64 тис. т CO₂), від приватного та комерційного транспорту (68 %).

На засаді даних результатів можливо прогнозування зміни енерговитрат і викидів в секторі транспорту в результаті різних заходів. Так, наприклад, в м. Житомир було запропоновано такий комплекс заходів, що включають оновлення рухомого складу електротранспорту; підвищення енергоефективності електромереж транспортної системи, створення велоінфраструктури (облаштування велопарковок, будівництво велодоріжок).

Необхідно відзначити, що дана методика базується на достовірних даних первинної та вторинної інформації та є певною мірою унікальною для реалій України. Отримані в ході дослідження результати можуть бути застосовані при аналізі стану забруднення атмосфери міст транспортом і використовуватись для контролю за викидами від сектору транспорт, звітування із виконання ПДСЕРК для його оцінки.

Для використання результатів дослідження необхідна стала колаборація з місцевим органами влади для можливості отримання вторинної та первинної інформації.

Нажаль в умовах воєнного стану в Україні місцеві органи влади мають нагальні виклики виживання міст й обмеженість ресурсів для проведення досліджень щодо функціонування транспортних систем.

Так як найбільшу складність становить визначення викидів парникових газів від приватного і комерційного транспорту і саме в цьому секторі має місце постійний значний вплив зовнішнього середовища необхідно проводити дослідження попиту на вантажні перевезення, транспортних потоків і мобільності населення.

Список літератури до підрозділу 1.3

1. Рейцен Є.О., Степанчук О.В. Методи створення і ведення транспортно-екологічного моніторингу у містах України. *Містобудування та терит. планує.* 2004. Вип. 18. С. 178–186.
2. Timothy J. Wallington, James E. Anderson, Rachael H. Dolan, Sandra L. Winkler. Vehicle Emissions and Urban Air Quality: 60 Years of Progress. Research & Advanced Engineering, Ford Motor Company, Dearborn, USA. *Atmosphere.* 2022. №13(5), 650 p. DOI: 10.3390/atmos13050650.
3. Wallington, T.J.; Kaiser, E.W.; Farrell, J.T. Automotive Fuels and Internal Combustion Engines: A Chemical Perspective. *Chem. Soc. Rev.* 2006. Vol. 35. P. 335–347.
4. U.S. Energy Information Agency. 2022. Available online: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/transportation.php> (accessed on 12 January 2022).
5. European Environmental Agency, EEA. Air Pollutant Emissions Data Viewer (Gothenburg Protocol, LRTAP Convention 1990–2019). Available online: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/air-pollutant-emissions-data-viewer-4> (accessed on 19 August 2021).
6. Environmental Protection Agency. The 2021 EPA Automotive Trends Report, EPA-420-R-21-023; Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA.
7. Nelson, P.F. Evaporative Hydrocarbon Emissions from a Large Vehicle Population. *J. Air Pollu. Control Assos.* 1981. Vol. 31. P. 1191–1193.
8. DieselNet Emission Standards. Available online: https://dieselnet.com/standards/us/ld_t3.php (accessed on 12 January 2022).
9. Bishop, G.A. Three Decades of on-road Mobile Source Emissions Reductions in South Los Angeles. *J. Air Waste Manag. Assos.* 2021. Vol. 69. P. 967–976.
10. Bishop, G.A. On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Chicago Area: Fall 2020. CRC Report No. E-123, Coordinating Research Council. 2021. Available online: <https://crcao.org/published-report/> (accessed on 21 September 2021).
11. Степанчук О.В. Методи створення і ведення транспортно-екологічного моніторингу в крупних і найкрупніших містах (на прикладі м. Києва): автореф. дис. канд. техн. наук. 05.23.20. КНУБА. 2004. 16 с.

12. Запорожець А. О. Аналіз засобів моніторингу забруднення повітря навколишнього середовища. *Science-Based Technologies*. 2017. № 35 (3). С. 242–252.
13. Моніторинг якості атмосферного повітря: український та міжнародний досвід : Аналітична записка / Кольцов М., Шевченко Л. Київ: ГО «Фундація «Відкрите Суспільство», 2018. 13 с.
14. Якість атмосферного повітря в Україні до і під час повномасштабного вторгнення : Аналітичний звіт / Скок А., Хрутьба В., Рак О., Хлобистов Є. Дніпро: ГО «Збережи Дніпро», 2023. 67 с. URL: https://www.savednipro.org/wp-content/uploads/2023/10/zvit_doslidzhennya_101723.pdf.
15. Живага В. В., Малахова М. О., Шевченко Д. О. Система моніторингу якості повітря на базі IoT. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2021. Вип. 49. С. 49–57.
16. Система моніторингу довкілля та наслідки збройної агресії рф. URL: <https://eco.gov.ua/>.
17. SaveEcoBot. URL: <https://www.saveecobot.com/>.
18. Reporting guidelines. Covenants of Mayors for Climate and Energy. March 2020, 51 p.
19. Посібник: Як розробити План дій зі сталого енергетичного розвитку та клімату в країнах Східного партнерства. URL: <https://com-east.eu/uk/library/posibnyk-yak-rozrobyty-plan-dij-zi-stalogo-energetychnogo-rozvytku-ta-klimatu-v-krayinah-shidnogo-partnerstva/> (дата звернення: 23.11.2021).
20. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2 Energy. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html> (дата звернення: 06.04.2022).
21. Наказ №43 «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті» (Мінтранс від 10.02.98) (із змінами і доповненнями, останні з яких унесено наказом Міністерства інфраструктури України від 24 січня 2012 року № 36) URL: <https://www.buhoblik.org.ua/uchet/uchet-tovarov-i-materialov/888-normy-rasxoda-topliva.html> (дата звернення: 06.04.2022).
22. Статистичний збірник «Чисельність наявного населення України» URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publnasel_u.htm (дата звернення: 06.10.2024).

23. Tokmylenko T., Chernyshova O., Chyzhyk V. Investigation of greenhouse emission inventory from transport system functioning in large and medium cities. *Technology audit and production reserves : Chemical engineering / Ecology and Environmental Technology*. 2024. Vol. 1, No. 3(75). DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.298569>.
24. План сталої мобільності м. Житомир. URL: <https://zt-rada.gov.ua/files/upload/sitefiles/doc1566467125.pdf>.

1.4 Теоретичні основи та практичний досвід в питанні розрахунку кількості безоплатних та платних пасажирів на маршрутах міського пасажирського транспорту

В.М. Чижик

доцент кафедри транспортних систем і логістики ХНАДУ
канд. техн. наук

1. Державне регулювання та фінансування пільгових перевезень. Нормативна база розрахунку коефіцієнту співвідношення кількості безоплатних та платних пасажирів

Надійна робота міського пасажирського транспорту є одним з показників якості життя населення в місті. Попит населення на якісні перевезення став більш різноманітним по своїх просторових і годинних характеристиках, які важко врахувати при організації і управлінні пасажирськими перевезеннями в містах. Тому постає питання про необхідність отримання об'єктивної інформації про інтенсивність пасажиропотоку, склад пасажиропотоку і особливості споживання послуг міського пасажирського транспорту, визначення і прогнозування попиту пасажирів на різні типи рухомого складу.

Обсяги перевезень пасажирів на міських маршрутах громадського транспорту є величиною, яка цікавить багатьох учасників транспортного процесу. Основним засобом отримання інформації про обсяги перевезень пасажирів на міських маршрутах є проведення спеціальних обстежень пасажиропотоків.

На сьогоднішній день існує велика кількість методів їх проведення, які дозволяють отримати широкий набір показників, що характеризують транспортний процес на громадському транспорті.

Міський громадський транспорт відіграє ключову роль у забезпеченні мобільності населення, зокрема осіб із обмеженими можливостями, пенсіонерів, студентів та інших пільгових категорій. Забезпечення доступності транспорту є важливою складовою соціальної політики розвинених країн світу.

Впровадження в Україні механізму зобов'язань щодо надання транспортних послуг у сфері громадського транспорту, що передбачає гармонізацію національного законодавства з Регламентом 1370/20071, є важливою частиною інтеграції до Європейського Союзу [1]. Це передбачено Угодою про Асоціацію між Україною та Єв-

ропейським Союзом, а саме Додатком 32 Розділу V «Економічне і галузеве співробітництво» до глави 7 «Транспорт» [2]. Виконання цього зобов'язання мало відбутися протягом 8 років з набуття чинності Угоди про Асоціацію, тобто до 2022 року, однак не було вчасно виконано Верховною Радою України.

Основним принципом Регламенту ЄС є зобов'язання з надання громадських послуг (Public Service Obligations, PSO) у сфері транспорту. Модель PSO є важливим елементом загальноєвропейського законодавства у сфері державних закупівель. Відповідно до цієї моделі компетентний орган, що означає будь-який державний орган або групу таких органів, які мають право втручатися до послуг з перевезення пасажирів в окремій географічній зоні, повинні укласти контракт (угоду) на надання громадських послуг з перевізником, якому цей орган надає виключне право та/ або компенсацію в обмін на виконання зобов'язань з надання громадських послуг. Зобов'язання з надання громадських послуг означає вимогу забезпечення перевезень пасажирів громадським транспортом у загальних інтересах, яке перевізник, якби він враховував його власні комерційні інтереси, не брав би на себе, або не брав би в таких об'ємах або на таких самих умовах без винагороди.

Модель PSO – це ринковий механізм оплати транспортних послуг, коли замовники компенсують перевізникам втрачений прибуток на соціально важливих маршрутах. Наприклад, введення контрактних механізмів для підтримки доступності автобусних або залізничних перевезень для певних категорій населення (студентів, пенсіонерів, учнів), або забезпечення перевезень у ранкові або вечірні/нічні години, або на маршрутах, які не будуть прибутковими, що і є зобов'язаннями з надання громадських послуг.

Перевізники в Україні зобов'язані чинним законодавством до надання безоплатних послуг у перевезеннях численних пільговиків. При цьому транспортні пільги не обліковуються в Єдиному державному автоматизованому реєстрі осіб, які мають право на пільги, а визначаються цілою низкою нормативно-правових документів.

Згідно ст. 37 Закону України «Про автомобільний транспорт», пільгові перевезення пасажирів (тих, які мають на це право) забезпечують автомобільні перевізники на автобусних маршрутах загального користування [3]. Інформація про нормативно-правове регулювання пільгових перевезень в Україні представлена в табл. 1.

Нормативно-правове регулювання пільгових перевезень в Україні

Підстава	Категорія
ЗУ «Про статус ветеранів війни, гарантії їх соціального захисту» [4]	Учасники бойових дій, а також особи, прирівняні до них. Особи з інвалідністю внаслідок війни та прирівняні до них особи. Особа, яка супроводжує особу з інвалідністю I групи. Члени сімей загиблих (померлих) ветеранів війни. Члени сімей загиблих (померлих) Захисників і Захисниць України. Постраждали учасники Революції Гідності.
ЗУ «Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи» [5]	Громадяни, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи, віднесені до категорії 1. Учасники ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, які належать до категорії 2. Діти, яким встановлено інвалідність, пов'язану з Чорнобильською катастрофою.
ЗУ «Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю України» [6], постанова КМУ «Про поширення чинності постанови КМУ від 17 травня 1993 р. №354» від 16 серпня 1994 № 555 [7]	Особи з інвалідністю I, II групи. Особи, які супроводжують осіб з інвалідністю I групи або дітей з інвалідністю (не більше однієї особи, яка супроводжує особу з інвалідністю I групи або дитину з інвалідністю). Діти з інвалідністю.
Постанова КМУ України від 17 травня 1993 року № 354 «Про безплатний проїзд пенсіонерів на транспорті загального користування» [8]	Пенсіонери за віком
ЗУ «Про соціальний і правовий захист військовослужбовців та членів їх сімей» [9]	Батьки військовослужбовців, які загинули чи померли або пропали безвісти під час проходження військової служби. Військовослужбовці, які стали особами з інвалідністю внаслідок бойових дій, учасники бойових дій та прирівняні до них особи. Вдова (вдівець) загиблого або померлого військовослужбовця під час проходження військової служби, а також дружина (чоловік), у разі якщо вона (він) не взяла (не взяв) інший шлюб, та її (його) неповнолітні діти або

Підстава	Категорія
	повнолітні діти – особи з інвалідністю з дитинства, військовослужбовця, який пропав безвісти під час проходження військової служби.
ЗУ «Про реабілітацію жертв репресій комуніст. тоталітарного режиму 1917-1991 років» [10]	Реабілітовані особи, які стали особами з інвалідністю внаслідок репресій або є пенсіонером.
ЗУ «Про охорону дитинства» [11]	Діти з багатодітних сімей.
Постанова КМУ від 18.02.1997 №176 «Про затвердження Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту» [12]	Діти до 6 років (пасажир може провозити одну дитину без права зайняття нею окремого місця).
ЗУ «Про статус ветеранів військової служби, ветеранів органів внутрішніх справ, ветеранів Національної поліції і деяких інших осіб та їх соціальний захист» [13]	Ветерани військової служби. Ветерани органів внутрішніх справ. Ветерани державної пожежної охорони. Ветерани Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України. Ветерани служби цивільного захисту. Ветерани Державної кримінально-виконавчої служби України. Ветерани податкової міліції. Ветерани Національної поліції України. Ветерани Бюро економічної безпеки України.
Постанова КМУ від 05.04.1994 «Про поліпшення виховання, навчання, соціального захисту та матеріального забезпечення дітей-сиріт і дітей, позбавлених батьківського піклування» [14]	Діти-сироти і діти, позбавлені батьківського піклування, що виховуються або навчаються у навчально-виховних та навчальних закладах.
ЗУ «Про жертви нацистських переслідувань» [15]	Жертви нацистських переслідувань – колишні неповнолітні в'язні концентраційних таборів, гетто, інших місць примусового тримання. Жертви нацистських переслідувань – колишні малолітні в'язні концентраційних таборів, гетто та інших місць примусового тримання, визнані особами з інвалідністю.

Ті з пасажирів, які мають право на безкоштовний проїзд, повинні мати при собі посвідчення особи встановленого зразка, довідку або інший документ, на підставі якого надається пільга (у деяких містах можна оформити окремий електронний пільговий квиток – для автоматизованої системи обліку оплати проїзду в транспорті).

Статтею 91 Бюджетного кодексу України передбачено, що до видатків місцевих бюджетів, що можуть здійснюватися з усіх місцевих бюджетів, належать видатки, зокрема на: місцеві програми соціального захисту окремих категорій населення; компенсаційні виплати за пільговий проїзд окремих категорій громадян (підпункт б) та г) п. 3 частини першої ст. 91 Бюджетного кодексу України) [16].

Таким чином, фінансування втрат громадського транспорту від перевезення пільговиків покладено на органи місцевої влади та місцевого самоврядування. Місцеві органи виконавчої влади самостійно передбачають видатки, забезпечуючи при цьому контроль за ефективним і цільовим використанням коштів на зазначену мету.

Автомобільному перевізнику, який здійснює перевезення пасажирів на автобусних маршрутах загального користування, забороняється відмовлятися від пільгового перевезення, крім випадків, передбачених законом. Безпідставна відмова від пільгового перевезення тягне за собою відповідальність згідно із законом.

Види та обсяги пільгових перевезень установлюються замовленням, у якому визначається порядок компенсації автомобільним перевізникам, які здійснюють перевезення пасажирів на маршрутах загального користування, збитків від цих перевезень. Тобто, перевізники не можуть на власний розсуд встановлювати кількість пільгових пасажирів, яких вони мають перевозити.

Підприємства пасажирського автотранспорту, з одного боку, обмежені величиною регульованого органами місцевої влади (замовниками перевезень) тарифу, а з іншого, зобов'язані законом до надання безоплатних послуг у перевезеннях численних пільговиків. Діючий механізм компенсації пільгових перевезень призводить до невідповідності бюджетних ресурсів реальним обсягам пільгових перевезень, перевізникам відшкодовується лише незначна частина втрачених доходів – (15-20)% від фактичної суми втрат доходів від пільгових перевезень [17].

На теперішній час на державному рівні відсутній механізм обліку кількості перевезених громадян пільгової категорії та порядок проведення розрахунків з компенсаційних виплат за пільговий про-

їзд. Недостатність законодавчого врегулювання призводить до ускладнення відстеження ефективності і об'єктивності при наданні компенсації за пільгове перевезення.

Порядок проведення розрахунків компенсації за пільговий проїзд окремих категорій громадян визначається органами місцевої влади та місцевого самоврядування. Для прикладу, основним нормативним документом, якій регулює питання компенсації перевезення пільгових категорій громадян в місті Суми на місцевому рівні є рішення виконавчого комітету. Згідно з цим документом, обстеження пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні необхідно проводити відповідно до затвердженого порядку два рази на рік у березні та жовтні кожного року. Визначений за результатами обстеження коефіцієнт співвідношення кількості безоплатних та платних пасажирів використовується для визначення суми компенсаційних виплат, які приймаються до відшкодування від підприємств – перевізників, за умови якщо він не більше обрахованого Сумським обласним управлінням статистики.

Порядок проведення обстеження пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні та обліку кількості перевезених пасажирів міським транспортом, що є додатком до рішення виконавчого комітету № 241 вимагає того, що обстеження пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні повинні проводитись:

– незалежними установами (організаціями) відповідно до укладених договорів на виконання робіт з транспортними підприємствами (підприємцями), якими визначається процедура проведення обстеження пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні, без залучення представників структурних підрозділів виконавчого комітету;

– або транспортними підприємствами (підприємцями), які обслуговують міські маршрути відповідно до укладених договорів на перевезення пасажирів на постійних міських автобусних та тролейбусних маршрутах загального користування, за умови залучення представників структурних підрозділів виконавчого комітету, а саме: управління праці та соціального захисту населення міської ради, відділу логістики та зв'язку міської ради, управління соціально – економічного розвитку міської ради та інші.

Незалежні установи (організації) повинні мати відповідні дозвільні документи на право здійснення обстежень пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні. За результатами проведення об-

стеження надають розрахований фактичний коефіцієнт співвідношення кількості безплатних та платних пасажирів.

Транспортні підприємства (підприємці): проводять обстеження пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні із залученням представників структурних підрозділів виконавчого комітету; розраховують фактичний коефіцієнт співвідношення кількості безплатних та платних пасажирів на підставі звітів обстеження, складених за участю представників структурних підрозділів виконавчого комітету; несуть відповідальність разом з представниками структурних підрозділів виконавчого комітету, що беруть участь в обстеженні пасажиропотоків, за правильність та достовірність складання щоденних звітів, оформлених в ході проведення обстеження, та загального звіту, сформованого за підсумками обстеження.

Виконавчий комітет Сумської міської ради укладає відповідні договори з незалежною установою (організацією) або транспортним підприємством (підприємцем), умови яких погоджуються з відділом логістики та зв'язку, управлінням праці та соціального захисту населення, фінансовим управлінням, управлінням соціально-економічного розвитку, правовим управлінням Сумської міської ради.

Обстеження пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні проводиться на всіх маршрутах та машинах, які виходять на лінію, протягом всієї зміни роботи міського транспорту на маршруті протягом одного тижня. На період обстеження пасажиропотоків у міському сполученні для визначення фактичного коефіцієнту співвідношення безоплатних та платних пасажирів рахуються кількісні показники:

- кількість пасажирів, які користуються одноразовими проїзними квитками;
- кількість пасажирів, які користуються абонементними місячними квитками;
- кількість пасажирів, які мають право та користуються безплатним проїздом в міському транспорті відповідно до Закону України «Про Державний бюджет України» на відповідний рік.

На основі цих даних розраховується фактичний коефіцієнт співвідношення кількості безоплатних та платних пасажирів за формулою:

$$K = \frac{B}{П}, \quad (1)$$

де K – фактичний коефіцієнт співвідношення кількості безоплатних і платних пасажирів;

B – кількість пасажирів, які мають право та користувалися безоплатним проїздом в міському транспорті відповідно до Закону України «Про Державний бюджет України» на відповідний рік в період обстеження;

$П$ – кількість перевезених пасажирів, які відносяться до платної категорії.

Виконавець обстеження, з яким виконавчий комітет Сумської міської ради уклав договір щодо проведення обстеження пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні:

– організовує оформлення та виготовлення спеціальних квитків для видачі в період обстеження пасажирам, які відносяться до платної категорії, та пасажирам, які користуються безоплатним проїздом відповідно до Закону України «Про Державний бюджет України» на відповідний рік;

– розпочинає обстеження з початку рейсу, виїжджаючи з депо (гаража);

– фіксує кількість платно та безоплатно перевезених пасажирів по кожному рейсу, здійсненому машиною, шляхом видачі спеціальних квитків окремо пасажирам, які здійснюють оплату за проїзд, враховуючи і пасажирів, що користуються абонементними місячними квитками, та пасажирам, які користуються безоплатним проїздом відповідно до Закону України «Про Державний бюджет України» на відповідний рік;

– складає за підсумками роботи транспорту на лініях щоденний звіт про хід проведення обстеження протягом всього періоду пасажиро обстеження;

– надає щоденні звіти про хід проведення обстеження пасажиропотоків відділу логістики та зв'язку та управлінню праці та соціального захисту населення Сумської міської ради;

– за підсумками проведеного обстеження пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні узагальнює інформацію та надає зведений звіт та загальний звіт відділу логістики та зв'язку Сумської міської ради для розрахунку коефіцієнту співвідношення кількості безоплатних та платних пасажирів.

Керівники транспортних організацій та підприємств:

- забезпечують безумовне виконання графіків руху транспорту;
- здійснюють інформування населення про період та умови проведення обстеження пасажиропотоків;
- сприяють проведенню незалежною установою (організацією) обстеження пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні протягом одного тижня.

Для контролю за порядком проведення обстеження пасажиропотоків управління (відділи) Сумської міської ради, а саме: управління праці та соціального захисту населення, управління соціально-економічного розвитку, відділ логістики та зв'язку, направляють своїх представників для участі в обстеженні пасажиропотоків на окремих маршрутах та окремих машинах протягом двох днів, за підсумками яких у разі відсутності зауважень та розбіжностей складаються звіти, які підписуються представником виконавця обстеження та представником управління (відділу) міської ради.

У разі виявлення представниками управлінь (відділів) міської ради порушень з боку виконавця обстеження щодо порядку проведення обстеження пасажиропотоків, оформляється акт, який подається відділу логістики та зв'язку міської ради для врахування при розрахунку коефіцієнту співвідношення кількості безоплатних та платних пасажирів та визначення доцільності продовження проведення обстеження пасажиропотоків даним виконавцем обстеження. Визначений в ході обстеження пасажиропотоків фактичний коефіцієнт співвідношення кількості безоплатних та платних пасажирів діє до визначення іншого коефіцієнту в ході наступного обстеження.

Прийнятий «Порядок проведення обстеження пасажиропотоків на маршрутах у міському сполученні та обліку кількості перевезених пасажирів міським транспортом» відноситься до вибірових методів обстеження пасажиропотоків табличним методом з серійним способом відбору одиниць у вибірову сукупність.

Методичною основою для цього є наказ Міністерства статистики України № 150 від 27.05.96 р. «Про затвердження Інструкції про порядок обліку пасажирів, що перевозяться громадським транспортом на маршрутах. Не зважаючи на те, що наказом Державної служби статистики України №290 від 12.10.15 р. він був позбавлений чинності, Інструкція про порядок обліку пасажирів, що перевозяться громадським транспортом на маршрутах (далі – Інструкція) має широке

застосування, оскільки новий альтернативний нормативний документ так і не був прийнятий.

Інструкція встановлює єдиний порядок обліку кількості перевезених пасажирів (включаючи тих, які користуються правом безоплатного та пільгового проїзду) та пасажирообороту громадського транспорту (автобусів, тролейбусів, трамваїв) у міському, приміському та міжміському сполученні [18].

Кількість перевезених пасажирів у міському сполученні дорівнює сумі кількості перевезених пасажирів за разовими квитками (талонами), абонементними квитками та кількості пасажирів з правом безоплатного проїзду. При цьому:

- кількість перевезених пасажирів за разовими квитками (талонами) на одну поїздку визначається діленням виручки від продажу разових квитків на затверджений органом місцевої виконавчої влади для цього виду громадського транспорту тариф або на єдиний тариф для всіх видів транспорту;

- кількість перевезених пасажирів за абонементними квитками визначається множенням кількості проданих абонементних квитків на встановлену кількість поїздок для кожного його типу;

- кількість перевезених пасажирів за посвідченнями, що надають право безоплатного проїзду у громадському транспорті, визначається відповідно до п. 8 Інструкції.

Кількість перевезених пасажирів, які користуються правом безоплатного проїзду у громадському транспорті, визначають за формулою:

$$B = K \cdot П. \quad (2)$$

Розрахунки значень коефіцієнтів співвідношення «безплатних та платних пасажирів» за видами сполучення для підприємств громадського транспорту (автобусних, тролейбусних, трамвайних) виконують регіональні управління статистики один раз на рік на підставі даних діючої державної статистичної звітності та встановленої середньомісячної частоти поїздок окремих категорій громадян з правом безоплатного проїзду у громадському транспорті за видами сполучення. Для працюючих категорій громадян з правом безоплатного проїзду у громадському транспорті середньомісячна частота поїздок у внутрішньоміському сполученні дорівнює 60 одиницям, у приміському – 50 одиницям. Для непрацюючих категорій громадян цей показник визначається Держстатом України шляхом анкетного опитуван-

ня населення не частіше одного разу на п'ять років і приймається постійною величиною для обліку і розрахунків до наступного анкетного опитування.

Розрахунки виконують у такій послідовності: на підставі даних діючої державної статистичної звітності про чисельність громадян, яким надано право безоплатного проїзду у громадському транспорті у міському і приміському сполученні, та про чисельність учнів денних сільських загальноосвітніх шкіл, визначається кількість безплатно перевезених пасажирів за другий квартал поточного року. Якщо за рішенням місцевої держадміністрації право безплатного проїзду у громадському транспорті додатково до визначених законодавством груп населення надано також іншим категоріям громадян, їх чисельність враховується при виконанні розрахунків.

На підставі даних державної статистичної звітності про кількість «платних пасажирів», яких перевезено на маршрутах окремими видами громадського транспорту за другий квартал поточного року (маршрутними автобусами, маршрутними тролейбусами та маршрутними трамваями), визначається кількість «платних пасажирів» разом по регіону, в тому числі у внутрішньоміському сполученні – окремо в обласному центрі та в іншій міській місцевості, а також у приміському сполученні.

На підставі одержаних результатів визначаються коефіцієнти співвідношення обсягів «безплатних і платних пасажирів» у внутрішньоміському сполученні окремо для обласного центру та для іншої міської місцевості, а також у приміському сполученні. Одержані коефіцієнти співвідношення затверджуються у встановленому порядку і доводяться до всіх підприємств громадського транспорту регіону, які виконують регулярні (маршрутні) пасажирські перевезення у міському і приміському сполученні, регіональними управліннями статистики не пізніше 20 вересня звітного року.

Слід відзначити необґрунтованість підходу до розподілу компенсації транспортним підприємствам за обслуговування пільгових категорій через коефіцієнт співвідношення кількості безоплатних та платних пасажирів. Ця величина може істотно коливатися, методика не враховує різниці між приватними перевізниками та комунальними підприємствами, вона ніяким чином не відображає завдань електротранспорту та ефективність його роботи, при цьому потребує додаткових витрат на проведення обстежень пасажиропотоків.

При проведенні обстеження також необхідно враховувати діючий наказ Міністерства інфраструктури України № 480 від 15.07.13 р. [19], згідно з яким вивчення пасажиропотоків проводиться з використанням табличних, облікових методів (з обробкою та моделюванням вихідної інформації) та з використанням візуального методу, а обстеження пасажиропотоків забезпечується відповідними організаціями пасажирських перевезень.

Численні категорії пільговиків, що мають право на необмежений безоплатний проїзд, недостовірний облік фактично наданих пільг та неможливість його проконтролювати, невідповідність бюджетних можливостей реальним обсягам перевезень пільговиків, недосконалий механізм розподілу компенсації коштів місцевої влади за перевезення пільгових громадян, відсутність компенсації на міжобласних перевезеннях та надання пільг без прив'язки до доходів отримувача можна віднести до недоліків успадкованої Україною радянської системи пільг.

Забезпечення доступності транспорту є важливою складовою соціальної політики розвинених країн, таких як США та країни ЄС, однак вони застосовують дещо інший підхід. У США надання пільг на міський транспорт регулюється Федеральною адміністрацією транспорту (FTA), яка здійснює фінансування місцевих транспортних програм. Зокрема, уряд фінансує програми знижок та безкоштовного проїзду для пенсіонерів, осіб із інвалідністю та ветеранів через грантові механізми та державні субсидії [20]. У країнах ЄС пільговий проїзд фінансується на рівні національних та місцевих бюджетів. Наприклад, у Німеччині діє система «Sozialticket», що забезпечує значні знижки для малозабезпечених верств населення. У Швеції особи старше 65 років мають право на безкоштовний або суттєво здешевлений проїзд у громадському транспорті [21].

Окрім фінансової підтримки, значна увага приділяється адаптації транспорту для маломобільних груп населення. Наприклад, у США діє Закон про американців з інвалідністю (ADA), який зобов'язує транспортні компанії забезпечувати доступність транспорту для осіб із порушеннями опорно-рухового апарату, включаючи низькопідлогові автобуси, спеціальні ліфти та аудіовізуальні оголошення [22]. У Європі також існують подібні вимоги. Наприклад, у Франції та Великій Британії всі нові автобуси повинні відповідати стандартам доступності. У Нідерландах активно розвивається інклюзивна транспортна

мережа з тактильними підказками для людей із порушеннями зору та спеціальними платформами для інвалідних візків.

Переваги європейської системи пільг і компенсацій громадянсько-мочевидні: пільги на проїзд забезпечуються шляхом адресної грошової допомоги та різних знижок транспортним підприємствам, максимальна мінімізація пільгових категорій (до 5 % населення), для малозабезпечених та найбільш вразливих верств населення державою надаються пільги (у вигляді індексації доходів, зменшення податків, тощо), здійснюються адресні виплати в основному здійснюються з місцевих бюджетів, пільги з перевезення надаються на регіональному та місцевому рівні.

Реформування вітчизняної системи соціальної допомоги та соціальних виплат можливе у напрямку зняття відповідальності за соціальні заходи держави з перевізників і адресному перерахуванні коштів кожному «пільговику» у вигляді щомісячної грошової компенсації у порядку та розмірах, визначених Кабінетом Міністрів України, якими особа могла б розрахуватися за отримані транспортні послуги на загальних підставах. Також для досягнення принципу справедливості розподілу суспільного продукту сума розміру грошової компенсації для всіх пільговиків передбачена однаковою, хоча вартість перевезення міським транспортом у різних населених пунктах відрізняється. Слід зауважити, що державні соціальні стандарти і нормативи (норми) щодо пільгового проїзду громадянам окремих категорій, які мали б бути основою для розрахунку видатків на соціальні цілі, формування на їх основі бюджетів усіх рівнів і міжбюджетних відносин в Україні досі не затверджені.

Пільгові перевезення мають позитивний вплив на економічну активність та соціальну інтеграцію вразливих груп населення. Доступний транспорт сприяє підвищенню рівня зайнятості серед осіб із низькими доходами, а також покращує якість життя пенсіонерів та осіб із інвалідністю.

2. Статистичні основи проведення обстеження співвідношення кількості платних і безоплатних пасажирів на маршрутах міського пасажирського транспорту

Обстеження співвідношення кількості пасажирів, які користуються безоплатним та платним проїздом, однозначно має вибірковий характер. Це зумовлено безперервним функціонуванням міського па-

сажирського транспорту та відсутністю автоматизованих систем обліку пасажиропотоків. Вказані фактори ускладнюють визначення обсягу генеральної сукупності, оскільки її розмір динамічно змінюється. Таким чином, під час вибору методів оцінювання та розрахунків необхідно враховувати зазначені особливості. Що таке генеральна сукупність?

Генеральна сукупність – це вся сукупність об'єктів або явищ, що мають певні характеристики, які вивчаються у межах статистичного або соціологічного дослідження. Вона може бути кінцевою (обмеженою) або нескінченною [23].

Багато завдань статистичного аналізу пов'язані з дослідженням великих сукупностей об'єктів. У практичних умовах повне охоплення всіх елементів таких сукупностей часто є неможливим через технічні, економічні або організаційні обмеження. У таких випадках аналіз здійснюється на основі дослідження частини генеральної сукупності, яка в такому випадку називається вибірковою сукупністю або вибіркою [23].

Результати, отримані в процесі аналізу вибіркової сукупності, екстраполюються на всю генеральну сукупність. Для забезпечення достовірності таких узагальнень вибірка повинна не бути випадковою частиною генеральної сукупності, а коректно відображати її основні статистичні характеристики. Іншими словами, вибірка має бути репрезентативною.

Репрезентативність вибірки – це властивість вибіркової сукупності, яка забезпечує адекватне відображення характеристик генеральної сукупності. Репрезентативна вибірка дозволяє отримати достовірні узагальнення щодо всієї генеральної сукупності, зменшуючи похибки дослідження [24].

Досягнення репрезентативності вибірки, тобто її здатності коректно відображати основні характеристики генеральної сукупності, можливе лише за умови дотримання принципу випадковості. На перший погляд, це може здатися парадоксальним, однак випадковість у статистичному контексті не означає хаотичності або довільності відбору. Навпаки, вона передбачає, що кожен елемент генеральної сукупності має однакову ймовірність потрапити до вибірки.

Найпростішим методом забезпечення випадковості є простий випадковий відбір, наприклад, шляхом жеребкування. У більш складних випадках застосовують таблиці випадкових чисел або генератори випадкових послідовностей. Для великих, але відносно однорід-

них сукупностей ефективним є механічний відбір, що використовувався ще в земській статистиці та базується на систематичному включенні елементів у вибірку за певним інтервалом.

Для неоднорідних сукупностей із чітко вираженою структурою доцільніше застосовувати типовий відбір, який дозволяє забезпечити представництво всіх значущих груп генеральної сукупності. Окрім цього, існують і більш складні методи формування вибірки, зокрема комбіновані підходи, що передбачають поєднання різних способів відбору на різних етапах побудови вибіркової сукупності.

Однак, навіть найбільш ретельно сформована вибірка не здатна забезпечити абсолютну точність у відображенні характеристик генеральної сукупності. Це обумовлює наявність вибірових похибок, які поділяються на два основні класи: випадкові та систематичні.

Випадкові похибки виникають через відхилення вибірових характеристик від відповідних параметрів генеральної сукупності. Наприклад, середнє значення певної ознаки у вибірці може відрізнитися від середнього значення цієї ознаки в генеральній сукупності. Такі похибки є неминучими, оскільки зумовлені самою природою вибіркового методу. Водночас їхня величина піддається математичній оцінці, що дозволяє контролювати рівень їх впливу.

Систематичні похибки, на відміну від випадкових, не мають стохастичного характеру. Вони виникають через невідповідність структури вибірки реальній структурі генеральної сукупності. Основною причиною появи систематичних похибок є порушення принципу рівномірного потрапляння всіх елементів генеральної сукупності до вибірки. Для мінімізації цих похибок необхідно ретельно контролювати процес відбору, забезпечуючи його відповідність статистичним принципам репрезентативності.

Виникає питання: як сильно відхиляється ця оцінка від істинного значення? Зокрема, чи не можна вказати таку величину помилки, що «практично вірогідно» (тобто з імовірністю, близької до одиниці) гарантувала б, що вибіркова оцінка не відрізняється від невідомого значення більш, ніж на величину цієї помилки? Тобто, чи не можна вказати навколо вибіркового значення такий інтервал, який би із заданою (досить високою) імовірністю, – довірчою ймовірністю – «покривав» би істинне значення цього параметра? Цей інтервал у математичній статистиці називається довірчим інтервалом; його величина залежить як від довірчої ймовірності (тобто надійності оцінювання), так і від обсягу вибірки.

Виявляється, що всі ці вибіркові середні при достатньо великих вибірках розподілені нормально навколо генеральної середньої при достатньо великій кількості повторень вибірки одного й того числа об'єктів з генеральної сукупності. При цьому неминучий розкид вибірових середніх навколо генеральної середньої називається стандартною помилкою вибірки.

На практиці навколо вибіркового значення будується такий інтервал, який би із заданою (досить високою) ймовірністю – довірчою ймовірністю – «покривав» би щире значення цього параметра в генеральній сукупності. Цей інтервал у математичній статистиці називається довірчим інтервалом. Довірча ймовірність P – це ступінь упевненості в тому, що довірчий інтервал дійсно буде містити істинне (невідоме) значення параметра в генеральній сукупності. Довірча ймовірність виражається відсотком вибірок даного обсягу, які дають довірчі інтервали, що містять значення в генеральній сукупності.

3. Методика проведення обстеження співвідношення кількості безоплатних та платних пасажирів на маршрутах міського пасажирського транспорту

3.1. Відбір та інструктаж обліковців для проведення обстеження пасажиропотоків

З моменту свого заснування у 2011 році колектив кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) активно займається науково-дослідною діяльністю в галузі транспортного планування та логістики. Основні дослідження здійснюються на замовлення органів місцевого самоврядування, зокрема міських рад, а також комунальних транспортних підприємств, що експлуатують маршрути міського пасажирського транспорту.

Одним із ключових завдань, які постають перед операторами міського пасажирського транспорту та муніципальними адміністраціями, є точне визначення кількості перевезених пасажирів, диференційованих за соціальними категоріями. Актуальність цього питання обумовлена необхідністю збалансування фінансових потоків, пов'язаних із наданням компенсацій за перевезення пільгових категорій населення.

Зокрема, транспортні підприємства зацікавлені у максимізації обсягів задекларованих перевезень пільгових пасажирів, що безпосередньо впливає на розмір компенсаційних виплат з місцевого бюджету. Водночас органи місцевого самоврядування прагнуть до оптимізації бюджетних витрат, що спричиняє необхідність ретельної верифікації поданих транспортними операторами даних. Така суперечність інтересів між суб'єктами транспортного процесу може призводити до викривлення статистичних показників у бік зацікавленої сторони.

У зв'язку з цим виникає об'єктивна потреба у залученні незалежної експертної інституції, яка має достатній науково-методичний потенціал, кваліфікованих спеціалістів та практичний досвід проведення аналітичних досліджень у сфері транспортної логістики. Залучення нейтрального експерта дозволяє забезпечити об'єктивність та достовірність результатів аналізу пасажиропотоків, що є критично важливим для ефективного управління міським транспортом та фінансовим плануванням у сфері транспортного обслуговування населення.

Процес організації та виконання обстеження пасажиропотоків міського пасажирського транспорту складається з шести основних етапів:

1) формування та підготовка групи обліковців:

– відбір кваліфікованих обліковців, здатних здійснювати точний та об'єктивний облік пасажирів;

– проведення інструктажу, щодо методики обстеження, правил заповнення облікових карток та вимог до збору даних;

– ознайомлення з правилами техніки безпеки при роботі на зупинках громадського транспорту та в салоні транспортних засобів;

2) аналіз транспортної мережі та маршрутів обстеження;

– вивчення схеми маршрутної мережі міського транспорту, що підлягає дослідженню;

– визначення ключових точок для проведення вимірювань (пересадкові вузли, кінцеві станції, маршрути з високим пасажиропотоком години пікового навантаження на маршрутну мережу);

– планування оптимального розподілу обліковців для забезпечення репрезентативності даних;

3) підготовка документації для збору даних:

- розробка стандартизованої форми облікової картки для фіксації інформації про пасажиропотоки;

- друк необхідної кількості карток відповідно до плану проведення обстеження;

4) проведення польових досліджень:

- виконання вимірювань у визначених місцях та часових інтервалах відповідно до затвердженої методики;

- мінімізація впливу людського фактору на результати шляхом дотримання протоколів збору інформації;

- оперативний контроль та корекція процесу обстеження за необхідності;

5) обробка та аналіз отриманих даних:

- первинна верифікація зібраної інформації на предмет помилок та невідповідностей;

- внесення даних у цифровий формат та виконання математико–статистичної обробки;

- виконання розрахунків щодо кількості перевезених пасажирів та структури пасажиропотоків за категоріями;

б) підготовка аналітичного звіту:

- формування підсумкового звіту із відображенням отриманих результатів, включаючи графіки, таблиці та аналітичні висновки;

- надання рекомендацій, щодо оптимізації маршрутної мережі та фінансових розрахунків компенсацій за перевезення пільгових категорій пасажирів.

- передача результатів замовнику для подальшого використання в управлінні міською транспортною системою.

Процес відбору обліковців є ключовим етапом підготовки дослідження, оскільки якість зібраних даних безпосередньо залежить від їхньої професійної підготовки, уважності та об'єктивності. Неправильний облік пасажирів може суттєво вплинути на достовірність результатів дослідження, що своєю чергою вплине на рішення щодо транспортної політики та фінансування перевезень. Попередній відбір здійснюється керівником дослідження за такими критеріями:

- перевага надається студентам або випускникам технічних спеціальностей, зокрема транспортних систем, економіки транспорту та міського планування;

- обліковці повинні мати навички коректного внесення інформації в облікові картки та бази даних без допущення механічних або логічних помилок;

- процес збору даних є рутинним, тому важливо, щоб кандидати могли зберігати концентрацію протягом тривалого часу;

- обліковці повинні вміти адаптуватися до праці у складних погодних умовах (спека, холод, опади), а також здійснювати переміщення між зупинками або проводити обстеження у русі всередині транспортних засобів;

- у процесі збору даних можливі суперечки з пасажирами або персоналом транспортного підприємства, тому обліковці повинні бути толерантними та не вступати в конфлікти;

- дослідження передбачає роботу у групах, тому важливо, щоб обліковці могли взаємодіяти між собою, з керівниками груп та організаторами обстеження.

Після відбору кандидатів формується остаточний список учасників, які проходять подальше навчання та підготовку.

Наступним етапом навчання та відбору обліковців є проведення інструктажу, щодо методики обстеження, правил заповнення облікових карток та вимог до збору даних. Інструктаж є невід’ємною складовою підготовки обліковців та має на меті забезпечення єдиного підходу до збору даних, що виключає суб’єктивні відхилення та помилки у процесі реєстрації пасажиропотоків.

Під час проведення інструктажу керівник повинен розглянути питання, які стосуються методики проведення обстеження, заповнення облікових карток, вимоги до збору даних, техніки безпеки.

В основні питання методики проведення обстеження слід включити обговорення основних цілей та завдань обстеження, принципи статистичної вибірки та її значення для репрезентативності дослідження. Види обліку: суцільний (на певному маршруті) або вибірко-вий (на певних ділянках). На конкретному прикладі, який буде використовуватись під час проведення дослідження продемонструвати заповнення облікової картки.

Керівник надає пояснення стосовно того, що обліковці повинні дотримуватись нейтральної позиції при спостереженні (відсутність впливу на пасажирів або водіїв). Мінімізувати похибки при підрахунку пасажирів у години пік. Забезпечувати коректне відображення змін у потоці пасажирів у реальному часі. Забороняється коригувати дані «заднім числом» або навмисно спотворювати інформацію.

Робота обліковців на зупинках громадського транспорту та в салоні транспортних засобів здійснюється у середовищі з підвищеним рівнем небезпеки. Вона передбачає постійний контакт із пасажирями, водіями та кондукторами, що може призводити до конфліктних ситуацій або створювати потенційні загрози для здоров'я та безпеки обліковців.

Щоб уникнути ризиків, обліковці повинні дотримуватися чітко визначених правил поведінки та комунікації:

- завжди залишатися уважним до оточення, особливо на зупинках, де можливий неконтрольований рух транспорту та пасажирів;
- не перебувати на краю посадкового майданчика та не заходити на проїжджу частину під час обстеження;
- уникати натовпу та великого скупчення людей, особливо у години пік, щоб запобігти випадковим конфліктам або травмам;
- бути ввічливим і коректним під час взаємодії з учасниками транспортного процесу, не створюючи зайвої напруги;
- завжди мати при собі посвідчення обліковця та за необхідності демонструвати його працівникам транспорту або представникам правоохоронних органів;
- не відволікати водія під час руху транспортного засобу, а всі питання узгоджувати на зупинках або кінцевих пунктах маршруту;
- не втручатися в роботу кондуктора, не перешкоджати йому виконувати свої посадові обов'язки;
- не запитувати у водіїв або кондукторів дані про кількість пасажирів – облік ведеться самостійно, без зовнішнього впливу;
- у разі виникнення конфліктної ситуації негайно повідомити координатора дослідження та утриматися від подальшого загострення суперечки;
- за необхідності звертатися до відповідальних представників транспортного підприємства, не вирішувати проблеми самостійно;
- не вступати в дискусії з пасажирями, особливо щодо правил перевезення, пільг чи тарифів – обліковці не є представниками перевізника або міської адміністрації;
- уникати фізичного контакту з пасажирями – не перегороджувати прохід, не торкатися людей і не створювати перешкод для посадки/висадки.
- якщо пасажир цікавиться метою обстеження, відповідати коротко та нейтрально: «Ми проводимо статистичне дослідження пасажиропотоків»;

- у разі агресивної поведінки пасажирів не відповідати взаємною агресією, а спокійно повідомити координатора та за необхідності покинути транспортний засіб;

- якщо ситуація загострюється (конфлікт з водієм, кондуктором чи пасажиром) – залишити місце обстеження та повідомити відповідального координатора;

- у разі фізичної загрози або порушення громадського порядку – звернутися до поліції за номером 102;

- якщо стався нещасний випадок або травмування – викликати швидку допомогу за номером 103 та повідомити керівництво дослідження;

- при надзвичайних ситуаціях (пожежа, аварія, технічна несправність транспорту) – діяти відповідно до інструкцій персоналу транспортного засобу та забезпечити власну безпеку.

Після завершення інструктажу всі обліковці проходять коротке тестування, яке дозволяє перевірити рівень засвоєння отриманої інформації. Тестування може містити як теоретичні питання, так і практичні завдання, спрямовані на оцінку розуміння методики обстеження, правил взаємодії з пасажиром та персоналом транспорту, а також вимог техніки безпеки. Після успішного проходження тестування обліковці ставлять свої підписи у журналі інструктажу з техніки безпеки.

3.2. Методика проведення обстеження співвідношення кількості безоплатних та платних пасажирів

Методика оцінки пасажиропотоків базується на багаторічному практичному та науковому досвіді кафедри транспортних технологій і кафедри транспортних систем та логістики у сфері дослідження міських перевезень. Упродовж останніх 10 років фахівці кафедри проводили численні емпіричні дослідження потоків пасажирів, що дозволило сформулювати ефективні методичні підходи до збору, аналізу та інтерпретації транспортних даних.

Застосування випадкового або масового відбору обліковців без належної підготовки не гарантує отримання об'єктивних результатів. Це особливо актуально в умовах, коли інші суб'єкти транспортного процесу – водії та кондуктори – можуть мати фінансову зацікавленість у викривленні фактичних даних.

Об'єктивні та репрезентативні результати можуть бути отримані лише за умови проведення обстеження спеціальною групою кваліфікованих обліковців у кількості не більше 20 осіб. Доцільність обмеження кількості залучених спеціалістів пояснюється необхідністю мінімізувати можливі викривлення даних та забезпечити високий рівень контролю за якістю проведення дослідження. Важливим аспектом методики є мінімізація контактів між обліковцями та персоналом транспортного підприємства, що дозволяє виключити потенційний вплив суб'єктивних факторів на результати обстеження.

Зазначені обставини визначають необхідність зміни традиційного підходу до збору даних. Замість безперервного супроводження транспортних засобів протягом усього маршруту, пропонується впровадження методики випадкового точкового вимірювання чисельності пасажирів у салоні. Такий підхід дозволяє отримати статистично значущі результати без суттєвого збільшення трудових витрат та часових ресурсів.

При цьому немає необхідності окремо ідентифікувати платних пасажирів за способом оплати (одноразові квитки, абонементні проїзні документи тощо), оскільки в межах загальної структури пасажиропотоку вони не утворюють суттєво диференційованих груп. Основний акцент дослідження робиться на розмежуванні категорій платних та безоплатних пасажирів, що є ключовим фактором для оцінки компенсаційних виплат та оптимізації транспортної політики.

Під час проведення обстеження пасажиропотоків обліковці повинні мати детальне розуміння схеми маршрутної мережі з метою забезпечення рівномірного охоплення транспортної системи. Методика дослідження передбачає випадковий розподіл місць спостереження в різні дні тижня та години доби, що дозволяє мінімізувати вплив сезонних і добових коливань пасажиропотоків.

Для підвищення ефективності збору даних та запобігання дублюванню інформації кожна група обліковців повинна діяти відповідно до заздалегідь розробленого плану, який передбачає чіткий графік спостережень, місця контролю та взаємодію між групами. Координація роботи здійснюється через централізований зв'язок між обліковцями та відповідальними координаторами, що дозволяє уникнути повторного обстеження тих самих транспортних засобів або маршрутів.

Одним із ефективних способів запобігання дублюванню є географічний розподіл обліковців у межах міста: розміщення груп на діаметрально протилежних частинах міської території для рівномірно-

го охоплення маршрутної мережі; закріплення обліковців за початковими та кінцевими зупинками маршрутів.

Приклад розташування обліковців на маршрутній мережі міста Суми зображено на рис. 1.

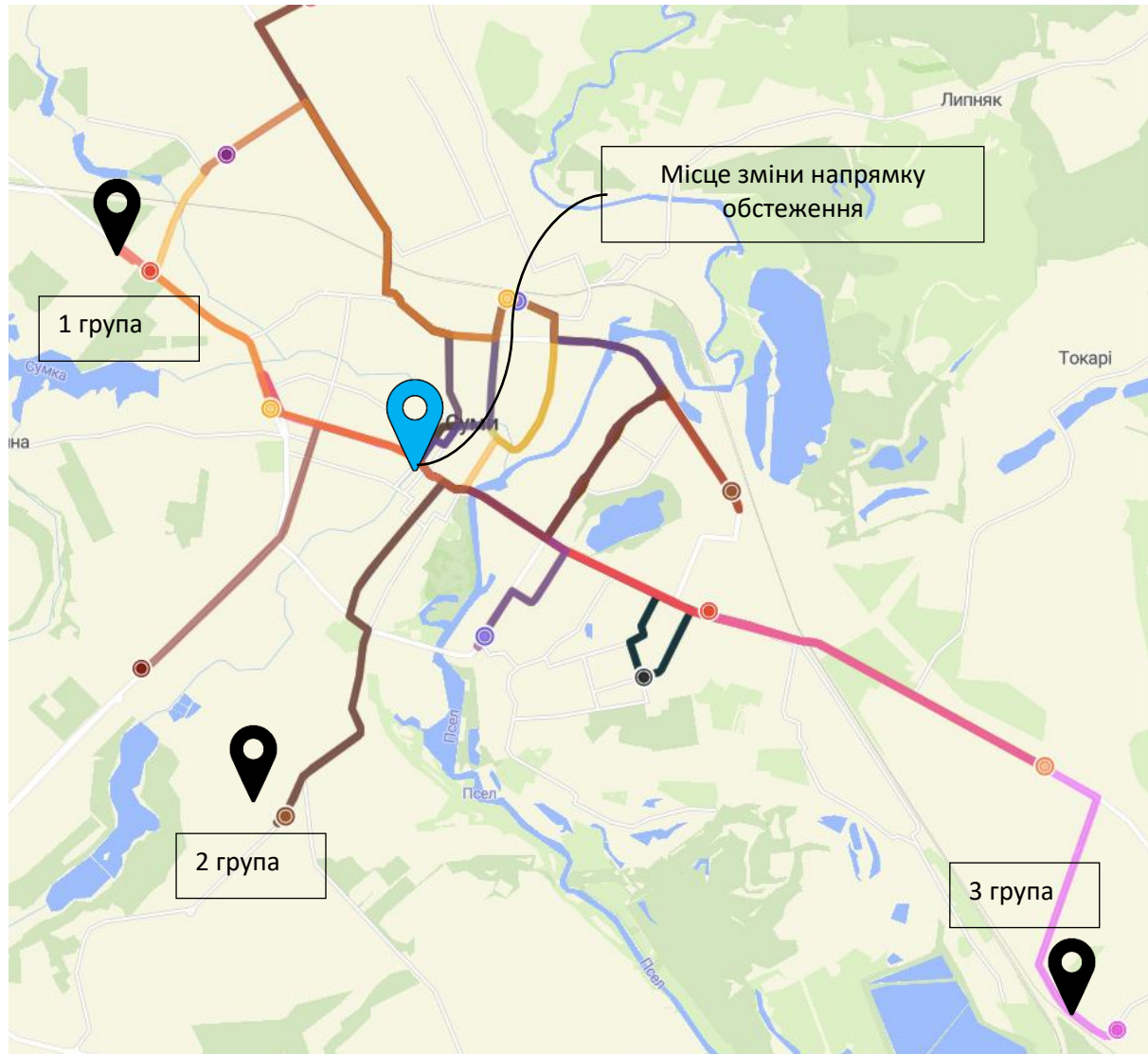


Рис. 1. Розташування груп обліковців на маршрутній мережі міста Суми

Для забезпечення точності та об'єктивності збору даних група обліковців повинна складатися щонайменше з двох осіб. Це дозволяє мінімізувати ризик помилок, пов'язаних із людським фактором, та забезпечує можливість перехресної перевірки отриманих результатів.

У разі дослідження пасажиропотоків на найбільш завантажених ділянках маршрутів або при обстеженні транспортних засобів великої пасажиромісткості (наприклад, зчленованих автобусів, тролейбусів чи трамваїв), доцільно збільшити кількість обліковців у групі до трьох осіб. Це забезпечить більш детальний контроль за пасажиропо-

током, зокрема в умовах інтенсивного завантаження салону та швидкої зміни пасажирів на зупинках.

Розглянемо методику проведення обстеження пасажиропотоку двома обліковцями на тролейбусному маршруті. Для забезпечення точності та об'єктивності обліку пасажиропотоку на тролейбусному маршруті застосовується методика роботи двох обліковців у групі. Процес обстеження складається з наступних етапів.

1. Розміщення обліковців на зупиночному пункті:

– обліковці займають позиції в безпечному місці на зупинці, яке забезпечує максимальну оглядовість наближення транспортних засобів;

– важливо уникати перешкоджання руху пасажиропотоку та розташовуватися так, щоб можна було своєчасно ідентифікувати тролейбусний маршрут і номер транспортного засобу;

2. Заповнення картки обстеження перед посадкою: один із обліковців, який відповідальний за ведення картки обстеження, фіксує дату обстеження, назву зупиночного пункту, на якому здійснюється посадка, порядковий номер картки обстеження (нумерація здійснюється лише з одного боку), номер маршруту тролейбуса, бортовий номер транспортного засобу та точний час його прибуття на зупинку.

3. Посадка в транспортний засіб та первинний облік пасажирів:

– після зупинки тролейбуса обліковці не перешкоджають посадці та висадці пасажирів, здійснюють посадку останніми;

– перший обліковець (відповідальний за загальну чисельність пасажирів) розміщується в центральній частині салону для забезпечення максимальної оглядовості, проводить підрахунок пасажирів, які перебувають у салоні на момент посадки;

– у разі недостатньої видимості переміщується по салону для уточнення кількості пасажирів;

– вносить отримані дані до картки обстеження.

4. Ідентифікація пільгових пасажирів:

– другий обліковець (відповідальний за визначення пільгових категорій) заходить у транспортний засіб через передні або задні двері та оголошує: «Доброго дня, шановні пасажирі. Приготуйте, будь ласка, для статистичного обліку ваші проїзні документи»;

– під час переміщення салоном переглядає проїзні документи пасажирів, фіксує кількість пільговиків.

5. Висадка та обробка даних:

- кожен обліковець повинен повністю завершити свій облік до наступного зупиночного пункту;
- у разі короткого перегону між зупинками або високого рівня наповненості салону дозволяється продовжити обстеження до наступної зупинки;
- після висадки на наступному зупиночному пункті обліковці звіряють отримані дані;
- кількість платних пасажирів визначається як різниця між загальною чисельністю пасажирів у салоні та кількістю пільговиків;
- вносяться дані про зупинку висадки до картки обстеження;
- записуються прізвища та підписи обліковців.

6. Повторення процедури – обліковці очікують наступний транспортний засіб іншого маршруту та повторюють процедуру відповідно до методики.

Таким чином, обліковці здійснюють поступове пересування у напрямку руху транспортних засобів на маршруті, забезпечуючи рівномірне покриття певної зони міста впродовж одного дня у випадково вибраній часовій інтервал. Такий підхід дозволяє уникнути систематичних похибок та забезпечує репрезентативність отриманих даних щодо пасажиропотоку. У зонах зміни напрямку або розгалуження маршрутної мережі обліковці повинні здійснювати піші переходи для коригування напрямку обстеження. Це дозволяє адаптувати процес збору даних до особливостей маршрутної інфраструктури та мінімізувати ризик дублювання обстежень на однакових ділянках.

Приклад форми облікової картки, що використовується для обстеження пасажиропотоків, наведений на рис. 2.

Обстеження будується таким чином, щоб охопити весь період роботи маршрутів для забезпечення повної картини роботи маршрутів у кожному з характерних періодів доби: двох пікових періодів – ранкового та вечірнього, та трьох міжпікових періодів.

Забезпечити максимальну відповідність параметрів вибіркової сукупності генеральній сукупності можливо за рахунок випадкового методу відбору одиниць у вибірку сукупність. Але в умовах обмеженого фінансування робіт та терміну проведення обстеження пасажиропотоків на маршрутах з метою розрахунку коефіцієнту співвідношення безоплатних та платних пасажирів, формування вибірки випадковим методом стає неможливим. В цьому випадку потрібно обирати декілька параметрів роботи маршрутів: рейс за маршрутним розкладом руху, напрям руху та перегін, на якому збирається інформа-

ція. Це не є ефективним через те, що для переїзду на нову ділянку обстеження обліковці витрачають багато часу, а обстежувати пасажиропотоки під час переїзду неможливо, оскільки це означає порушення умов випадкового відбору.

Картка

обстеження кількості пасажирів в салоні транспортного засобу за категоріями
 Дата _____ Час посадки в транспортний засіб _____
 Місце посадки _____ Номер маршруту _____
 Номер транспортного засобу _____ Місце виходу _____
 П.І.Б. кондуктора _____ Номер останнього проданого квитка _____

	Категорії пасажирів по виду оплати за проїзд				Примітки
	З білетами	Пільговики	Інші	Разом	
Кількість, од.					

П.І.Б. обліковців _____ Підпис _____

Рис. 2. Приклад облікової картки

Попередні пробні розрахунки показали, що для реалізації такого плану потрібно як мінімум 7 бригад обліковців, що призводить до збитковості обстеження для виконавця робіт.

Внаслідок вище наведеного, для реалізації принципів вибіркового методу пропонується методика проведення обстеження, яка передбачає спеціальну процедуру формування вибірки. Виходячи з обмежених ресурсів на проведення обстеження в якості кількості бригад обліковців приймається дві одиниці. Ці бригади працюють кожного дня обстеження по десять робочих годин за змішаним графіком таким чином, щоб на лінії завжди знаходилась хоча би одна група обліковців. Метою роботи обліковців є створення псевдовипадкової вибірки максимально можливого обсягу. Для досягнення більшої випадковості процесу обліковці не знайомі з розкладом руху на маршрутах, які обстежують. Вибір напряму руху не регламентується, обліковцям ставиться завдання максимального охоплення території міста.

Обстеження проводиться протягом одного тижня. З цієї вибірки, за допомогою генератора випадкових чисел, обирається 20 карток,

дані з яких є основою для розрахунку потрібного обсягу вибіркової сукупності за залежністю

$$N_{\epsilon} = \frac{t^2 \cdot w \cdot (1-w)}{\Delta^2}, \quad (3)$$

де N_{ϵ} – потрібний обсяг вибірки, од.;

t – параметр розподілу Стюдента, для 95 % довірчої імовірності $t = 1,96$;

w – питома вага одної з категорій пасажирів, платних або безоплатних;

Δ – максимально припустима помилка вибірки, $\Delta = 0,05$.

Кінцева вибірка формується на основі випадкового відбору карток з псевдовипадкової сукупності. Для цього розраховується частка карток, які необхідно виключити з псевдовипадкової сукупності v

$$v = 1 - \frac{N_{\epsilon}}{N_{ng}}, \quad (4)$$

де N_{ng} – обсяг псевдовипадкової сукупності, од.

Відбір до кінцевої сукупності здійснюється за допомогою генератора випадкових чисел при виконанні умови

$$\epsilon > v, \quad (5)$$

де ϵ – випадкова величина, розподілена за рівномірним законом в межах $[0;1]$.

Необхідно відзначити, що така методика проведення обстеження стосується як тролейбусних маршрутів, так і автобусів.

Удосконалення методів обліку пасажирів є ключовим завданням для транспортних підприємств та органів місцевого самоврядування, оскільки достовірні дані про пасажиропотоки необхідні для ефективного управління міською транспортною системою. Традиційні методи обліку, що базуються на ручному підрахунку пасажирів або використанні кондукторського контролю, мають значні недоліки, такі як висока ймовірність похибок, людський фактор та можливість маніпуляцій. Впровадження сучасних методів обліку пасажирів є критично важливим кроком для розвитку міського громадського транспорту. Автоматизація обліку, використання цифрових технологій та інтеграція аналітичних систем дозволяють підвищити ефективність пе-

ревезень, забезпечити прозорість фінансових операцій та покращити якість транспортного обслуговування. У зв'язку з цим актуальність створення та впровадження інноваційних методів обліку пасажирів буде лише зростати в умовах модернізації міської транспортної інфраструктури.

Список літератури до підрозділу 1.4

1. Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 1370/2007 від 23 жовтня 2007 року про громадські послуги пасажирських перевезень залізничним і дорожнім транспортом та скасування регламентів Ради (ЄЕС) № 1191/69 та № 1107/70. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_008-07#Text (дата звернення: 24.02.2025).
2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 24.02.2025).
3. Про автомобільний транспорт : Закон України від 05.04.2001 р. №2344-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#n482> (дата звернення: 24.02.2025).
4. Про статус ветеранів війни, гарантії їх соціального захисту : Закон України від 22.10.1993 р. №3551-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3551-12#n538> (дата звернення: 24.02.2025).
5. Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 28.02.1991 р. №796-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-12#Text> (дата звернення: 24.02.2025).
6. Про основи соціальної захищеності осіб з інвалідністю в Україні : Закон України від 21.03.1991 р. №875-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/875-12#Text> (дата звернення: 24.02.2025).
7. Про поширення чинності постанови Кабінету Міністрів України від 17 травня 1993 р. №354 : Постанова Кабінету Міністрів України від 16.08.1994 р. №555. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-94-%D0%BF#Text> (дата звернення: 24.02.2025).
8. Про безплатний проїзд пенсіонерів на транспорті загального користування : Постанова Кабінету Міністрів України від 17.05.1993 р.

№354. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/354-93-%D0%BF#Text> (дата звернення: 24.02.2025).

9. Про соціальний і правовий захист військовослужбовців та членів їх сімей : Закон України від 20.12.1991 р. №2011-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2011-12#n353> (дата звернення: 24.02.2025).

10. Про жертви нацистських переслідувань : Закон України від 23.03.2000 р. №1584-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1584-14#Text> (дата звернення: 24.02.2025).

11. Про охорону дитинства : Закон України від 26.04.2001 р. №2402-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2402-14#Text> (дата звернення: 24.02.2025).

12. Про затвердження Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту : Постанова Кабінету Міністрів України від 18.02.1997 р. №176. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-97-%D0%BF#Text> (дата звернення: 24.02.2025).

13. Про статус ветеранів військової служби, ветеранів органів внутрішніх справ, ветеранів Національної поліції і деяких інших осіб та їх соціальний захист : Закон України від 24.03.1998 р. №203/98-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/203/98-%D0%B2%D1%80#n64> (дата звернення: 24.02.2025).

14. Про поліпшення виховання, навчання, соціального захисту та матеріального забезпечення дітей-сиріт і дітей, позбавлених батьківського піклування : Постанова Кабінету Міністрів України від 05.04.1994 р. №226. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/226-94-%D0%BF#Text> (дата звернення: 24.02.2025).

15. Про жертви нацистських переслідувань : Закон України від 23.03.2000 р. №1584-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1584-14#Text> (дата звернення: 24.02.2025).

16. Бюджетний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-17#Text> (дата звернення: 24.02.2025).

17. Ярошевич Н.Б., Кондрат І.Ю., Ливдар М.В. Методичні підходи до розрахунку адресної грошової компенсації на основі встановлення норм транспортної рухомості пільгових категорій населення. *Регіональна економіка*. 2018. № 1. С. 69–75. URL:

https://re.gov.ua/re201801/re201801_069_YaroshevychNB,KondratIYu,LyvdarMV.pdf.

18. Інструкції про порядок обліку пасажирів, що перевозяться громадським транспортом на маршрутах : Наказ Міністерства статистики України від 27.05.96 № 150. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/ru/z0258-96>. (дата звернення: 24.02.2025).

19. Про затвердження Порядку і умов організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом : Наказ Міністерства інфраструктури України від 15.07.13 № 480. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1282-13>. (дата звернення: 24.02.2025).

20. Public Transit. *U.S. Department of Transportation* : official website. URL: www.transportation.gov (дата звернення: 24.02.2025)

21. Promoting Livable Cities by Investing in Urban Mobility. *World Bank* : official website. URL: www.worldbank.org (дата звернення: 24.02.2025)

22. For Persons with Disabilities, Accessible Transport Provides Pathways to Opportunity. *World Bank* : official website. URL: www.worldbank.org (дата звернення: 24.02.2025)

23. Загальна теорія статистики : підручник / за ред. А. В. Непрана, І. А. Дмитрієва ; авт. кол.: І. А. Дмитрієв, О. А. Дмитрієва, О. М. Гіржева, А. В. Непран, Н. О. Бірченко, А. А. Воронкова, Н. В. Чуйко. Харків: ПП Іванченка, 2022. 720 с.

24. Бегун С.І. Статистика : навчальний посібник. Луцьк: ВНУ ім. Лесі Українки, 2022. 230 с.

РОЗДІЛ 2. ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ І РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНОГО ПОПИТУ У МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЯХ І ЗОНАХ ЇХ ВПЛИВУ

2.1 Передумови визначення закономірностей розподілу відстаней транспортних пересувань населення у містах

П.Ф. Горбачов

професор кафедри транспортних систем і логістики ХНАДУ,
д-р. техн. наук, професор

С.В. Свічинський

докторант, доцент кафедри транспортних систем і логістики ХНАДУ,
канд. техн. наук, доцент

Протягом останніх років методи математичного моделювання набули широкого поширення при плануванні роботитранспортних систем (ТС) міст і регіонів Східної Європи. Найважливішим етапом процесупланування є формування моделі транспортного попиту, зокрема, матриці кореспонденцій (МК). Головною проблемою при виконанні даного етапучасто є слабка обізнаність осіб, що приймають рішення, про реальний стан попиту на пересування. Сучасна транспортна наука дозволяє точно оцінювати лише обсяги відправлення та прибуття для транспортних районів, але фактичні напрямки пасажирських пересувань залишаються недостатньо вивченими.

Через це в програмах для транспортного моделювання для розрахунку МК зазвичай використовуються стандартні теоретичні моделі. До них відносяться гравітаційні і, в меншій мірі, ентропійні, які у підсумку дають граничні стани попиту. При цьому якість моделювання попиту оцінюється шляхом порівняння прогнозованих пасажирських і транспортних потоків з їх реальними значеннями. Різниця між ними усувається двома шляхами:

- корегуванням місткостей транспортних районів (ТР) з відправлення і прибуття пасажирів чи транспортних засобів (ТЗ);
- зміною функції опору в моделі розподілу пересувань.

Перший спосіб виглядає вельми сумнівним, так як спотворює одні фактичні дані, а саме місткості ТР, на догоду відповідності розрахунків іншим фактичним даним – пасажиропотокам або транспортним потокам. Насправді правильніше було б додатково перевірити значення місткостей, аніж довільно їх міняти.

Другий спосіб також призводить до спотворення фактичних даних за рахунок того, що зміна функції опору в теоретичній моделі розподілу пересувань призводить до зміни розподілу відстаней пересувань пасажирів. При існуючому рівні знань про функцію розселення (ФР), під якою у транспортній науці розуміють функцію розподілу відстаней пересувань, більшість дослідників вважають її спотворення цілком допустимим, так як вибіркоче обстеження дає лише деяку оцінку цієї функції. Фактичні параметри ФР можуть істотно відрізнятися від отриманих за результатами обстеження. На жаль, теорія вибіркового методу не надає транспортним інженерам вказівок щодо оцінки допустимого розкиду кількості потраплянь в конкретний інтервал відстаней (або часу) пересувань. Це спонукає дослідників та інженерів збирати значні обсяги інформації про відстані або час пересувань, що призводить до значних витрат ресурсів.

Інструментарій моделювання транспортного попиту може бути вдосконалений шляхом визначення теоретичного закону розподілу, якому відповідають ФР. У цьому випадку завдання вибіркового обстеження буде полягати лише у визначенні основних моментів розподілу відстаней пересування. Для цього випадку теорія вибіркового методу надає широкий набір інструментів. такий метод визначення розподілу відстаней пересувань (ФР) дозволить одночасно:

- скоротити витрати ресурсів для проведення обстеження;
- отримати достовірну основу для розподілу пересувань у МК, адже ФР являє собою стійку статистичну закономірність, що відбиває реалізований транспортний попит.

Використання цієї функції як обмеження на розподіл пересувань у матриці дозволить значно знизити невизначеність МК, адже велика кількість варіантів розподілу пересувань може відповідати одним і тим же місткостям ТР. Кількість таких варіантів може бути істотно обмежене випадками відповідності функції розселення.

Для успішного вирішення подібної проблеми необхідно звернути увагу ще на один момент, який стосується аргументу ФР. Зазвичай це відстань пересування, але часто використовується і час пересування. Тут слід враховувати, що просторові характеристики міста з постійною транспортною інфраструктурою абсолютно стабільні, чого не можна сказати про тривалість пересувань. Саме тому як аргумент для визначення ФР краще використовувати відстань пересування, а як інформаційну базу дослідження – характеристики транспортної інфраструктури та (або) міської території.

Взагалі, вивченню мобільності населення у містах присвячена дуже велика кількість досліджень. У багатьох випадках об'єктом вивчення у них є трудові пересування (між домом (помешканням) і роботою) як такі або як невід'ємний елемент повсякденної діяльності. Очевидно, що саме цей вид пересування має найбільший вплив на вибір місць для проживання та роботи. Рядом вчених і науководослідних організацій отримані теоретичні моделі, що описують характер розселення міського населення. У більшості випадків вони стикалися з проблемою знаходження функції, яка б описувала емпіричний розподіл. Дуже часто графік такої функції нагадує криву щільності гамма-розподілу або розподілу Вейбулла. Наприклад, автори книги [1] вказують на такий розподіл як на типовий для міського населення, рис. 1а.

Типовий графік розподілу дальностей пересувань був підтверджений в роботах [2-4], а також за результатами емпіричних досліджень функції трудового розселення, які стосуються різних періодів часу, окремих підприємств, міст і навіть країн. Наприклад, типова форма ФР була отримана для м. Олександрія (Єгипет), рис. 1б [5], а також за результатами обробки даних, зібраних компанією Air Sage в Дослідницькому трикутнику (The Research Triangle, штат Північна Кароліна, США), рис. 1в [6]. Аналогічні криві ФР були отримані для м. Лінкольн (штат Небраска, США) [7] і м. Сеул (Корея), рис. 1г [8]. Графіки ФР, отримані для міст Прага і Пльзень (Чехія), також мають зовнішню схожість з гамма-розподілом [9]. Крім того слід зазначити, що ідентичні криві розселення були отримані в результаті широкого спектру досліджень, починаючи від великомасштабних обстежень всіх типів руху в межах країни і закінчуючи опитуваннями в одній частині міста або на декількох окремих підприємствах [10-14].

В результаті можна стверджувати, що загальний вигляд графіку ФР населення від відстані або часу пересування, представлений на рис. 1, є відомим. Аналіз наведених кривих вказує на відсутність помітної різниці в результатах групування при використанні як аргументів ФР відстані чи часу пересування. Слід відзначити, що дані, на основі яких побудовані вказані криві, стосуються здебільшого ГТ, але для міст України такий підхід є більш ніж прийнятним, оскільки в них послугами міського маршрутного пасажирського транспорту загального користування для поїздок на роботу користується від 70 % до 80 % мешканців [15].

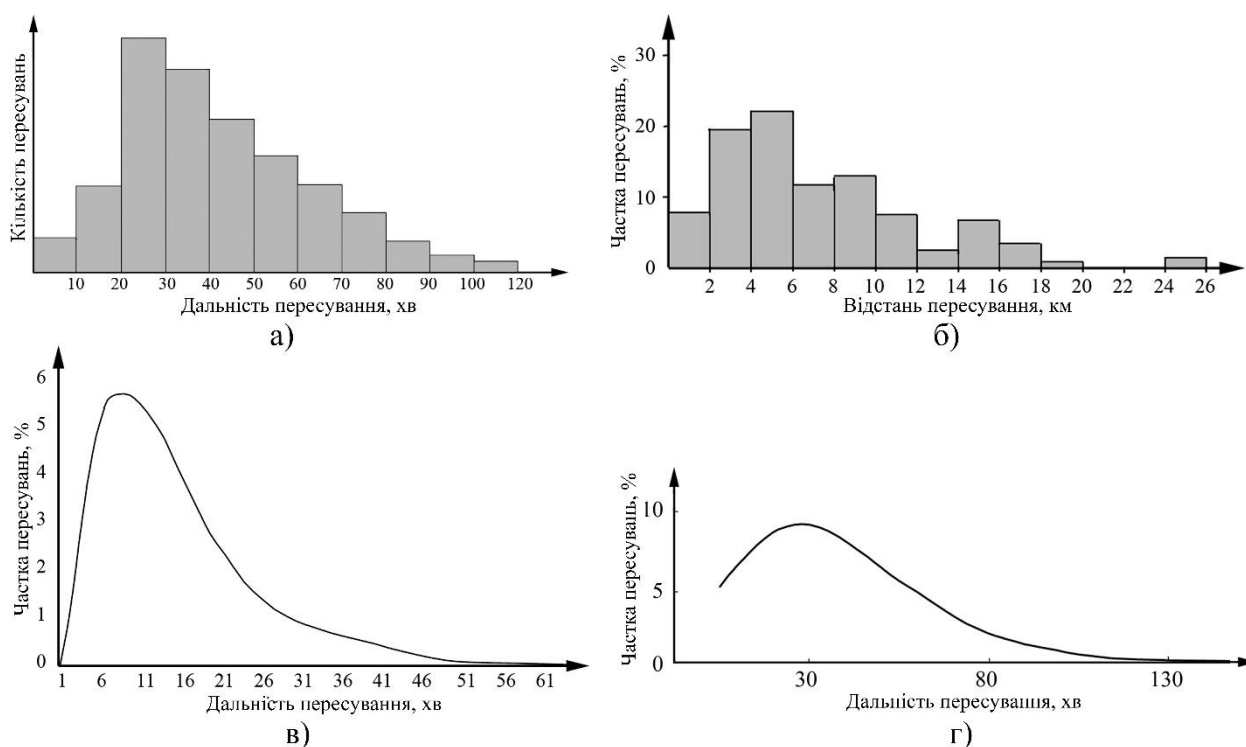


Рис. 1. Розподіл дальностей пересувань: а) типова форма [1]; б) для Олександрії, Єгипет [5]; в) для Дослідницького трикутника, The Research Triangle, Північна Кароліна, США [6]; г) для м. Сеул, Корея [8]

При такій очевидній схожості кривих розселення для їх опису використовуються різні функції: негативна експоненціальна функція, степенева функція, розподіл Ерланга, логарифмічний розподіл, гамма-розподіл тощо.

Більшість робіт, присвячених розподілу довжин пересувань, містять опис використання цього розподілу при налаштуванні і калібруванні моделі розподілу поїздок [5-8, 10, 11, 13, 16, 17].

Набагато менше досліджень присвячені вивченню факторів, які впливають на цей розподіл. Вони вказують на взаємозв'язок між характеристиками міського землекористування та тривалістю або частотою поїздок [4, 18-20]. У документі [2] йдеться, що тривалість пересувань збільшується зі зростанням чисельності населення міста і зменшується зі збільшенням швидкості сполучення та збільшенням концентрації ділової активності у міському центрі. Вплив розташування місця проживання відносно центру міста на відстань пересувань відзначають і автори статті [21] і книги [22] – вони стверджують, що в цілому зі збільшенням відстані від місця проживання до центру міста збільшується і відстань робочих пересувань містян. При цьому у статті [21] зазначається, що відстань «житло – робота» практично не впливає на частоту відповідних пересувань. У роботі [23]

стверджується, що зі збільшенням автономії певних міських районів дальність пересування населення зменшується. На додаток до вищезазначеного, у звіті [24] вказується, що на пересування населення впливають чотири основні фактори:

- щільність населення;
- різноманітність видів землекористування (Diversity);
- ступінь придатності територій для немоторизованих пересувань (Design);
- важкість доступу до пунктів тяжіння (Destination accessibility).

У перерахованих роботах вказується, що розподіл відстаней пересувань є функцією від землекористування і містобудування, але немає пояснення причинам загального вигляду ФР. При цьому для кожного емпірично отриманого розподілу відстаней пересувань підбирається функція, найбільш придатна для його опису. Цей підбір не підкріплений жодними теоретичними передумовами і зводиться до простого перебору функцій за допомогою обраного критерію згоди.

Викладене вище вказує на те, що використовувані ФР обираються лише на підставі суб'єктивних міркувань. Вони носять апріорний характер і не можуть розглядатися як достатнє теоретичне обґрунтування існуючих закономірностей у відстанях пересувань. У той же час, всі відомі закономірності розселення мають зовнішню схожість із сімейством кривих гамма-розподілу або розподілом Вейбулла. При цьому діапазон зміни параметра форми гамма-розподілу можна приблизно оцінити як $1 < c < 8$. Водночас, основна частина функцій розселення близька до гамма-розподілу зі значенням параметра форми від 4 до 6.

Результати опитувань, представлені у проаналізованих роботах, досить переконливо свідчать про наявність внутрішніх закономірностей в міських транспортних системах, які призводять до такого однозначного розподілу відстані пересувань. Ці закономірності залишаються не до кінця вивченими і сьогодні та представляють інтерес для дослідників, оскільки дозволяють пояснити причини схожості ФР.

При вказівці на залежність ФР від характеристик землекористування, проведений аналіз публікацій показує, що транспортна мережа (ТМ) ГТ та її характеристики у відомій теорії розселення безпосередньо не застосовуються. ГТ при цьому розглядається лише як фактор, що визначає складність пересування відносно основних його напрямів, виходячи з власного рівня розвитку [1, 9].

Формування ТМ ГТ здійснюється під впливом значної кількості факторів, взаємодія яких спричиняє певну випадковість її розвитку [25-28]. Серед цих факторів можуть бути виділені і найбільш впливові, одним із яких слід вважати наявність попиту пасажирів на пересування [29, 30]. Його задоволення якого є основним призначенням ГТ. Виходячи з цього, розташування об'єктів інфраструктури ТМ ГТ, тобто транспортної пропозиції, в першу чергу визначається транспортним попитом. При значній частці ГТ у пасажирських перевезеннях в українських містах, ТМ ГТ є дуже вдалим інструментом для вивчення процесу розселення населення. Це обумовлене наявністю таких елементів інфраструктури ГТ, як зупиночні пункти (ЗП), оскільки вони є місцями концентрації поїздок міського населення, тобто пунктами взаємодії пасажирів, що бажають здійснити поїздку і таким чином створюють попит на транспорт, та ТМ ГТ, котра за посередництвом рухомого складу задовольняє зазначений попит. Всі інші характеристики ТМ ГТ, зокрема довжини перегонів та відстані між парами зупиночних пунктів міст, є похідними від просторового розташування ЗП.

Дослідження даних характеристик доцільно проводити з використанням засобів теорії ймовірностей і математичної статистики, що підтверджується багатьма науковцями [25, 26, 31]. Останні розглядають ТМ як самоорганізуючі ієрархічні структури, формування яких здійснюється під впливом інтересів органів влади, власників бізнесу, користувачів мереж та багатьох інших суб'єктів і, відповідно, є випадковим всупереч певним планувальним розробкам [25].

Для опису розвитку ТМ побудована велика кількість моделей, серед яких можна виділити:

- динамічні;
- гібридні;
- агентні;
- імітаційні;
- фрактальні.

З аналогічною метою можуть бути застосовані:

- теорія графів;
- теорія перколяції;
- марковські ланцюги;
- нейронні мережі;
- метод клітинних автоматів [28].

Також були спроби провести аналогію між процесом розвитку ТМ та поведінкою мікроорганізмів при пошуках поживних речовин [25].

Ще слід звернути увагу на те, що на пересування людей, зокрема вибір пунктів відправлення та призначення, транспорт як об'єкт міської інфраструктури здійснює досить вагомий вплив [25]. Так, всілякі споруди – чи то виробничі, чи то житлові – є доволі стабільними стаціонарними об'єктами. При розгляді ж ТМ можна спостерігати певну випадковість характеристик її елементів на фоні тривалих часових періодів [25, 26]. Тут слід зауважити, що зміни в мережі впливають на доступність об'єктів та пересування людей до них. Пересування при цьому є найбільш динамічним елементом життєдіяльності міста, який доволі швидко пристосовується до всіляких змін [26], що є відображенням самоорганізації міського населення, яка знаходить свій прояв у виникненні закономірностей розселення [1].

Як відомо, основне навантаження на ТМ приходиться на годинник. Основна маса пересувань населення у даний період є трудовими, що підштовхує до висновку про те, що вибір людиною місця прикладання праці є одним із головних факторів формування транспортного попиту [1, 15, 26, 32, 33]. В існуючих моделях розподілу кореспонденцій цей процес описується, в основному, через використання як аргументів функцій тяжіння відстані або часу поїздки на роботу.

В той же час, у роботі [15] показано, що при виборі людиною місця роботи як місця постійного транспортного тяжіння, транспортні фактори не є вирішальними, а основна роль належить соціальним. Це є справедливим, але з огляду на значну роль в сучасних дослідженнях такого фактору, як відстань, її використання при побудові ФР населення потребує ретельного обґрунтування.

Виправданість використання транспортних факторів в моделюванні може бути проілюстрована наступними прикладами. Вартість земельних ділянок в центральних частинах міст або їх бізнес-центрах вища, ніж в інших районах, причиною чому в значному ступені можна вважати їх високу транспортну доступність [34, 35]. Ці пов'язані параметри можуть бути прямо або опосередковано враховані у відомих моделях землекористування та просторової взаємодії [25, 36, 37]. Іншим яскравим проявом застосування транспортних факторів є моделювання транспортних потоків на основі принципів Вардропа: 1) користувачі мережі незалежно один від одного обирають маршрути прямування, що відповідають їх мінімальним транспортним ви-

тратам; 2) користувачі мережі обирають маршрути прямування, виходячи з мінімізації транспортних витрат в мережі в цілому [38, 39].

До цього слід додати, що всі існуючі ФР мають одну й ту саму форму кривої, яка відрізняється лише крутизною зростання та спаду. В результаті можна стверджувати, що використання транспортних факторів в розрахунках та транспортному моделюванні є загальноприйнятою практикою, а отримувані результати розрахунків за моделями доволі часто добре описують емпіричний матеріал [1, 25, 36, 38-42].

З огляду на вищезазначене слід відмітити, що неврахування ролі міського ГТ є недоліком існуючої теорії розселення, оскільки ТМ ГТ являє собою пропозицію транспорту, а ЗП є місцями зв'язку транспортного попиту і пропозиції. Це дозволяє розглядати закономірності розселення населення в залежності від характеристик ТМ ГТ. Викладене вище також підтверджує випадковість характеристик ТМ і явну пристосовуваність населення до них, що дає можливість обрати дані характеристики за основу визначення розподілу пасажирів за дальністю пересувань, котра повністю визначається шляхом прямування пасажирів в системі міського ГТ. Відносно часу підходу до ЗП та відходу від нього можна зробити припущення, що вони є несуттєвою частиною відстані пересування ГТ і не здійснюють значного впливу на закономірності розселення населення.

Теоретичне обґрунтування подібності закономірностей розселення та визначення загальної ФР на основі особливостей інфраструктури ТС міста дозволить:

- сприяти розвитку методів отримання реальних закономірностей розселення, так як досить буде лише визначити параметри розподілу відстаней пересування. Це дозволить значно знизити вимоги до обсягу даних, зібраних під час транспортних обстежень [2];

- провести валідацію моделей розподілу пересувань, які в більшості випадків базуються на характеристиках опору шляху, оскільки ймовірність пересування, визначена функцією розселення, повинна відтворюватися матрицею кореспонденцій;

- створити основу для розробки нових моделей розподілу пересувань.

Почати роботу з обґрунтування ФР доцільно на прикладі інфраструктурних об'єктів ГТ як такого, котрий забезпечує більшу частину пересувань населення в українських містах [43].

У даному розділі монографії в основі визначення закономірностей розселення, котрі проявляються у розподілі відстаней пересувань, лежить гіпотеза про випадковість процесів розподілу об'єктів тяжіння з ростом населення і території міста при загальному бажанні людей жити і працювати якомога ближче до міського центру. З одного боку, ця гіпотеза ґрунтується на великій кількості факторів, які у кінцевому підсумку визначають вибір людиною місць роботи, проживання та задоволення інших потреб [20]. У той же час різноманіття факторів приводить до відносно невеликого ступеня впливу кожного окремого фактору на всю сукупність пар точок відправлень і прибуттів в місті. В кінцевому підсумку це приводить до прояву стійких закономірностей трудового розселення, які добре описуються за допомогою функцій розподілу випадкових величин. З іншого боку, висунута гіпотеза відповідає відомій тенденції зростання вартості нерухомості від околиць міста до його центру [25]. Ця тенденція частково зумовлена зростаючими можливостями для досягнення мети пересувань у центрі міста [44].

Завдання, поставлене у даному розділі, вимагає дискретизації (дизагрегації) міської території та визначення точок генерації та поглинання пересувань по ній. У випадку міського ГТ альтернативними варіантами для цього можуть бути як ЗП, так і ТР в математичній моделі міста. Дискретизація території за координатами ЗП обмежує сферу використання очікуваних результатів тільки ГТ, але можливості їх розповсюдження на індивідуальний транспорт (ІТ) будуть розглянуті у кінці розділу. ТР є більш універсальними, але вони є відображенням суб'єктивних поглядів транспортного планувальника або моделювальника на територію міста.

З цієї точки зору розташування ЗП у місті є абсолютно об'єктивним, що дуже важливо при вивченні випадкових процесів. Тому в даному розділі інформаційною базою для розробки теоретичних основ формування ФР та їх експериментальної перевірки будуть просторові характеристики зупинок міського громадського пасажирського транспорту. Це дає можливість ретельно вивчити ФР пасажирів ГТ, виключаючи будь-які варіанти пересування засобами мікромобільності або пішки. У зв'язку з цим всі пересування в межах зон зупинок, які відображаються по головній діагоналі матриці кореспонденцій, приймаються рівними нулю.

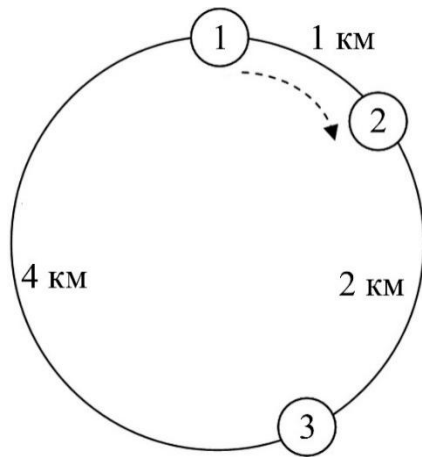
Джерелом емпіричного матеріалу для формування ФР є мережа ГТ, а саме модель інфраструктури, що забезпечує функціонування

міських маршрутів. При цьому дальність пересування пасажирів у більшості випадків повинна визначатися найкоротшим або найближчим до нього маршрутом між пунктами початку і закінчення пересування. При цьому параметри ФР приймаються незалежними від варіанту маршрутної мережі ГТ. Дана умова є доволі очевидною за замовчуванням, оскільки поточні зміни у маршрутах навряд чи призведуть до відчутних міграційних процесів у місті.

Відстань пересування пасажирів сама по собі являє собою доволі специфічну випадкову величину. На перший погляд вона є безперервною, але насправді вона дискретна. Дійсно, ФР відображає ймовірність настання кінцевої множини відстаней між точками початку і закінчення пересувань. Кількість різних відстаней обмежується кількістю елементів у матриці відстаней між зупинками і становить $(N^2 - N)$, де N – кількість ЗП у місті. З N^2 віднімається N значень відстаней по діагоналі, так як внутрішньоборайонні пересування у даному розділі ігноруються. Реальна кількість різних відстаней може бути меншою за величину $(N^2 - N)$, так як в матриці найкоротших відстаней можливі повторення деяких значень. Однак дискретність ФР не скасовує можливості її опису як неперервної випадкової величини.

Тепер слід розглянути механізм перетворення однієї випадкової величини – найкоротших відстаней між зупинками, в іншу випадкову величину – відстань пересувань. Для цього можна трохи спростити ситуацію, припустивши, що серед відстаней між усіма можливими парами ЗП немає повторюваних значень. Тоді ймовірність появи кожної відстані у повному наборі відстаней пересування з H значень дорівнює $P(l_{ij}) = h_{ij} / H$, де l_{ij} – відстань між зупинками i та j ; h_{ij} – величина кореспонденції між зупинками i та j ; H – загальна кількість пересувань на ГТ у матриці. Це означає, що величина кореспонденції між зупинками i та j безпосередньо визначає ймовірність появи відстані між i та j у наборі відстаней пересувань.

Це добре видно на наступному прикладі, рис. 2. Припустимо, що модельований об'єкт складається із трьох ЗП, розташованих на кільцевій дорозі з одностороннім рухом за годинниковою стрілкою. Відстані між ЗП задаються у матриці відстаней. За період, що розглядається, між зупинками здійснюється 12 пересувань згідно з представленою МК, рис. 2.



Матриця відстаней, км

Відправлення	Прибуття		
	1	2	3
1	0	1	3
2	6	0	2
3	4	5	0

Матриця кореспонденцій

Відправлення	Прибуття			
	1	2	3	Σ
1	0	1	3	4
2	1	0	2	3
3	3	2	0	5
Σ	4	3	5	12

Рис. 2. Примірні дані для ілюстрації перетворення відстаней між зупинками у функцію розселення

Відповідні цим матрицям гістограми розподілу відстаней між зупинками і відстаней пересувань показані на рис. 3.

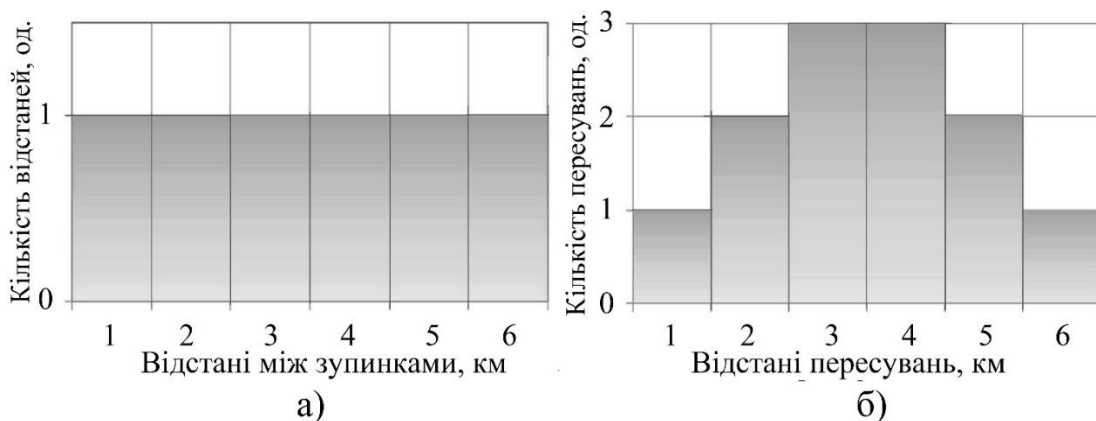


Рис. 3. Розподіл: а) відстаней між зупинками; б) відстаней пересувань пасажирів

У даному прикладі відстані між зупинками відповідають прямокутному розподілу, а відстані пересувань пасажирів – трикутному. Таким чином, кінцевий розподіл відстаней пасажирських пересувань залежить як від відстаней між зупинками, так і від їх подальшого перетворення за допомогою МК.

Для того щоб з'ясувати причини, що приводять до виникнення загальновідомого вигляду ФР, необхідно визначити яким може бути розподіл відстаней між парами зупинок для реальних міст, а потім оцінити результати перетворення цих відстаней через МК.

Шлях між будь-якою парою зупинок ГТ являє собою сукупність перегонів між сусідніми зупинками. У даному дослідженні ФР пасажирів ГТ буде розглядатися як така, що заснована на найкоротших

відстанях між ЗП, які, в свою чергу, визначаються шляхом підсумовування довжин перегонів на найкоротшому шляху (найкоротшій відстані):

$$l_{ij} = \sum_{k=1}^{n_{ij}} l_k, \quad (1)$$

де l_{ij} – відстань між ЗП i та j , км;

n_{ij} – кількість перегонів між пунктами зупинками i та j ;

l_k – довжина k -го перегону на найкоротшому шляху між ЗП i та j .

Кількість перегонів на шляху між зупинками, а також протяжність кожного окремого перегону є результатом тривалих процесів, пов'язаних із транспортним плануванням і еволюцією території міста з паралельним розвитком транспортної інфраструктури, в тому числі і маршрутної мережі ГТ. Кожне рішення про створення нового ЗП, з одного боку, є суб'єктивним і залежним від точки зору тієї чи іншої команди транспортного планування, а з іншого – приймається виходячи з економічної, планувальної і транспортної ситуації, яка склалася на момент його прийняття. Тому результати таких рішень цілком можуть вважатися випадковими для осіб, які не брали участі в їх ухваленні, і у цьому контексті координати кожного ЗП можна вважати випадковими. В результаті кількість перегонів на шляху між зупинками і довжина кожного окремого перегону також можуть розглядатися як випадкові величини. Таким чином, випадкові значення найкоротших відстаней між зупинками можна розглядати як суму випадкової кількості випадкових доданків.

Для визначення характеристик довжин перегонів на шляху між зупинками і їх кількості необхідно розглянути процес розширення міської території з точки зору висунутої гіпотези про випадковість процесів розподілу об'єктів тяжіння при розширенні міської території поряд із загальним бажанням людей жити і працювати якомога ближче до центру міста. Для ГТ у термінах теорії ймовірностей ця гіпотеза може бути формалізована як симетричний розподіл кожної з двох горизонтальних координат ЗП відносно центру міста. Звичайно, це правило буде працювати тільки в тому випадку, якщо географічні або адміністративні умови будуть приблизно рівними в районах, що оточують забудовану частину міста. Наприклад, воно не може поширюватися на приморські міста, населені пункти, розташовані біля підніжжя гір тощо.

Для «звичайних» умов розташування міста логічно припустити, що розсіювання координат ЗП буде асимптотично нормальним. При цьому розподіл відстаней по повітрю між зупинкою ГТ і центром міста повинен відповідати розподілу Релея:

$$l_{ij} = \sum_{k=1}^{n_{ij}} l_k, \quad (2)$$

де l_j – відстань по повітрю від центру міста до зупинки j , км;

n_{ij} – параметр розподілу Релея для величини l_j (середньоквадратичне відхилення).

Центром міста повинна бути точка на території історичного центру, з якого почалося розширення міської території. В окремому випадку вона може збігатися з однією із зупинок ГТ.

Для перевірки гіпотези про випадковість розташування зупинок немає необхідності перевіряти ортогональність і нормальність розподілу координат – це дуже складний і неоднозначний процес, що вимагає виконання досить жорстких умов. Гіпотеза буде вважатися такою, що не суперечить дійсності, якщо емпіричний розподіл величини l_j відповідатиме закону розподілу Релея.

За умови підтвердження гіпотези довжину перегонів можна розглядати як величину, яка визначалася закономірним настанням одних і тих же по суті подій у розвитку ТС – появи нових ЗП. При цьому перегін можна представити як відстань між ЗП, що з'явився за межами кола, окресленого навколо всіх існуючих нормально розсіяних ЗП, і ЗП, що лежить на цьому колі, рис. 4. Відразу слід зазначити, що величина Δr є шириною відповідного кільця і може розглядатися як мінімальна довжина відрізка між існуючим ЗП і новим ЗП, що з'явився в результаті розвитку транспортної інфраструктури міста. Така довжина виникає, коли новий перегін є прямим, а новий ЗП розташований на одному радіусі з існуючим ЗП, як показано на рис. 4. В усіх інших випадках довжина перегону буде трохи більшою.

Для вивчення властивостей мінімальної довжини перегону доцільно ввести випадкову величину $R = r + \Delta r$, що представляє собою відстань від нового ЗП до центру розсіювання. ФР цієї випадкової величини дорівнює ймовірності того, що її значення перевищить радіус r кола, окресленого навколо існуючих ЗП. Оскільки ймовірність виникнення ЗП у межах згаданого кола визначається функцією розподілу Релея, то функція розподілу величини R запишеться як

$$F_R = P(E) = P\{R > r\} = 1 - P\{R < r\} = 1 - (1 - e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}) = e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

де E – подія, яка полягає у появі нового ЗП за межами кола радіуса r , рис. 4.

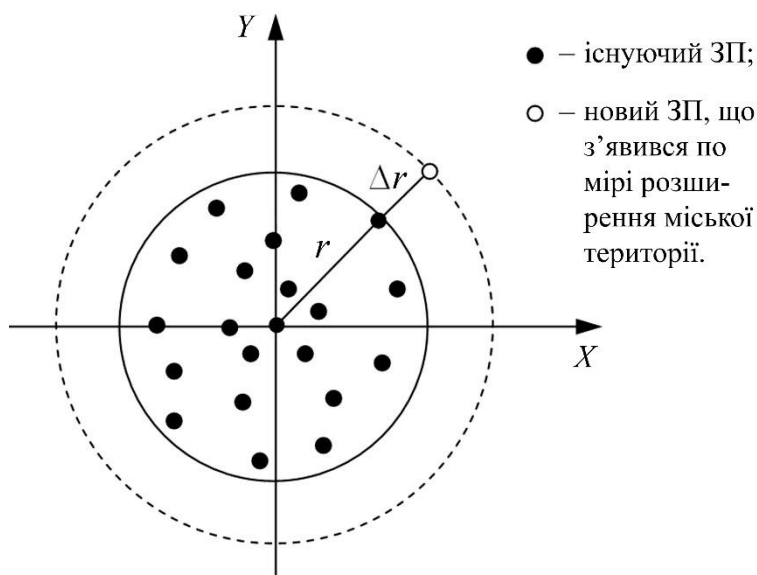


Рис. 4. Графічна інтерпретація виникнення нового перегону

Після цього можна знайти ймовірність того, що новий ЗП з'явиться за межами кола радіуса r , але у межах кола радіуса $(r + \Delta r)$. Ця ймовірність являє собою ймовірність попадання ЗП у кільце з меншим радіусом r і більшим радіусом $(r + \Delta r)$:

$$\begin{aligned} P(J) &= P\{(R > r) \cap (R \leq r + \Delta r)\} = P\{R > r\} - P\{R > r + \Delta r\} = \\ &= e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{(r+\Delta r)^2}{2\sigma^2}} = e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \left(1 - e^{-\frac{r \cdot \Delta r}{\sigma^2} - \frac{\Delta r^2}{2\sigma^2}}\right) = P(E) \cdot \left(1 - e^{-\frac{r \cdot \Delta r}{\sigma^2} - \frac{\Delta r^2}{2\sigma^2}}\right), \end{aligned} \quad (4)$$

де J – подія, яка полягає у попаданні ЗП у кільце, рис. 4.

Процес розгалуження ТС передбачає, що новий ЗП буде виникати за межами внутрішнього радіуса розглянутого кільця. Отже, ймовірність настання події J за умови, що виникнення ЗП поза внутрішнім колом є достовірною подією ($P(E) = 1$), визначається виразом

$$P(J|E) = 1 - e^{-\frac{r \cdot \Delta r}{\sigma^2} - \frac{\Delta r^2}{2\sigma^2}} = 1 - e^{-\frac{2r \cdot \Delta r + \Delta r^2}{2\sigma^2}}. \quad (5)$$

В силу незалежності і однакового нормального розподілу координат точок площини ця умовна ймовірність збігається з умовною ймовірністю попадання точки на відповідний відрізок кільця на будь-який радіус за умови, що точка знаходиться за межами внутрішнього кола радіуса r . Саме цим і обумовлений перехід від квадрата радіуса до його лінійного вимірника у ймовірності (5).

Для подальшого вивчення величини Δr , тобто мінімальної довжини перегону, необхідно знати її розподіл. Тут слід зазначити, що $\Delta r \approx r$ тільки у центрі міста, тобто на самому початку освоєння міської території. У таких умовах пересування по місту в основному здійснюються пішки. В умовах функціонування ГТ розумно припустити, що $\Delta r \ll r$. Тоді можна прийняти, що $\Delta r^2 \approx 0$ і переписати ймовірність (5) як

$$P(J|E) = F(l_{k \min}) = 1 - e^{-\frac{2r}{\sigma^2} \Delta r} = 1 - e^{-\lambda \Delta r}, \quad (6)$$

де $l_{k \min}$ – мінімальна довжина перегону, тобто довжина прямої ділянки між двома точками на одній лінії, що виходить із центру міста, км.

Права частина цього виразу є інтегральною формою показникового закону розподілу з параметром $\lambda = 2r/\sigma^2$. Оскільки ця умовна ймовірність є розподілом мінімальної довжини перегону, то з (6) випливає, що він повинен бути показниковим.

Таким чином, відповідність розподілу Релея фактичних відстаней по повітрю між зупинками ГТ та центром міста приводить до потенційної можливості опису мінімальної довжини перегону показниковим законом розподілу.

У той же час слід пам'ятати, що ця довжина визначається не тільки прямолінійністю, що з'єднує два ЗП. Значною мірою вона зумовлюється взаємним розташуванням сусідніх ЗП, а це суперечить гіпотезі про те, що процеси розподілу об'єктів тяжіння є випадковими при розширенні міської території. Тому висновок про показниковий розподіл мінімальної довжини перегону не можна вважати остаточною ні щодо довжини перегону, ні щодо можливості вважати розташування ЗП на території міста випадковим. При цьому одноразове неспростування гіпотези не завжди можна вважати достатнім для її підтвердження. Тому гіпотеза про показниковий розподіл довжини перегону за умови відповідності фактичних відстаней по повітрю між

зупинками і центром міста розподілу Релея вимагає додаткової перевірки.

Для поглибленого вивчення закономірностей розташування ЗП на міській території варто розглянути взаємне розташування сусідніх зупинок, тобто початків і кінців перегонів. Необхідно відповісти на питання про те, як будуть розподілені кінці перегонів, якщо початки всіх перегонів у місті змістити в одну точку. У разі випадкового розташування ЗП відносні координати кінців перегонів матимуть розподіл, близький до нормального. Перевірити це твердження допоможе, знову ж таки, розподіл Релея (2), але вже з іншим параметром – дисперсією довжини перегону:

$$F(l_k) = 1 - e^{-\frac{l_k^2}{2\sigma^2}}. \quad (7)$$

Відповідність довжин перегонів цьому розподілу додатково підтвердить гіпотезу про випадковість розташування ЗП на території міста. При цьому подібне твердження, на перший погляд, суперечитиме попередньому висновку про показниковий закон розподілу $l_{k \min}$. Однак це протиріччя вирішується тією властивістю закону розподілу Релея, що він відповідає квадрату показниково розподіленої випадкової величини. Тому необхідно перейти від квадратичної до лінійної довжини перегону шляхом лінеаризації за допомогою розкладання у ряд Тейлора [45]

$$l_k^2 = u(l_k) = u(a) + u'(a) \cdot (l_k - a), \quad (8)$$

де a – точка, в якій відбувається розкладання;

$u'(a)$ – значення першої похідної досліджуваної функції в точці a ; у даному випадку досліджувана функція – це l_k^2 і, відповідно, її перша похідна дорівнює $(l_k^2)' = 2l_k$.

Для розкладання у ряд доцільно вибрати значення 0,5 км, при якому коефіцієнт при l_k дорівнюватиме 1, але з'явиться зсув фактичних довжин перегонів l_k на $\Delta l = 0,25$ км:

$$l_k^2 = l_k - \Delta l = l'_k, \quad (9)$$

де l'_k – випадкова складова довжини k -го перегону, км.

Тоді за умови $\lambda = 1/(2\sigma^2)$ закон Релея стане показниковим:

$$F(l'_k) = 1 - e^{-\lambda(l_k - 0,25)} = 1 - e^{-\lambda l'_k} \quad (10)$$

при

$$l'_k = l_k - \Delta l \geq 0. \quad (11)$$

Важливим фактором в процесі лінеаризації квадрата довжини перегону є поява у виразі (11) постійної складової – параметра зсуву Δl розподілу довжин перегонів від початку координат. Це означає, що показниковому закону повинні відповідати не самі довжини перегонів, а їх випадкові складові, отримані після зменшення довжини перегонів на певну константу. Цей результат аналогічний залежності (6), де показниковому закону відповідає величина $l_{k \min} \leq l_k$.

Тому при експериментальній перевірці цих результатів потрібно встановити можливість опису випадкової складової довжини перегонів l'_k показниковим законом розподілу. Для цього необхідно знайти відповідний параметр зсуву Δl . Беручи до уваги властивості показникового закону, за параметр зсуву логічно взяти мінімальну довжину перегону у місті $\Delta l = l_{\min}$:

$$\Delta l = \min(\forall l_k, k \in \{1, K\}) = l_{\min}, \quad (12)$$

де K – загальна кількість перегонів у місті, од.

У цьому випадку фактична довжина перегону з параметром зсуву буде представлятися виразом

$$l_k = l'_k + l_{\min}, \quad (13)$$

де l'_k – скорегована на параметр зсуву довжина k -го перегону, км;

l_{\min} – мінімальна довжина перегону у місті, яка є параметром зсуву величини l'_k , км.

Беручи до уваги вираз (1), довжину перегону між будь-якою парою зупинок у місті тепер можна записати як

$$l_{ij} = \sum_{k=1}^{n_{ij}} l_k = \sum_{k=1}^{n_{ij}} (l'_k + l_{\min}) = \sum_{k=1}^{n_{ij}} l'_k + \sum_{k=1}^{n_{ij}} l_{\min} = \sum_{k=1}^{n_{ij}} l'_k + n_{ij} \cdot l_{\min}. \quad (14)$$

Ця залежність дуже важлива для вивчення особливостей розподілу відстаней між ЗП, тому необхідно ретельно вивчити теоретичні передумови виникнення закону розподілу випадкової частини дов-

жини перегону l'_k . Перетворення випадкової величини, розподіленої за законом Релея, в показниково розподілену величину лише ілюструє зв'язок між цими двома законами. При цьому послідовне виникнення нових ЗП по мірі розвитку території міста занадто ідеалізує реальний процес розвитку міста. Зазвичай розширення міської території супроводжується появою не одного, а декількох ЗП.

Таким чином, для визначення теоретичних передумов виникнення закону розподілу l'_k необхідно розглянути більш реалістичний варіант формування довжин перегонів. Суть цього варіанту полягає у призначенні декількох проміжних ЗП між вже існуючою кінцевою зупинкою в ТМ і новою кінцевою зупинкою на новій території. Таке призначення можна розглянути як випадковий вибір точок розташування ЗП на заданому відрізку між двома кінцевими зупинками, рис. 5.

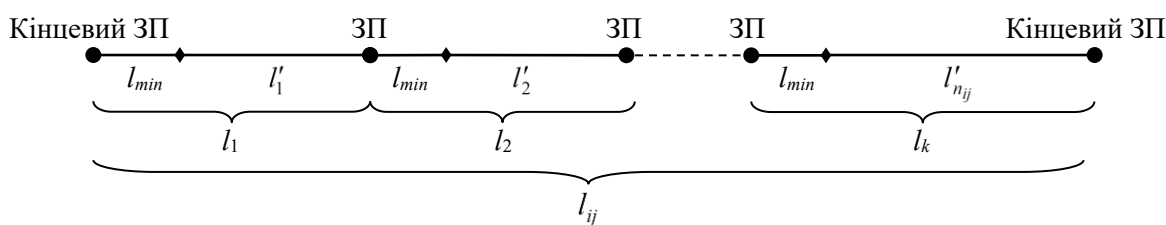


Рис. 5. Графічна інтерпретація відстані між зупинками i та j

Якщо через l'_{ij} позначити першу складову суми з правого боку виразу (14), то з урахуванням (13) її можна записати так:

$$l'_{ij} = \sum_{k=1}^{n_{ij}} l'_k = l_{ij} - n_{ij} \cdot l_{\min} = \sum_{k=1}^{n_{ij}} (l_k - l_{\min}). \quad (15)$$

Таким чином, l'_{ij} буде являти собою суму випадкових доповнень мінімальної довжини перегону до l_k . Виходячи з цього, l'_k можна отримати в результаті випадкового поділу l'_{ij} на n_{ij} випадкових складових, що графічно представлено на рис. 6.

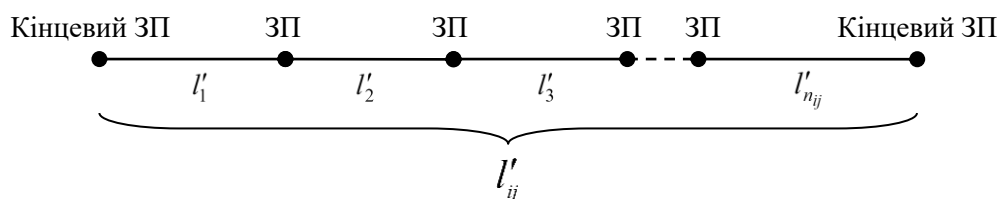


Рис. 6. Поділ l'_{ij} на складові

Відмінність цього рисунку від рис. 5 полягає у поєднанні точок початку і кінця відрізків l_{\min} , що ідентично їх видаленню. Якщо розглянути, посилаючись на рис. 6, доданки l'_1 , $l'_1 + l'_2$, $l'_1 + l'_2 + l'_3$, ... , $l'_1 + l'_2 + \dots + l'_{n_{ij}}$, то вони являють собою порядкові статистики $l'_1 = x_{(1)}$, $l'_1 + l'_2 = x_{(2)}$, ... , $l'_1 + l'_2 + \dots + l'_{n_{ij}-1} = x_{(n_{ij}-1)}$ випадкової величини X , яка рівномірно розподілена на відрізку l'_{ij} і спостерігається у $(n_{ij} - 1)$ випадках – експериментах, результатом кожного з яких є поява ЗП на шляху з i до j . Кількість таких експериментів (випадків виникнення ЗП на шляху від i до j) складає $n = (n_{ij} - 1)$ і має розподіл Пуассона:

$$P_n(l') = \frac{(\mu l'_{ij})^n}{n!} e^{-\mu l'_{ij}}, \quad \mu = \frac{1}{\bar{n}}, \quad n = n_{ij} - 1, \quad (16)$$

де μ – параметр розподілу Пуассона;

\bar{n} – середня кількість ЗП на шляху прямування між ЗП i та j .

Таким чином, можна дослідити l'_{ij} в рамках підходу, в якому можна виділити два «процеси»: перший, для якого випадковою величиною є поява n незалежних точок – ЗП, рівномірно розподілених на проміжку $(0, l'_{ij})$, і другий – пуассонівський процес, для якого відомий розподіл ймовірностей (16).

Наступним кроком доцільно ввести випадкову подію A_n , рис. 7, яка полягає у тому, що у проміжках $\{\beta_i\}$ буде знаходитися рівно один ЗП (точка пуассонівського процесу), а у проміжках $\{\alpha_i\}$ – жодного.

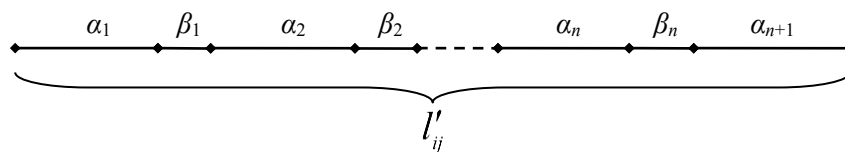


Рис. 7. Графічне представлення події A_n

Для першого процесу появи n рівномірно розподілених РП в інтервалі $(0, l'_{ij})$ ймовірність A_n визначається наступним чином:

$$P_n(l') = \frac{(\mu l'_{ij})^n}{n!} e^{-\mu l'_{ij}}, \quad \mu = \frac{1}{\bar{n}}, \quad n = n_{ij} - 1, \quad (17)$$

де B – подія, яка визначається як виникнення рівно n ЗП в інтервалі $(0, l'_{ij})$.

Множник $n!$ пояснюється тим, що немає ніяких відмінностей у перестановці n точок по n інтервалах [46].

Для другого, пуассонівського, процесу [47]

$$P\{A_n|B\} = \frac{P\{A_n \cdot B\}}{P\{B\}}. \quad (18)$$

Оскільки для пуассонівського потоку точок – в розглядуваному випадку ЗП – події на інтервалах, що не перетинаються, незалежні [48], то ймовірність спільної події $\{A_n \cdot B\}$ може бути розрахована як добуток ймовірностей окремих подій

$$P(C) = \mu\beta_i e^{-\mu\beta_i}, \quad P(D) = e^{-\mu\alpha_i}, \quad (19)$$

де C – подія, що полягає у появі одного ЗП в інтервалі β_i ;

D – подія, що полягає у тому, що в інтервалі α_i не з'являється жодного ЗП.

Безумовна ймовірність події B визначається виразом (16). Тоді виявляється, що

$$P\{A_n|B\} = \frac{\left(\mu\beta_1 \cdot \mu\beta_2 \dots \mu\beta_n \cdot e^{-\mu\beta_1} \cdot e^{-\mu\beta_2} \dots e^{-\mu\beta_n} \times \right. \\ \left. \times e^{-\mu\alpha_1} \cdot e^{-\mu\alpha_2} \dots e^{-\mu\alpha_{n+1}} \right)}{\frac{(\mu l'_{ij})^n}{n!} \cdot e^{-\mu l'_{ij}}} = \frac{\beta_1 \beta_2 \dots \beta_n \cdot n!}{(l'_{ij})^n}. \quad (20)$$

Виходить, що умовні ймовірності A_n для обох процесів збігаються, тобто сумісний розподіл n рівномірно розподілених ЗП на інтервалі $(0, l'_{ij})$ такий же, як і сумісний розподіл точок (ЗП) пуассонівського процесу, якщо їх на інтервалі $(0, l'_{ij})$ рівно n одиниць. Тут слід зазначити, що для пуассонівського процесу випадкова довжина проміжку між сусідніми точками має показниковий розподіл імовірностей [49]. Це означає, що два підходи до розгляду l'_{ij} вказують на показниковість розподілу l'_k .

Підтвердити показниковий розподіл довжин перегонів можна шляхом упорядкування у порядку зростання точок $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$, які відповідають згаданим вище порядковим статистикам $x_{(0)} = 0 \leq x_{(1)} \leq$

$\leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)} \leq x_{(n+1)} = l'_{ij}$, і визначення розподілу величини $(x_{(k+1)} - x_{(k)})$, $k = 0, 1, 2, \dots, n$. Для цього зручно знайти ймовірність

$$P\{x_{(k+1)} - x_{(k)} > x\}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (21)$$

де $\{x_{(k+1)} - x_{(k)} > x\}$ – подія, яка означає, що на інтервалі довжиною x немає жодної точки поділу, в розглядуваному випадку – жодного ЗП, рис. 8.

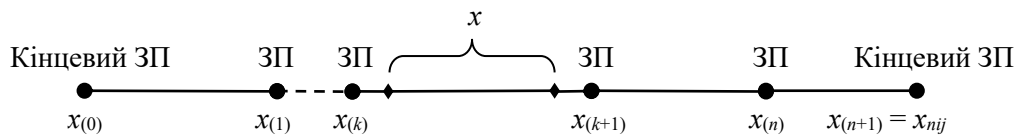


Рис. 8. Графічне зображення події $\{x_{(k+1)} - x_{(k)} > x\}$

Користуючись рис. 8, можна визначити ймовірність події (21) як ймовірність добутку незалежних подій, які полягають у тому, що точки $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n+1)}$ не належать інтервалу довжиною x [50]:

$$P\{x_{(k+1)} - x_{(k)} > x\} = \left(\frac{l'_{ij} - x}{l'_{ij}}\right)^n = \left(1 - \frac{x}{l'_{ij}}\right)^n. \quad (22)$$

Нехай $l'_{ij} \rightarrow \infty$ і $n \rightarrow \infty$ таким чином, що границя $l'_{ij}/n + 1 = l'_{ij}/n_{ij} \rightarrow \bar{l}'_k$ є фіксованою, тобто середня довжина перегону за мінусом l_{\min} прямує до \bar{l}'_k . Тоді можна попередньо констатувати, що

$$\lim P\{x_{(k+1)} - x_{(k)} > x\} = e^{-x/\bar{l}'_k}, \quad x > 0. \quad (23)$$

Для того, щоб довести даний вираз, треба вибрати $x > 0$ і зафіксувати його. За визначенням натурального логарифма і за теоремою граничного переходу під знаком неперервної функції виходить, що [45]:

$$\lim P\{x_{(k+1)} - x_{(k)} > x\} = \lim (1 - x/l'_{ij})^n = e^{\lim n \ln(1 - x/l'_{ij})}. \quad (24)$$

Оскільки прийнята умова $l'_{ij} \rightarrow \infty$, то $x/l'_{ij} \rightarrow 0$, а $\ln(1 - x/l'_{ij}) \sim -x/l'_{ij}$. Звідси виходить, що

$$\begin{aligned} \lim P\{x_{(k+1)} - x_{(k)} > x\} &= e^{\lim n \cdot \ln(1-x/l'_{ij})} = e^{\lim(-n \cdot x/l'_{ij})} = e^{-x \cdot \lim(n/l'_{ij})} = \\ &= e^{-x \cdot \lim \frac{n+1}{l'_{ij}} \cdot \lim \frac{n}{n+1}} = e^{-x \cdot \lim \frac{n+1}{l'_{ij}}} = e^{-x/\bar{l}'_k}, \end{aligned} \quad (25)$$

чим і підтверджує правильність виразу (23). Таким чином, гіпотеза про показниковість розподілу ймовірностей l'_k для процесу призначення декількох проміжних ЗП між вже існуючим у транспортній (маршрутній) мережі кінцевим ЗП і новим ЗП на новій міській території має сенс. Тому для подальшого вивчення механізму формування ФР на основі характеристик ТС доцільно взяти за основу показниковий розподіл довжин перегонів як випадкових складових шляхів пересування між парами ЗП.

Глибокий аналіз виразу (14), що використовується для представлення відстані між парою ЗП i та j , дозволяє стверджувати, що при визначенні параметрів розподілу цієї величини використання суми $\sum_{k=1}^{n_{ij}} l'_k$ в її звичайному розумінні може привести до деяких похибок. Їх причиною є неоднакова кількість потраплянь різних перегонів на найкоротших шляхах між парами ЗП. При прямокутному розподілі довжин перегонів такої проблеми не існувало би. Однак для теоретично отриманого показникового розподілу зі збільшенням довжини перегону ймовірність його появи у вибірці зменшується. Судячи з усього, буде зменшуватися і кількість потраплянь «рідких» перегонів на найкоротші шляхи між ЗП. Тому необхідно теоретично визначити особливості розподілу довжин перегонів при їх розгляді як елементів шляхів між усіма можливими парами ЗП ГТ. Ці шляхи формуються як вибірки різних розмірів з існуючого набору перегонів з відомим законом розподілу.

Основною гіпотезою тут є припущення про те, що при формуванні вибірок різного розміру з повного набору перегонів ймовірність потрапляння конкретної реалізації початкової випадкової величини у вибіркочну сукупність буде залежати від початкової частоти: чим вона вища, тим вище буде зазначена ймовірність. Вірним вважається і зворотне твердження: елементи, які рідко зустрічаються у початковій випадковій величині, матимуть більш низьку частоту і у кінцевій (підсумковій) випадковій величині.

Нехай випадкова величина – довжина i -го перегону на шляху між ЗП i та j – позначається як L'_S . Ймовірність потрапляння L'_S у деякий

інтервал $(a;b]$ з відомим законом розподілу випадкової величини l'_k визначається формулою

$$P\{a < L'_i \leq b\} = F(b) - F(a) = \int_a^b f(l') dl'. \quad (26)$$

Нехай $p = P\{a < L'_i \leq b\}$ і $q = P\{L'_i \notin (a;b]\}$, а відстань l''_{ij} має рівно n_{ij} перегонів. Далі треба ввести $v_{(a;b]}$ – випадкову величину, яка показує кількість перегонів, довжини яких знаходяться в інтервалі $(a;b]$. Припускаючи, що довжини перегонів незалежні і однаково розподілені, можна встановити ймовірність того, що рівно m довжин перегонів на шляху з n_{ij} перегонів будуть знаходитися в інтервалі $(a;b]$:

$$P\{v_{(a;b]} = m\} = C_{n_{ij}}^m \cdot p^m \cdot q^{n_{ij}-m}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, n_{ij}. \quad (27)$$

З іншого боку, $v_{(a;b]}$ можна представити у вигляді суми індикаторів

$$I_1^{(a;b]} + I_2^{(a;b]} + \dots + I_{n_{ij}}^{(a;b]} = v_{(a;b]}, \quad (28)$$

у якій

$$I_S^{(a;b]} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } L'_S \in (a;b] \text{ з ймовірністю } p; \\ 0, \text{ якщо } L'_S \notin (a;b] \text{ з ймовірністю } q \end{cases} \quad (29)$$

є індикатором випадкової події {довжина S -го перегону знаходиться в інтервалі $(a;b]$ }.

Таким же чином визначаються індикатори випадкових подій $\{L'_S \in (c;d]\}$, $S = 1, 2, \dots, n_{ij}$ для іншого інтервалу $(c;d]$ можливих значень величини L'_S :

$$I_S^{(c;d]} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } L'_S \in (c;d] \text{ з ймовірністю } p_2; \\ 0, \text{ якщо } L'_S \notin (c;d] \text{ з ймовірністю } q_2. \end{cases} \quad (30)$$

Нехай $p \geq p_1$ – ймовірність того, що довжина перегону буде знаходитись в інтервалі $(a;b]$, більше або дорівнює ймовірності того, що довжина перегону буде знаходитись в інтервалі $(c;d]$. Якщо ввести елементарний наслідок випадкового експерименту потрапляння пев-

ної точки у інтервал $[0;1]$ і позначити його через $\omega_S \in [0;1]$, то описані вище індикатори подій можна порівняти на одному ймовірнісному просторі

$$I_S^{(a;b]}(\omega_S) \geq I_S^{(c;d]}(\omega_S) \quad (31)$$

і представити у вигляді розподілу Бернуллі, рис. 9.

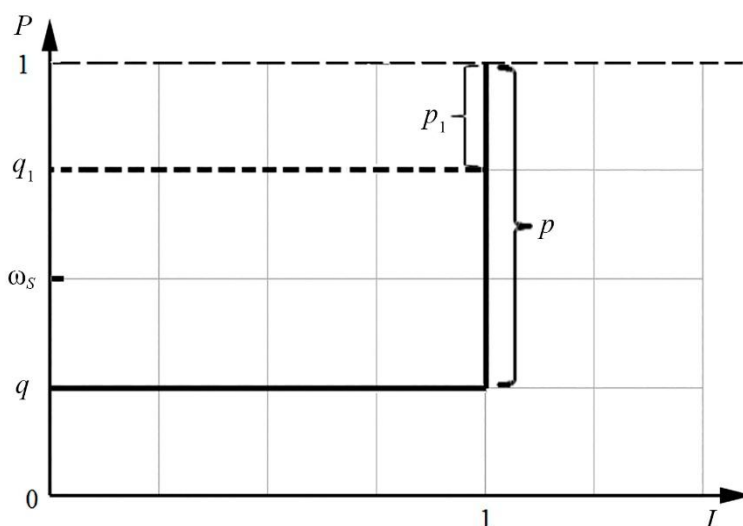


Рис. 9. Розподіл індикаторів подій

Нехай $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n_{ij}})$ – елементарний наслідок для випадкових величин типу $v_{(a;b]}$. Тоді, за визначенням

$$I_S^{(a;b]}(\omega) \equiv I_S^{(a;b]}(\omega_S), \quad S = 1, 2, \dots, n_{ij} \quad (32)$$

та

$$v_{(a;b]}(\omega) = I_1^{(a;b]}(\omega) + I_2^{(a;b]}(\omega) + \dots + I_{n_{ij}}^{(a;b]}(\omega), \quad (33)$$

тобто кількість перегонів на l_{ij} , що складаються з n_{ij} перегонів, які потрапили в інтервал $(a;b]$, складається з кількості перегонів, що стоять на i -му місці і довжин яких потрапили в інтервал $(a;b]$, і це відповідає індикатору (29).

Тепер потрібно перевірити наступне твердження: якщо

$$P\{a < L'_S \leq b\} = p_1 \geq P\{c < L'_S \leq d\} = p_2, \quad (34)$$

то

$$P\{v_{(a;b]} \geq V\} \geq P\{v_{(c;d]} \geq V\}, \quad V = 0, 1, 2, \dots, n_{ij}, \quad (35)$$

тобто

$$v_{(a;b]} \underset{p}{\geq} v_{(c;d]}. \quad (36)$$

За умови $p \geq p_1$ і $[q = (1 - p)] \leq [q_1 = (1 - p_1)]$ при $p + q = 1$, $p_1 + q_1 = 1$ виходить, що

$$I_S^{(a;b]}(\omega) \geq I_S^{(c;d]}(\omega), \quad S = 1, 2, \dots, n_{ij}. \quad (37)$$

Звідси

$$\begin{aligned} v_{(a;b]}(\omega) &= I_1^{(a;b]}(\omega) + I_2^{(a;b]}(\omega) + I_{n_{ij}}^{(a;b]}(\omega) \geq \\ &\geq v_{(c;d]}(\omega) = I_1^{(c;d]}(\omega) + I_2^{(c;d]}(\omega) + I_{n_{ij}}^{(c;d]}(\omega). \end{aligned} \quad (38)$$

Якщо порівняти ці величини на одному ймовірнісному просторі $\{\omega\} = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n_{ij}}\}$, то виявиться, що

$$v_{(a;b]}(\omega) \geq v_{(c;d]}(\omega), \quad (38)$$

що свідчить про обґрунтованість тверджень (34)-(36).

Це означає, що чим більша згідно із законом розподілу ймовірність виникнення перегонів певної довжини, тим частіше ці перегони будуть траплятися на відстанях між парами ЗП, утворюючи величину L'_S . Цей результат відповідає висунутій на початку гіпотезі і може бути перевірений на фактичних даних.

Викладки, представлені формулами (26)-(38), приводять до висновку, що тип розподілу довжин перегонів, з яких складаються l_{ij} , не повинен відрізнятися від типу розподілу l'_k – повинна змінюватися тільки крутизна кривої щільності ймовірності, яка буде характеризуватися великим значенням параметра показникового закону $\lambda' > \lambda$, де λ' є параметром прогнозованого показникового розподілу значень L'_S , а λ є параметр первісного показникового розподілу l'_k . При цьому, крім форми розподілу, змінюватиметься і кількість значень у первісному і перетвореному масивах перегонів. Первісний масив представлений повним переліком перегонів між сусідніми зупинками ГТ, які

можна позначити як K . Кількість перегонів, що утворюють шляхи між парами ЗП, визначається як:

$$M = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N n_{ij}, \quad \forall i, j. \quad (38)$$

Апріорі $M \gg K$, тобто при формуванні множини шляхів між ЗП відбувається процес перетворення однієї випадкової величини в іншу. Цей процес є аналогічним випадку перетворення відстаней між ЗП у ФР через МК, показаному на рис. 2 і рис. 3. У цьому перетворенні відстані між зупинками перетворюються у відстані пересувань через ціле невід'ємне число повторень кожного перегону. Відмінності між цими двома перетвореннями випадкових величин визначаються властивостями мультиплікаторів, тобто об'єктів, що визначають кількість повторень.

Коли мультиплікатор представлений матрицею кореспонденцій, він має систему обмежень, якими є фіксовані місткості ЗП по відправленню і прибуттю пасажирів. МК, які відповідають одним і тим же обмеженням, може існувати надзвичайно багато. Кожна із них має право вважатися можливою до тих пір, поки не будуть введені додаткові обмеження на розподіл кореспонденцій. При заданому наборі довжин перегонів кожна з МК утворює свій варіант ФР. Аналітично описати можливі наслідки перетворення відстаней між ЗП у ФР не представляється можливим, тому вплив МК на параметри ФР доцільно оцінювати експериментально, використовуючи різні стратегії заповнення матриці з однаковим фактичним набором шляхів між зупинками.

Іншим виглядає формування шляхів між ЗП із перегонів. У даному випадку можна вважати, що реальних обмежень на набори шляхів із перегонів немає, і для того, щоб охарактеризувати перетворення кривої розподілу l'_k у криву розподілу L'_S , досить порівняти відповідні щільності ймовірностей. Зроблені вище висновки щодо співвідношення параметрів кривих $f(l')$ і $f(L')$ говорять про те, що $\lambda' > \lambda$. Тому виникає завдання експериментально перевірити відповідність двох наборів перегонів показниковому закону і порівняти їх параметри між собою. Зменшення середньої довжини перегону в наборах перегонів між ЗП підтвердить правильність зробленого припущення.

Наступна невизначена величина у виразі (14) – це кількість перегонів на найкоротших шляхах між парами ЗП. Так як ця величина формується під впливом багатьох факторів (нормативні вимоги до довжинперегонів, планування території, можливість і доцільність облаштування зупинок у залежності від існуючого транспортного попиту і т.д.), гіпотетично вона повинна мати розподіл, близький до нормального. Але так як в межах сумування може бути тільки дискретною, то випадкова величина кількості перегонів на найкоротшому шляху між ЗП n_{ij} повинна бути дискретною. Найбільш близькими до нормального розподілу є пуассонівський і трикутний дискретні розподіли, досить широко поширені у природі та в інженерних застосуваннях теорії ймовірностей. Через це варто розглянути можливість описати розподіл кількості перегонів обома законами.

При розгляді кількості відрізків на ділянці довільної довжини закон Пуассона представляється наступним рядом розподілу

$$p(n) = \frac{\mu^{n_{ij}}}{n_{ij}!} e^{-\mu} \quad (n_{ij} = 0, 1, 2, \dots). \quad (39)$$

З цього виразу виходить, що якщо кількість перегонів на шляху між ЗП дорівнює 0, тобто на шляху між ЗП не пройдено жодного перегону, то відстань l_{ij} також буде дорівнювати 0, але з певною ймовірністю $p_0 > 0$. Тобто першим членом ряду для пуассонівського розподілу є кількість перегонів, що дорівнює 0. Закон Пуассона стає симетричним і може бути наближений до нормального розподілу тільки при великих значеннях параметра μ . У цьому розподілі параметром є математичне сподівання кількості перегонів, яке дорівнює дисперсії досліджуваної величини $\mu = \sigma^2$ [51]. При реальних кількостях перегонів у містах симетричний варіант розподілу Пуассона буде мати занадто велику дисперсію. Для того, щоб реальні значення кількості перегонів відповідали закону Пуассона, необхідно ввести у розподіл параметр зсуву $n_0 = \text{const}$. Це дозволить досягти симетрії розподілу і відповідності між математичним сподіванням і дисперсією, що характерно для закону Пуассона. Для цього потрібна така оцінка відповідності розподілу n_{ij} закону Пуассона, у якій до кожного значення n_{ij} необхідно додати певну константу, щоб отримати великі значення μ без зміни дисперсії. Цей спосіб отримання інформації про законо-

мірності у значеннях n_{ij} вимагає перевірки придатності для застосування щодо емпіричних даних.

Трикутний дискретний розподіл має ряд, який представляється різними виразами [51] залежно від парності максимального значення n_{ij} :

– якщо $\max\{n_{ij}\}$ є непарним, ряд розподілу записується як

$$p(n) = \begin{cases} 0, & n_{ij} \leq 0, n_{ij} > 2N_c + 1; \\ \frac{n_{ij}}{(N_c + 1)^2}, & 1 \leq n_{ij} \leq N_c + 1; \\ \frac{2N_c - n_{ij} + 2}{(N_c + 1)^2}, & N_c + 1 < n_{ij} \leq 2N_c + 1; \end{cases} \quad (40)$$

– якщо $\max\{n_{ij}\}$ є парним, ряд розподілу виглядає наступним чином:

$$p(n) = \begin{cases} 0, & n_{ij} \leq 0, n_{ij} > 2N_c; \\ \frac{n_{ij}}{N_c \cdot (N_c + 1)}, & 1 \leq n_{ij} \leq N_c; \\ \frac{2N_c - n_{ij} + 1}{(N_c + 1)^2}, & N_c < n_{ij} \leq 2N_c, \end{cases} \quad (41)$$

де N_c – параметр трикутного розподілу.

На відміну від закону Пуассона, в трикутному дискретному розподілі першим членом ряду є кількість перегонів, що дорівнює 1. Це вказує на відчутні відмінності між цими двома законами, причиною чого є неповне теоретичне обґрунтування їх застосування. Параметри розподілу відстаней між ЗП, отримані за допомогою цих законів, можна розглядати лише як орієнтири, але не як кінцеві результати оцінки.

Сам вираз (14) складається з двох частин, кожна з яких включає в себе кількість перегонів. Якщо на шляху між парою ТР долаються n_{ij}

перегонів, то перша частина (14) $\sum_{k=1}^{n_{ij}} l'_k$ буде згорткою показниково розподілених випадкових складових довжин перегонів, яка є законом розподілу Ерланга n_{ij} -го порядку [47, 51] з щільністю ймовірності

$$g_{(n_{ij})}(l'_{ij}) = \frac{\lambda' \cdot (\lambda' \cdot l'_{ij})^{n_{ij}-1} e^{-\lambda' \cdot l'_{ij}}}{(n_{ij}-1)!} \quad (l'_{ij} > 0, n_{ij} = 1, 2, \dots). \quad (42)$$

Таким чином, випадкова величина $l'_{ij} = \sum_{k=1}^{n_{ij}} l'_k$ є змішаною, яка приймає значення, рівне 0 з ймовірністю p_0 , а при значеннях n_{ij} , більших за 0, $G(l'_{ij})$ є неперервною і має похідну $G'(l'_{ij}) = \sum_{k=1}^{n_{ij}} p_k f^{(k)}(l'_{ij})$ [51]. Таким чином, закон розподілу величини l'_{ij} при її значеннях, більших за 0, є ймовірнісною сумішшю законів Ерланга 1-го, 2-го, ..., n_{ij} -го порядків з ймовірностями $p_1, p_2, \dots, p_{n_{ij}}$.

Вираз щільності ймовірності величини l_{ij} буде різним в залежності від розподілу, придатного для опису n_{ij} . Слід зазначити, що друга складова виразу (14) ($n_{ij} \cdot l_{\min}$) буде підкорятися тому ж розподілу, що і величина n_{ij} , тому що $l_{\min} = \text{const}$ для кожного окремого міста.

При використанні закону Пуассона для опису величини n_{ij} щільність l_{ij} буде мати вигляд

$$f(l_{ij}) = \sum_{n_{ij}=1}^{\lfloor l_{ij}/l_{\min} \rfloor} f_{n_{ij}}(l_{ij}) \cdot \frac{\mu^{n_{ij}}}{n_{ij}!} \cdot e^{-\mu} \cdot (1 - e^{-\mu})^{-1}, \quad (43)$$

$$\text{де } f_{n_{ij}}(l_{ij}) = \begin{cases} \frac{(\lambda')^{n_{ij}} \cdot (l_{ij} - n_{ij} \cdot l_{\min})^{n_{ij}-1}}{(n_{ij}-1)!} \cdot e^{-\lambda'(l_{ij} - n_{ij} \cdot l_{\min})} & \text{при } l_{ij} \geq n_{ij} \cdot l_{\min}; \\ 0 & \text{при } l_{ij} < n_{ij} \cdot l_{\min}. \end{cases}$$

У випадку, коли n_{ij} описуватиметься трикутним розподілом з парним $\max\{n_{ij}\}$, щільність ймовірності l_{ij} запишеться як

$$f(l_{ij}) = \frac{1}{N_c^2} \sum_{h=1}^{\min[(l_{ij}-l_{\min})/l_{\min}, N_c]} \sum_{u=1}^{\min[(l_{ij}-h \cdot l_{\min})/l_{\min}, N_c]} \frac{(\lambda')^{h+u}}{(h-1)!} e^{-\lambda'(l_{ij} - (h+u) \cdot l_{\min})} \times \\ \times (l_{ij} - (h+u) \cdot l_{\min})^{h+u-1} \cdot \sum_{d=0}^{u-1} (-1)^d \cdot \frac{1}{d! \cdot (u-1-d)! \cdot (h+d)}. \quad (44)$$

Якщо n_{ij} прийматиме значення, розподілені за трикутним законом з непарним $\max\{n_{ij}\}$, то щільність ймовірності l_{ij} прийме вигляд

$$f(l_{ij}) = \frac{1}{N_c(N_c + 1)} \sum_{h=1}^{\min[(l_{ij}-l_{\min})/l_{\min}, N_c]} \sum_{u=1}^{\min[(l_{ij}-h \cdot l_{\min})/l_{\min}, N_c+1]} \frac{(\lambda')^{h+u}}{(h-1)!} \times \quad (45)$$

$$\times e^{-\lambda'(l_{ij}-(h+u) \cdot l_{\min})} \cdot (l_{ij} - (h+u) \cdot l_{\min})^{h+u-1} \sum_{d=0}^{u-1} (-1)^d \cdot \frac{1}{d! \cdot (u-1-d)! \cdot (h+d)}.$$

У підсумку, теоретичний розгляд всіх складових залежності (14) дав можливість отримати варіанти закону розподілу відстаней між ЗП l_{ij} . Строго кажучи, отримані аналітичні вирази для щільності відстаней l_{ij} не збігаються ні з одним з відомих розподілів випадкових величин. У той же час ці вирази не є такими, які повністю визначаються міською транспортною інфраструктурою, оскільки в їх основі лежать розподіли кількості перегонів, для яких не знайдено достатнього теоретичного обґрунтування. Отримані щільності l_{ij} є лише певним наближенням можливого розподілу відстаней між ЗП і можуть бути замінені найбільш підходящим теоретичним законом розподілу з числа відомих двопараметричних. Необхідність двох параметрів у шуканому розподілі обумовлена наявністю двох параметрів λ' і μ (або N_c) в отриманих варіантах залежності $f(l_{ij})$. Пошук серед найбільш поширених теоретичних розподілів такого, який міг би замінити наведені щільності, доцільно виконати графічним методом. З цією метою були побудовані графіки залежностей (43)-(45) при різних значеннях параметрів λ' , μ і N_c , які показані на рис. 10.

Графіки залежностей (43)-(45) мають дуже сильну зовнішню схожість з двома двопараметричними законами розподілу: гамма і Вейбулла. Беручи до уваги той факт, що розподіли, наведені рис. 10, є імовірнісною сумішшю законів Ерланга, який відноситься до сім'ї гамма-розподілів і є окремим випадком гамма-розподілу при цілочисельних значеннях параметра форми, була висунута наступна гіпотеза: якщо припущення про близькість розподілу n_{ij} до нормального підтвердиться, то для опису результуючого розподілу величини l_{ij} буде придатним гамма-розподіл.

Якщо подібна перевірка дасть ствердний результат, це буде свідчити про прояв відомих закономірностей розселення вже на етапі розміщення ЗП у місті, без будь-якого впливу МК. Іншими словами, отримані теоретичні основи означають, що загальний графік ФР не визначається розподілом пересувань у МК, а формується територіальним розташуванням об'єктів тяжіння у місті. Така ситуація певною

мірою спростовує загальноприйнятий підхід до формування моделей потреб населення упересуваннях, заснованих на значному впливі транспортних факторів.

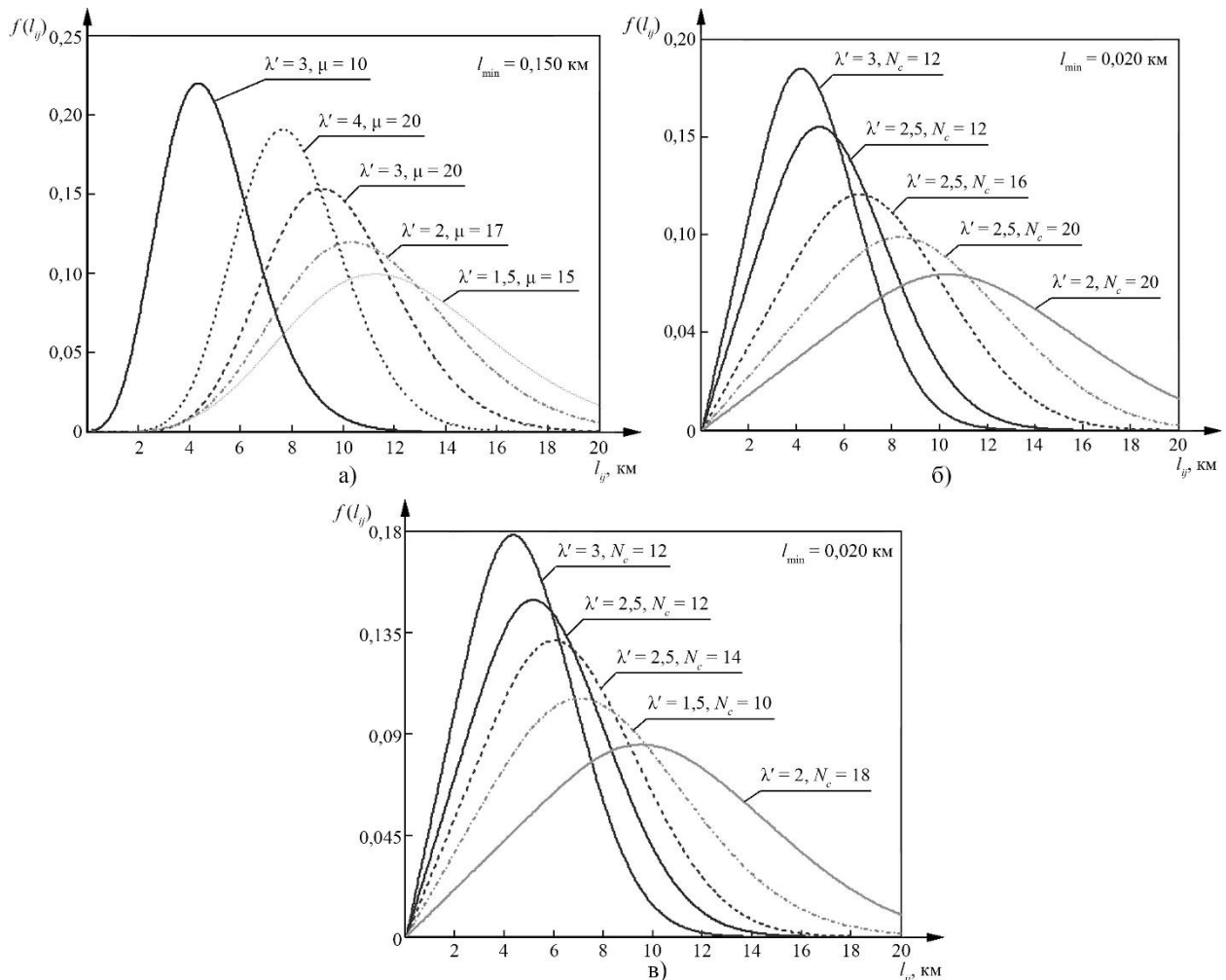


Рис. 10. Графіки щільності розподілу відстаней між усіма можливими парами зупинок ГТ за умови, що кількість перегонів описується:
а) розподілом Пуассона; б) парним дискретним трикутним розподілом;
в) непарним дискретним трикутним розподілом

Наведені вище твердження потребують експериментальної перевірки, яка повинна відповісти і на питання про вплив МК на перетворення розподілу відстаней між зупинками у розподіл відстаней пересувань, тому що прояснити це питання теоретичним шляхом не вдалося.

Основою для експериментальної перевірки теоретичних засад формування ФР стали транспортні моделі таких міст, як Київ, Харків, Суми і Кривий Ріг (Дніпропетровська область). Дані моделі були розроблені в рамках проєктів і науково-дослідних робіт кафедри транспортних систем і логістики та кафедри транспортних технологій Ха-

рківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ). Слід зазначити, що для виконання робіт і проєктів залучались як співробітники кафедр, так і студенти факультету транспортних систем. Моделювання відбувалось з використанням програми VISUM німецької компанії PTV Group[®]. Це обумовлено універсальністю цієї програми, її більш широкими можливостями моделювання ГТ у порівнянні з іншими, а також наявністю у ХНАДУ її версії для комерційного використання.

У даному програмному продукті транспортна модель складається з моделі транспортного попиту, моделі мережі і різних моделей дій. Модель мережі міста містить дані транспортної пропозиції. Вона складається з ТР, вузлів, зупинок, відрізків автомобільної мережі і з ліній ГТ. В ході моделювання маршрутних мереж (ММ) згаданих міст були виконані наступні етапи:

а) введені всі системи ГТ міста та швидкості відповідних транспортних засобів;

б) введені вузли вулично-дорожньої мережі (ВДМ), якими здебільшого є перехрестя;

в) сформовані відрізки (ділянки) ВДМ;

г) задані параметри руху по відрізках:

1) системи транспорту, рух яких дозволено по відрізку (дозволені системи транспорту);

2) вид руху по смугах – односторонній або двосторонній;

д) вказані дозволені напрямки руху на перехрестях (вузлах) ВДМ для різних систем (видів) транспорту;

е) визначено вузли ВДМ, які є зупинками ГТ;

ж) введені траси маршрутів ГТ;

и) введені перевізники, які обслуговують відповідні маршрути;

к) введені тип та місткість транспортних засобів, які працюють на маршрутах;

л) введені розклади руху на маршрутах ГТ;

м) територію міста поділено на ТР;

н) зроблені примикання – шляхи підходів та відходів між центром тяжіння ТР та вузлами ВДМ в обох напрямках (примикання джерела й примикання мети пересування). Кожен ТР поєднаний через примикання як мінімум з одним вузлом ВДМ, щоб учасники руху могли покинути й дістатися цього району. Примикання відповідає кінцевому й початковому пішохідним підходам пасажирів.

В результаті моделювання у VISUM для кожного зі згаданих міст були отримані ММ як за видами транспорту і режимами руху транспортних засобів, так і загальні. Графічне представлення останніх наведено на рис. 11-14.

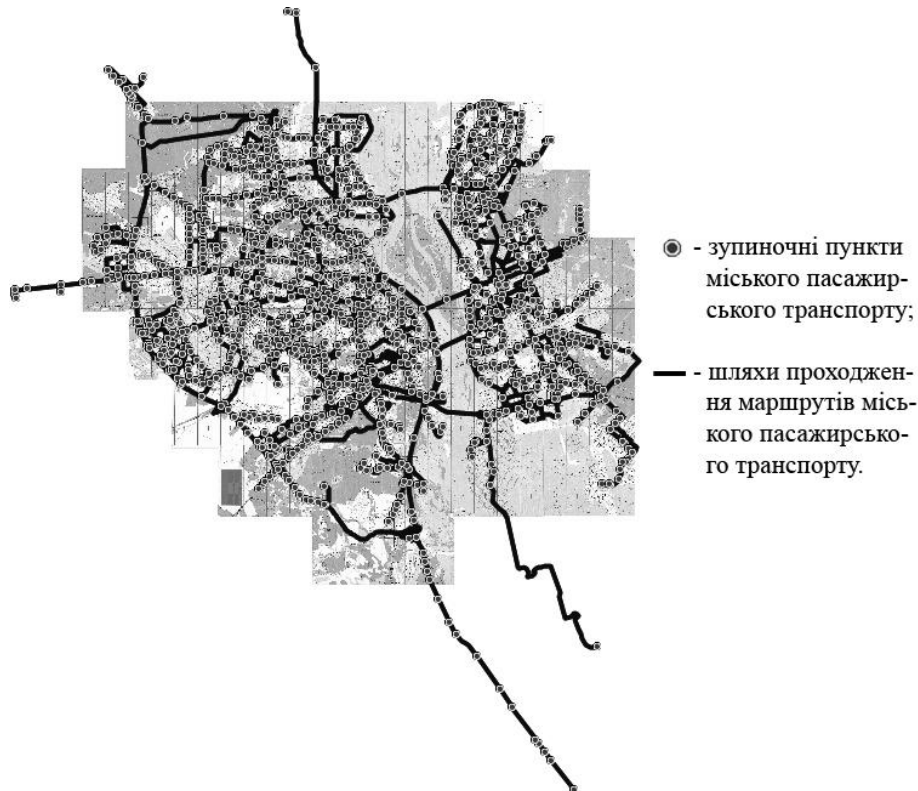


Рис. 11. Маршрутна мережа громадського транспорту міста Київ

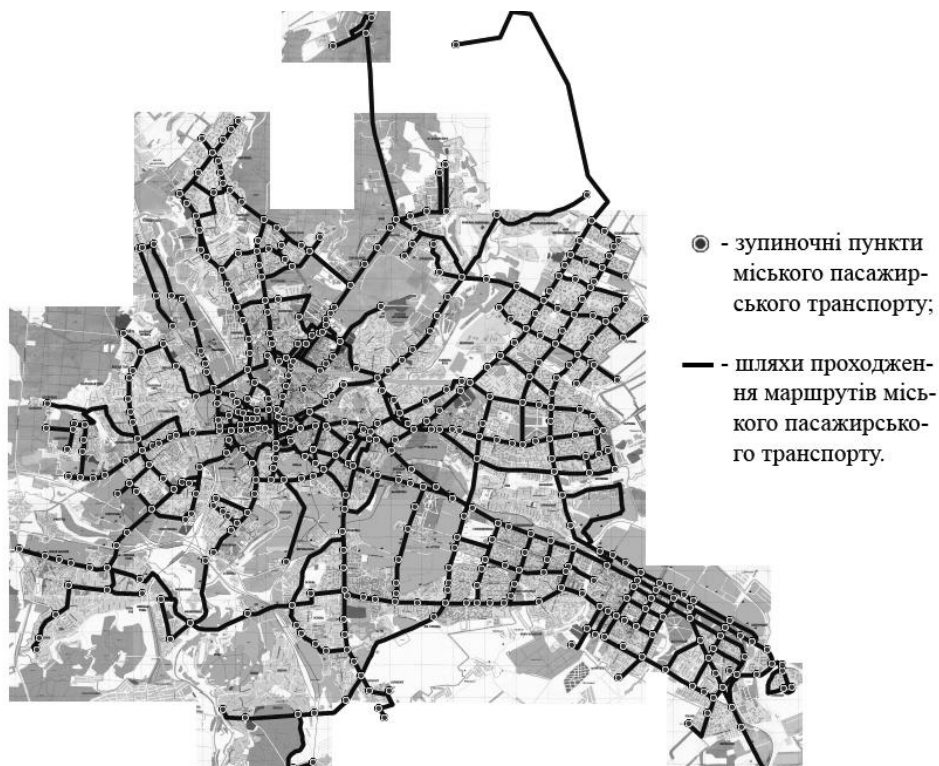


Рис. 12. Маршрутна мережа громадського транспорту міста Харків



Рис. 13. Маршрутна мережа громадського транспорту міста Кривий Ріг

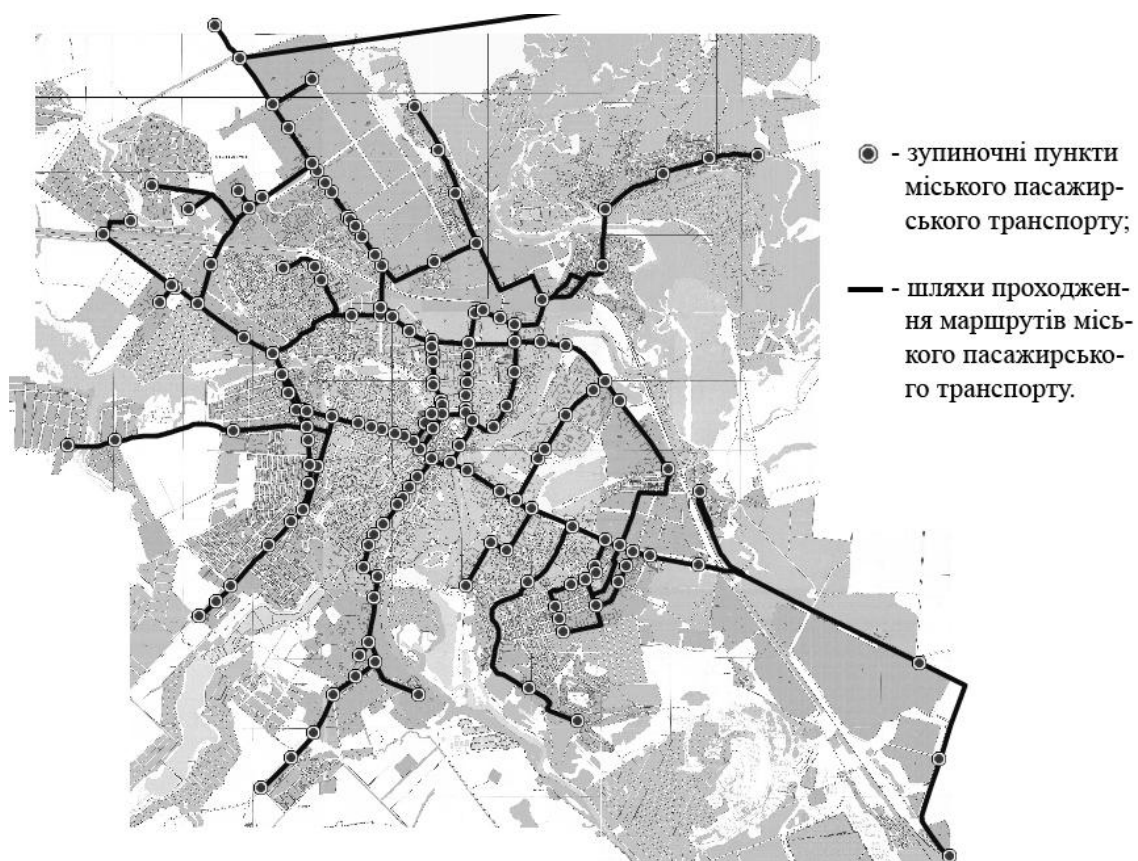


Рис. 14. Маршрутна мережа громадського транспорту міста Суми

Загальна характеристика розроблених моделей ММ наведена в табл. 1.

Таблиця 1

**Характеристика ММ українських міст,
обраних для проведення експериментальних досліджень**

Показник	Місто			
	Київ	Харків	Кривий Ріг	Суми
Кількість вузлів ВДМ	1453	650	462	180
Кількість ділянок ВДМ	4048	1634	1012	400
Кількість зупинок	1416	495	338	166
Кількість маршрутів	377	215	124	61
Протяжність маршрутної мережі	824	425	264	99
Загальна протяжність маршрутів	8101	4053	3874	1366
Кількість перегонів МПТ (незалежно від виду транспорту)	2120	652	388	185
Мінімальна довжина перегону	0,070	0,074	0,100	0,043
Максимальна довжина перегону	12,53	10,15	4,598	8,205
Середня довжина перегону	0,557	0,682	0,746	0,554
Кількість транспортних районів	330	140	73	47
Кількість примикань	668	749	328	165

Ці міста відносяться до великих і крупних відповідно до групування за чисельністю населення [52]: згідно із даними, наявними у лютому 2025 року на офіційному сайті Державної служби статистики України у м. Київ налічується 2952 тисяч осіб наявного населення, у м. Харків – 1421 тисяч осіб, у м. Кривий Ріг – 604 тисячі осіб, у м. Суми – 256 тисяч осіб [53].

Моделі ГТ для цих міст дозволили з достатньою точністю отримати всі необхідні для експериментальних перевірок параметри: координати ЗП, довжини перегонів і матриці відстаней між ТР. Використання даних з цих міст дає можливість довести універсальність

розроблених теоретичних основ і доцільність їх використання для міст, в яких функціонує ГТ.

Першим кроком експериментальних досліджень була перевірка відповідності розподілу відстаней по повітряю від центру міста до всіх ЗП закону Релея. Для його виконання у VISUM були відображені усі ЗП на картах досліджуваних міст. Потім навколо них було окреслено коло, яке охоплювало більшу частину зупинок. «Центральний» ЗП був визначений як найближчий до перетину ортогональних діаметрів кола. Розташування визначених таким чином «центральної» ЗП виявилось таким, що розташоване неподалік історичного центру міста. Шукана відстань була розрахована як

$$d_i = \sqrt{(X_i - X_{\text{ц}})^2 + (Y_i - Y_{\text{ц}})^2}, \quad (46)$$

де d_i – відстань від i -го до «центрального» ЗП;

$X_i, X_{\text{ц}}$ – абсциси i -го та «центрального» ЗП відповідно;

$Y_i, Y_{\text{ц}}$ – ординати i -го та «центрального» ЗП відповідно.

Параметр закону розподілу Релея оцінювався методом моментів. Приклад графіка емпіричного і теоретичного розподілів відстаней від ОП до центру для міста Суми наведено на рис. 15.

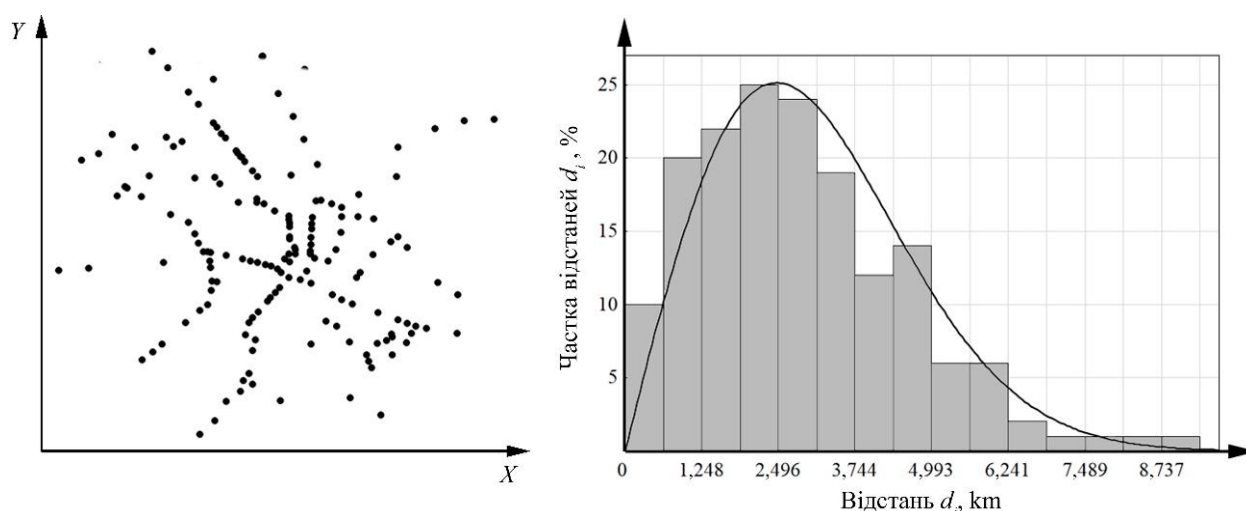


Рис. 15. Розташування зупинок та розподіл відстаней по повітряю між «центральною» зупинкою та іншими зупинками громадського транспорту в м. Суми

У цьому, як і у всіх інших трьох випадках, гіпотеза про придатність розподілу Релея для опису відстаней d_i не відкидається на рівні значущості 5 % згідно з критерієм χ^2 . Параметри розподілу величини

d_i для всіх міст наведені у табл. 2, графіки розподілу наведені на рис. 16.

Таблиця 2

Параметри розподілу Релея, придатного для опису відстаней від «центральної» зупинки до всіх інших

Місто	Показник			
	Параметр σ_d	Значення критерію χ^2	Рівень значущості критерію χ^2	Математичне сподівання, км
Київ	6,16	33,844	0,154	7,677
Харків	5,05	27,586	0,069	6,136
Кривий Ріг	9,95	26,875	0,081	11,717
Суми	2,47	14,931	0,312	2,907

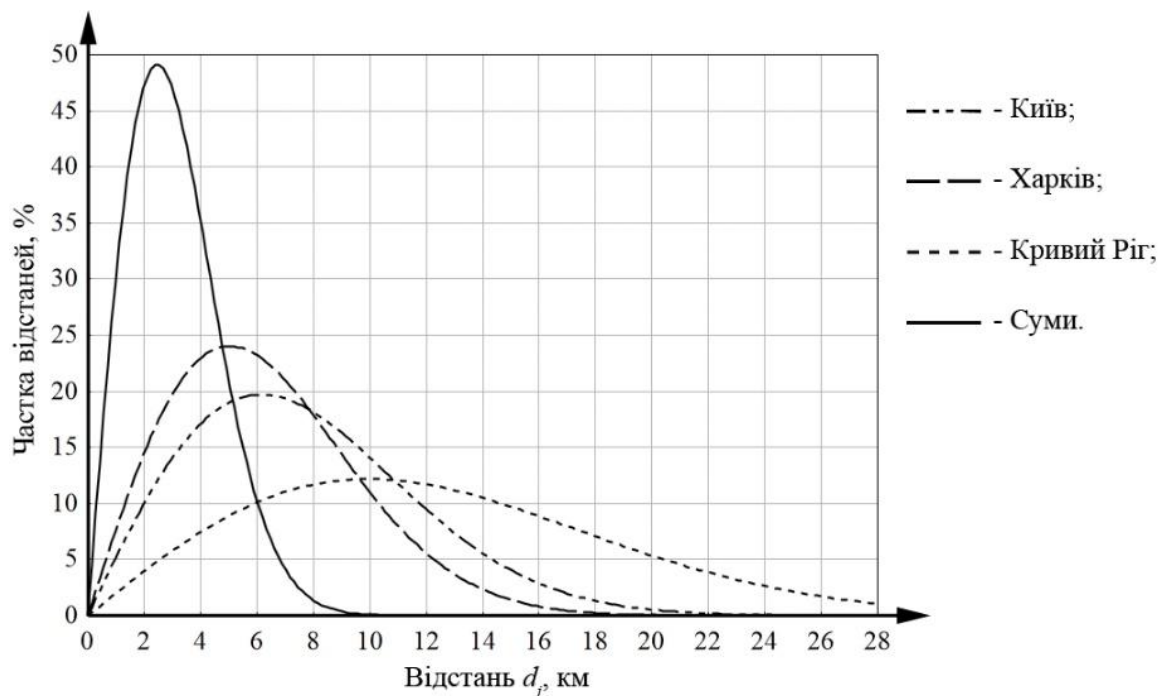


Рис.16. Розподіли відстаней по повітряю між «центральною» зупинкою та іншими зупинками громадського транспорту

У першому наближенні це свідчить про підтвердження гіпотези про випадковий характер процесів розподілу об'єктів тяжіння з ростом населення і території міста при загальному бажанні людей жити і працювати якомога ближче до центру міста.

Наступним кроком в експериментальних дослідженнях є перевірка придатності розподілу Релея для опису довжин перегонів ГТ. При цьому початком координат вважався початок кожного ділянки, що забезпечує графічну інтерпретацію взаємного розташування сусі-

днів ЗП, рис. 17. На цьому ж рисунку показана гістограма частот і графік щільності ймовірності розподілу Релея для міста Харкова.

Відповідність між емпіричними даними і теоретичними кривими оцінювалася за критерієм χ^2 . Ступінь відповідності між емпіричним і теоретичним розподілами виявилася вищою, ніж у попередньому випадку – відповідна гіпотеза не спростовується на 10-відсотковому рівні значущості, табл. 3.

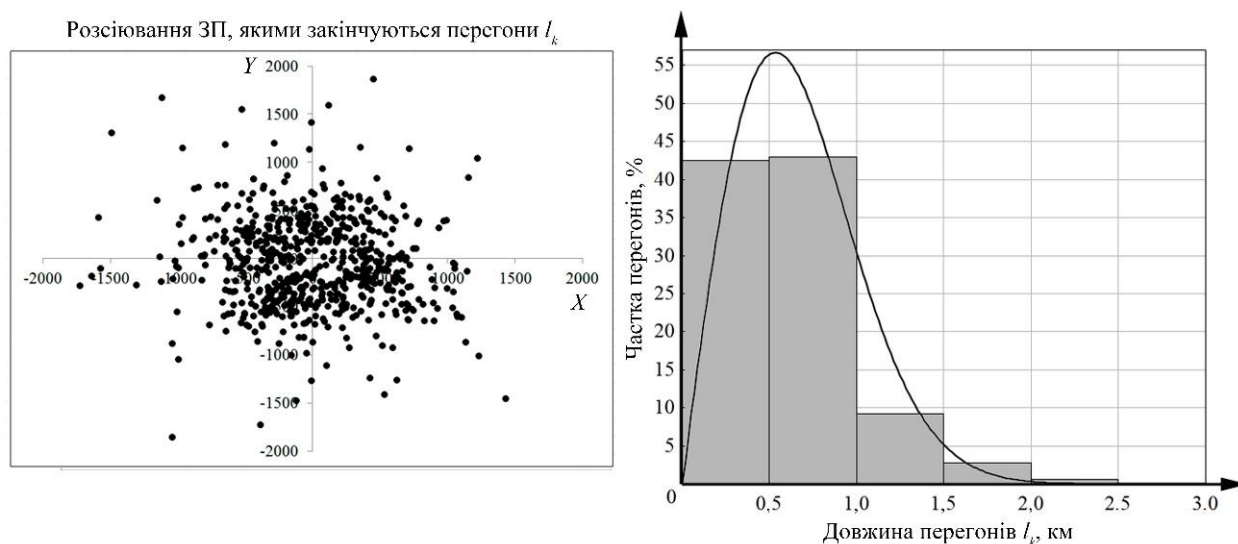


Рис. 17. Взаємне розташування закінчень перегонів і розподіл Релея, придатний для опису довжин перегонів громадського транспорту м. Харкова

Таблиця 3

Параметри розподілу Релея, придатного для опису довжин перегонів громадського транспорту

Місто	Показник			
	Параметр σ	Значення критерію χ^2	Рівень значущості критерію χ^2	Математичне сподівання, км
Київ	0,406	27,346	0,117	0,558
Харків	0,535	22,629	0,179	0,686
Кривий Ріг	0,565	24,249	0,113	0,748
Суми	0,415	16,135	0,373	0,512

Графіки щільності розподілу для інших міст наведені на рис. 18. Це підтверджує гіпотезу про випадковість процесів розподілу об'єктів тяжіння і вказує на наявність параметра зсуву в показниковому розподілі довжин перегонів.

В ході теоретичних досліджень було встановлено, що при описі довжин перегонів доцільно використовувати показниковий розподіл з параметром зсуву l_{\min} . Щільність показникового розподілу закону

щодо довжин скоригованих таким чином довжин перегонів має вигляд

$$f(l'_k) = \lambda e^{-\lambda \cdot l'_k} = \lambda e^{-\lambda \cdot (l_k - l_{\min})}, \quad l'_k = (l_k - l_{\min}) > 0. \quad (47)$$

Приклад результату перевірки придатності даного розподілу для опису довжини перегонів міста Києва наведено на рис. 19а, криві розподілу для інших міст показані на рис. 19б.

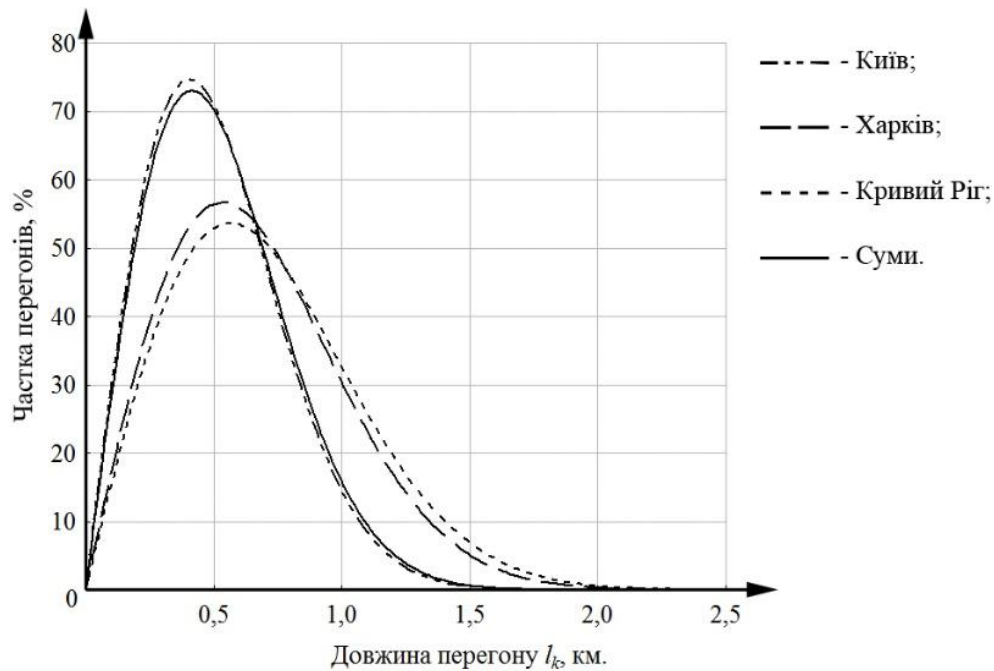


Рис. 18. Графіки щільності ймовірностей розподілу Релея, придатного для опису довжини перегонів

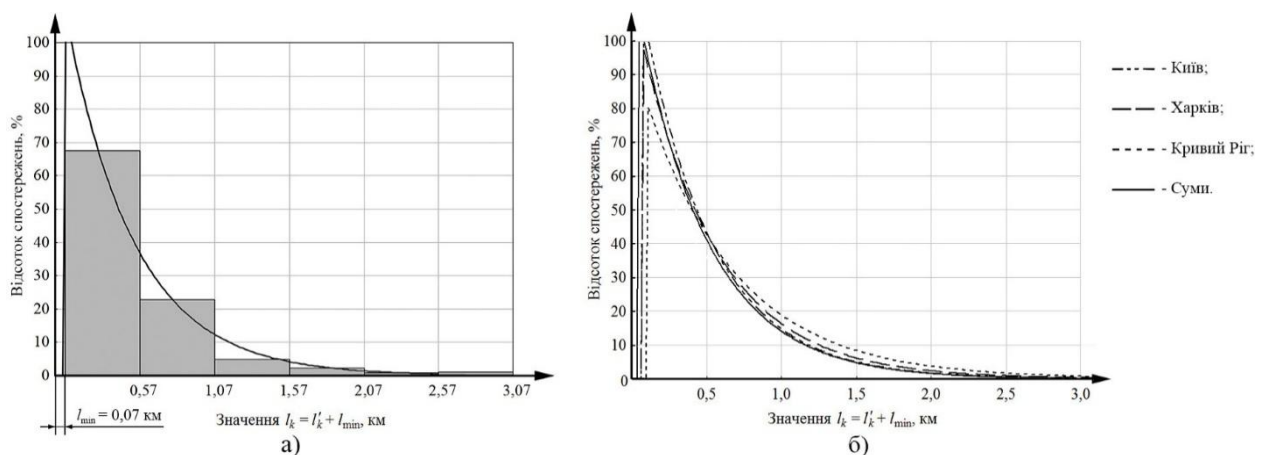


Рис. 19. Графіки показового розподілу з параметром зсуву, придатного для опису довжини перегонів громадського транспорту: а) у м. Київ; б) у всіх досліджуваних містах

Тут варто зауважити, що використання показникового закону з параметром зсуву l_{\min} дозволяє відбити характер величини довжини перегону: оскільки $l'_k = l_k - l_{\min}$, то фактична (повна) довжина перегону визначається виразом $l_k = l'_k + l_{\min}$, який був спеціально використаний для позначення горизонтальних осей графіків на рис. 19. Цим підкреслюється, що щільність розподілу величини l_k визначається розподілом l'_k і починає існувати не з 0, а зі значенням мінімальної довжини перегону l_{\min} , що повністю відповідає дійсності, оскільки перегонів нульової довжини не існує.

Параметр отриманого показникового закону розподілу коливається у межах від 1,63 до 2,18, табл. 4. Ступінь відповідності між емпіричним і теоретичним розподілами виявилася досить високою.

Таблиця 4

Параметри показникового розподілу, придатного для опису скорегованих довжин перегонів

Місто	Показник				
	Мінімальна довжина перегону l_{\min} , км	Параметр λ	Значення критерію χ^2	Рівень значущості критерію χ^2	Математичне сподівання, км
Київ	0,070	2,18	2,738	0,254	0,020
Харків	0,074	1,96	2,738	0,254	0,009
Кривий Ріг	0,100	1,63	1,66	0,436	0,012
Суми	0,043	2,16	1,796	0,773	0,016

Далі можна перейти до оцінки параметрів довжин перегонів L'_s , з яких і складаються відстані l'_{ij} . Параметри розподілу L'_s оцінювалися вибірковим методом, тому що отримання повного переліку перегонів, з яких складаються відстані між усіма можливими парами зупинок, виявилася досить складним завданням. Це пов'язано з відсутністю відповідних інструментів у програмі VISUM. З цієї причини для кожного міста була зроблена випадкова вибірка розміром у 100 відстаней між ЗП, і на основі цих відстаней отримано масиви перегонів, з яких вони складаються. Розмір цієї вибірки обумовлений досить великою кількістю можливих шляхів прямування, які характеризуються різноманітністю трас і різною ймовірністю здійснення поїздок за цими трасами. Як і для інших випадкових величин, були побудовані емпіричні частотні гістограми і графіки щільності ймовірностей тео-

ретичного розподілу, рис. 20. Відповідність між ними була оцінена за допомогою критерію χ^2 .

Результати оцінки відповідності емпіричних і теоретичних розподілів свідчать про придатність показникового розподілу з параметром зсуву l_{\min} для опису скоригованих довжин перегонів L'_s у всіх розглянутих містах.

Параметр показникового закону розподілу для величини L'_s коливається від 1,88 до 3,57. У всіх випадках параметр цього розподілу перевищував параметр розподілу, яким описується початковий набір довжин перегонів l'_k , табл. 5. Це перевищення коливається від 15 % (м. Кривий Ріг) до 65 % (м. Суми).

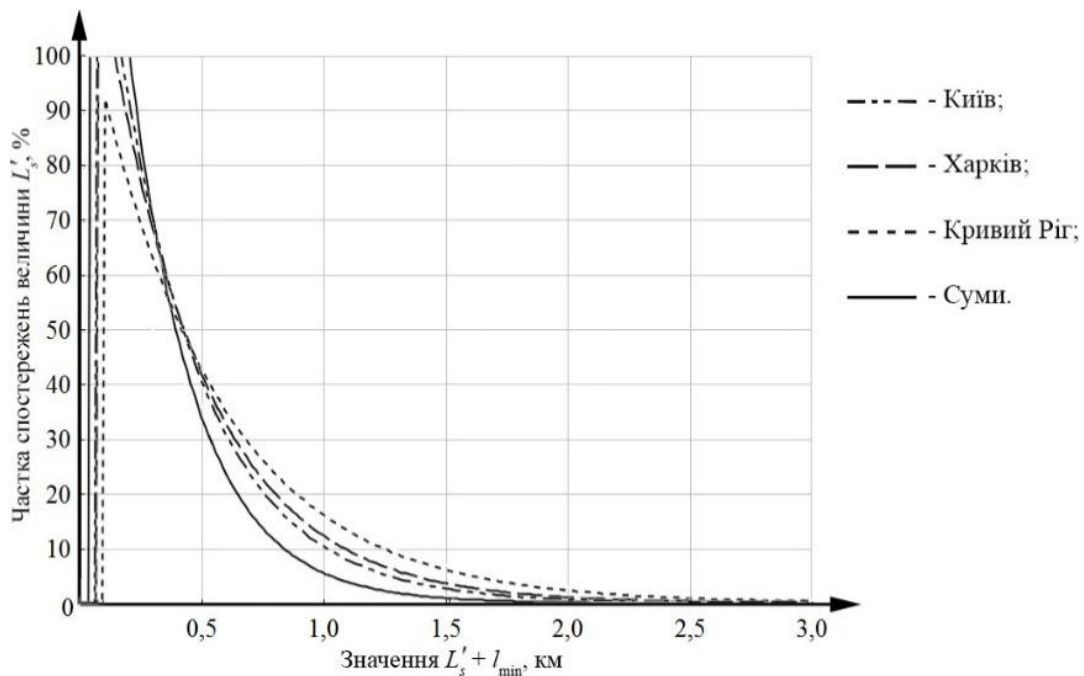


Рис. 20. Показниковий розподіл, придатний для опису довжин перегонів на шляхах між зупинками громадського транспорту

Таблиця 5

Параметри показникового розподілу, придатного для опису довжин перегонів, з яких складаються відстані між зупинками

Місто	Показник				
	Значення зсуву l_{\min} , км	Параметр λ	Значення критерію χ^2	Рівень значущості критерію χ^2	Математичне сподівання, км
Київ	0,070	2,66	3,647	0,239	0,020
Харків	0,074	2,38	2,908	0,184	0,016
Кривий Ріг	0,100	1,88	2,774	0,350	0,018
Суми	0,043	3,57	0,078	0,827	0,010

Отримані дані підтверджують зміну характеристик показникового закону розподілу випадкової частини довжин перегонів при формуванні найкоротших шляхів пересування між ЗП.

До цього етапу експериментальна перевірка не спростувала жодної з висунутих гіпотез. Це дозволяє перейти до оцінки виду і параметрів розподілу відстаней між ЗП l_{ij} . Для розрахунку відповідних матриць відстаней у VISUM було зроблено зонування міської території, при якому кожна зупинка була виділена в окремий ТР. Після зонування у VISUM були виконані процедури розрахунку матриць витрат (*skim matrices*), що містять відстані між ЗП, які долає пасажир у транспортному засобі ГТ.

Для підтвердження припущення про те, що для опису величини l_{ij} може бути використано гамма-розподіл, спочатку за допомогою критерію Пірсона була перевірена придатність пуассонівського і трикутного законів для опису розподілу величини n_{ij} . Криві відповідних розподілів наведені на рис. 21.

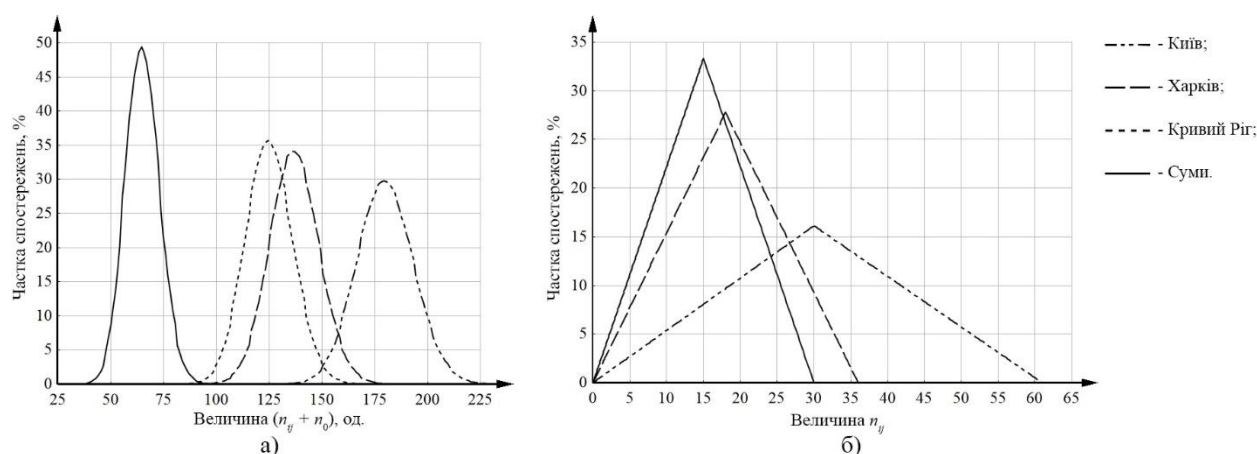


Рис. 21. Розподіл кількості перегонів між зупинками у містах:
 а) за законом Пуассона; б) за трикутним законом

З двох трикутних розподілів до уваги брався тільки найкращий, котрий найбільше підходить для опису розподілу n_{ij} . З восьми перевірок у двох критерій χ^2 вказав на непридатність обох розподілів для опису кількості перегонів у м. Кривий Ріг, табл. 6.

Такі результати можна вважати наслідком недостатньої теоретичної обґрунтованості цих законів розподілу. В цілому ступінь узгодження емпіричних розподілів n_{ij} з теоретичними можна вважати достатньою для того, щоб перейти до перевірки відповідності розподілу відстаней l_{ij} між ЗП гамма-закону. Приклад результатів такої переві-

рки для м. Кривий Ріг наведено на рис. 22а. Результати тесту для інших міст є аналогічними, відповідні криві розподілу показані на рис. 22б, параметри розподілу зведені до табл. 7.

Таблиця 6

**Параметри розподілу Релея, придатного для опису
довжин перегонів громадського транспорту**

Місто	Показник			
	Параметр розподілу	Значення константи n_0	Значення критерію χ^2	Рівень значущості критерію χ^2
Розподіл Пуассона				
Київ	180	150	2,955	0,889
Харків	137	120	14,391	0,072
Кривий Ріг	125	100	20,092	0,000
Суми	65	50	6,095	0,192
Трикутний розподіл				
Київ	30	парний	8,292	0,6003
Харків	17	непарний	23,853	0,0676
Кривий Ріг	-	-	-	-
Суми	14	непарний	17,290	0,0682

Примітка. У стовпчику «Величина константи n_0 » стосовно трикутного розподілу вказано парність максимального значення n_{ij} .

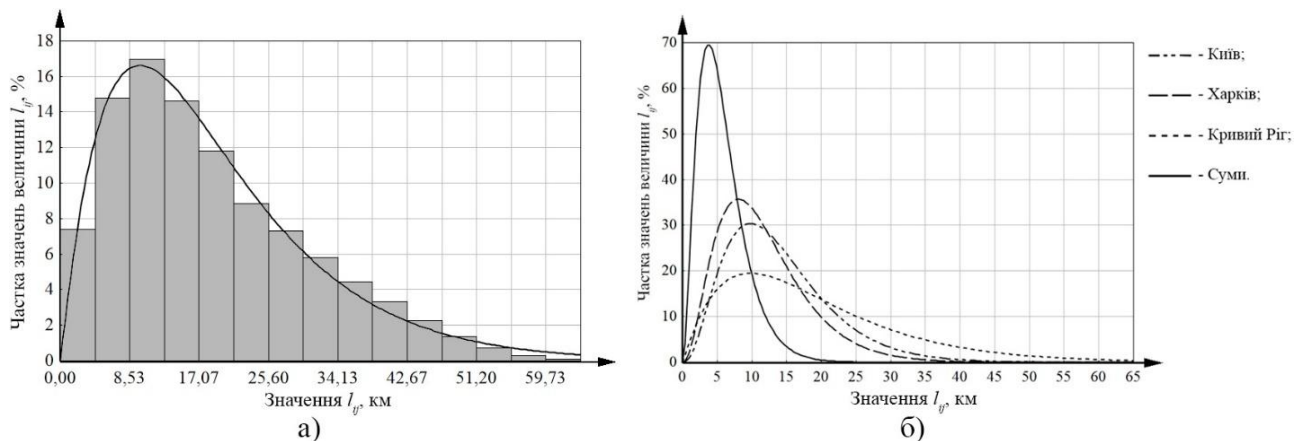


Рис. 22. Розподіл відстаней між зупинками:
а) у м. Кривий Ріг; б) у всіх досліджуваних містах

Все це вказує на те, що не слід відкидати гіпотезу про можливість опису випадкового значення відстаней між ЗП у досліджуваних містах гамма-розподілом.

Параметри гамма-розподілу, придатного для опису випадкової величини відстаней між зупинками (транспортними районами)

Місто	Показник			
	Параметр масштабу β	Параметр форми α	Значення критерію χ^2	Рівень значущості критерію χ^2
Київ	4,10	3,40	21,144	0,145
Харків	3,59	3,25	16,448	0,280
Кривий Ріг	9,18	2,07	8,036	0,582
Суми	2,00	2,88	7,163	0,343

Теоретичним розподілом, який точно описує відстані між ЗП, є гамма-розподіл зі значеннями параметру форми більше 2. Це свідчить про підтвердження всіх висунутих гіпотез. Виходячи з цього, можна зробити висновок про те, що отриманий гамма-розподіл є результатом просторового розташування пунктів тяжіння (зупинок). Цей факт свідчить про прояв відомих закономірностей заселення на етапі розташування ЗП на міській території, що дає підставу розглядати гамма-розподіл відстаней між ЗП як основу для побудови кривої розселення.

Для того, щоб оцінити вплив МК на розподіл відстаней між об'єктами тяжіння при отриманні ФР населення, необхідно виконати відповідні перетворення з використанням фактичних МК всіх міст, обраних для експериментальних досліджень. Відсутність актуальних МК для будь-якого українського міста унеможливорює отримання фактичної ФР. Тому цю функцію доцільно вивчати в загальному вигляді, з використанням теоретично можливих МК. Для їх розрахунку були обрані найбільш поширені і теоретично можливі моделі розподілу пересувань між клітинками матриці:

– стратегія заповнення матриці, котра мінімізує загальну відстань пересувань у системі ГТ «Passenger-kilometres (PKM) Minimization». В рамках цієї стратегії МК отримується як рішення транспортної задачі для заданих місткостей ТР по відправленню і прибуттю пасажирів. Вона покликана охарактеризувати «крайній» стан транспортного попиту на теоретично можливий випадок «ідеального» розселення, коли витрати пасажирів і перевізників мінімальні;

– гравітаційна модель з функцією тяжіння $c(l_{ij}) = 1/l_{ij}^2$, яка буде називатися «Classic Gravity Model»;

– гравітаційна модель з функцією тяжіння $c(l_{ij})=1/l_{ij}$, яка буде називатися «Reduced Gravity Model»;

– стратегія випадкового заповнення МК, яку можна назвати «Random Matrix». Для реалізації цієї стратегії був розроблений програмний алгоритм, робота якого заснована на використанні випадкових чисел для вибору клітинок матриці і розрахунку кількості поїздок у них;

– стратегія заповнення МК, яка максимізує сумарну відстань пересувань у системі ГТ і яку доцільно назвати «PKM Maximization». Дана стратегія вводиться як протилежність стратегії «PKM Minimization» і є суто теоретичною. Вона покликана показати максимальний ступінь впливу МК на вигляд ФР при одних і тих же місткостях ТР по відправленню і прибуттю пасажирів.

Вихідною інформацією для розрахунку МК є місткості ТР досліджуваних міст по відправленню і прибуттю пасажирів ГТ, і вони були наявними за підсумками науково-дослідних робіт і проєктів для усіх міст, крім Києва. На основі місткостей ТР та матриці відстаней між ними було визначено МК для трьох міст відповідно до вищеперелічених стратегій. В результаті трансформації матриць відстаней між ТР через розрахункові МК було отримано відповідні теоретично можливі масиви відстаней пересувань міського населення. Перевірка відповідності між розподілами цих відстаней, які є закономірностями розселення, і теоретичним гамма-розподілом проводилася за допомогою критерію χ^2 Пірсона. Приклад такої перевірки для міста Харкова у випадку застосування стратегії «Random Matrix» наведено на рис. 23а, інші криві для цього міста наведені на рис. 23б, а криві для інших міст – на рис. 24. Результати перетворень матриць відстаней через МК виявились доволі схожими для досліджених міст, що дозволяє формулювати загальні висновки на їх основі.

ФР, отримані за допомогою стратегій «PKM Minimization» і «PKM Maximization» – стратегій, які генерують екстремальні стани транспортного попиту стратегії, свого роду «екстремальні стратегії» – узгоджуються з теоретичними розподілами менше, ніж ФР, отримані за допомогою інших стратегій. У випадку з «екстремальними» стратегіями ймовірність критерію χ^2 становить менше 5 %, а для всіх «середніх» стратегій ймовірність критерію χ^2 є набагато більшою за 10 %.

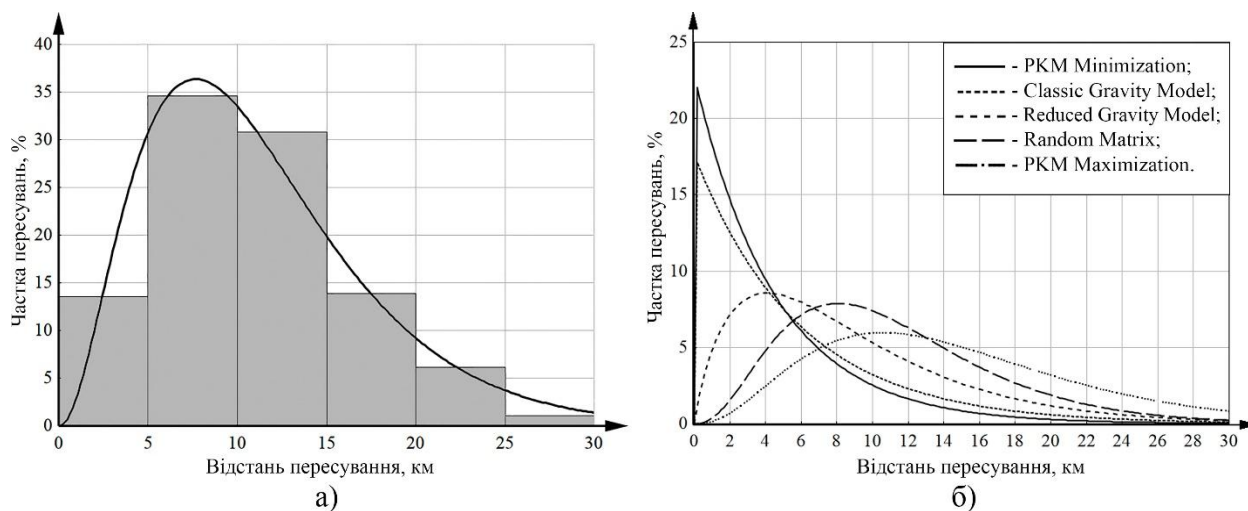


Рис. 23. Перевірка відповідності між кривими розселення населення м. Харків і щільністю гамма-розподілу: а) при використанні стратегії заповнення МК «Random Matrix»; б) при використанні всіх стратегій заповнення МК

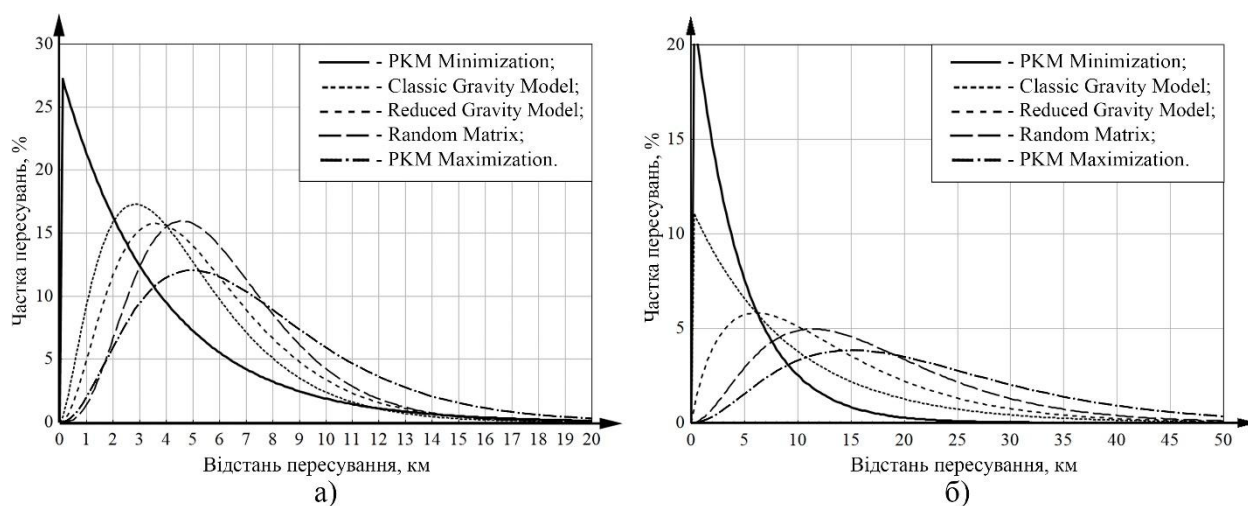


Рис. 24. Криві розселення міст, отримані при різних стратегіях заповнення матриці кореспонденції: а) для м. Суми; б) для м. Кривий Ріг

Результати оцінки перевірки відповідності емпіричних розподілів теоретичним за допомогою тесту Колмогорова-Смирнова виявились позитивними у всіх випадках, табл. 8.

З наведених вище рисунків видно, що будь-які стратегії заповнення МК приводять до таких змін розподілу відстаней між об'єктами тяжіння, які зберігають зовнішню схожість з кривими сімейства гамма-розподілу. Стратегії «PKM Minimization» і «Classic Gravity Model» приводять до отримання кривої розселення населення, близької до показникового закону. В цілому ці стратегії можна вважати такими, що приводять до «екстремального» стану транспортного попиту.

**Параметри розподілів, придатних для опису теоретично
можливих кривих розселення міського населення**

Стратегія заповнення МК	Розподіл, придатний для опису ФР			Критерій χ^2	
	вид розподілу	параметр масштабу	параметр форми	значення	рівень значущості
Харків					
PKM Minimization	показниковий	0,22		25,68	0,050
Classic Gravity Model	показниковий	0,17		14,67	0,224
Reduced Gravity Model	гамма	4,72	1,87	14,44	0,145
Random Matrix	гамма	3,19	3,53	14,58	0,284
PKM Maximization	гамма	4,24	3,50	18,69	0,053
Кривий Ріг					
PKM Minimization	показниковий	0,22		4,39	0,280
Classic Gravity Model	показниковий	0,11		9,72	0,286
Reduced Gravity Model	гамма	6,92	1,88	4,69	0,624
Random Matrix	гамма	5,61	3,03	17,29	0,066
PKM Maximization	гамма	7,12	3,11	35,52	0,051
Суми					
PKM Minimization	показниковий	0,27		23,87	0,051
Classic Gravity Model	гамма	1,81	2,57	5,25	0,425
Reduced Gravity Model	гамма	1,75	3,07	8,38	0,289
Random Matrix	гамма	1,39	4,30	8,55	0,186
PKM Maximization	гамма	2,20	3,26	19,78	0,052

Примітка. Для показникового розподілу наводиться один його параметр, який вводиться в обидві клітинки, призначені для параметрів двопараметричних розподілів.

Виходячи з результатів експериментальних досліджень, можна з упевненістю стверджувати, що гамма-розподіл, який описує криву ФР, задається розподілом відстаней між ТР міста. Це означає, що закономірності розселення є результатом розподілу об'єктів транспортного тяжіння в напрямку від центру до околиць міста по мірі його зростання. Гамма-розподіл не трансформується в будь-який інший розподіл, незалежно від того, яким чином заповнена МК. Це можна пояснити наявністю обмежень щодо місткостей ТР по відправленню

та прибуттю пасажирів, але перевірка цього твердження є предметом окремого дослідження.

Отримані результати також свідчать про доцільність використання фактичних ФР населення для визначення попиту на послуги ГТ. Це дозволить найкращим чином обґрунтувати розподіл кореспонденцій між парами пунктів відправлення і прибуття пасажирів. Також розроблені теоретичні основи можуть слугувати обґрунтуванням для використання транспортних факторів при моделюванні попиту міського населення на транспорті пересування.

Викладені теоретичні та експериментальні дослідження доводять, що розподіл відстаней між об'єктами тяжіння визначає розподіл довжин пересувань, і для опису обох зазначених закономірностей є придатним гамма-розподіл. У ході дослідження також визначено, що ФР можна розглядати як результат перетворення матриці відстаней між зупинками через МК. У той же час МК є своєрідним «мультиплікатором» відстаней між зупинками. МК впливає на криву розселення, але цей ефект не змінює тип розподілу, придатний для опису відстаней між зупинками, а лише змінює його параметри. Всі розглянуті моделі розподілу пересувань, і навіть ті, що породжують «екстремальні» стани транспортного попиту, приводять до продукування ФР, які можуть бути описані функціями щільності з сімейства гамма-розподілу.

Ці факти є значним внеском у теорію вивчення закономірностей розселення, оскільки пояснюють причини загального типу розподілу відстаней пересувань. Незважаючи на дію багатьох факторів, такий розподіл визначається розташуванням об'єктів тяжіння у місті. У контексті ГТ розташування цих об'єктів описується розташуванням зупинок.

Ще одне питання, яке заслуговує уваги, полягає в тому, що доведена доцільність використання функції щільності гамма-розподілу для опису ФР полегшує отримання фактичних закономірностей розселення. Так як вид розподілу визначений, то достатнім є проведення вибіркового обстеження пересувань для оцінки лише моментів розподілу, що гарантує можливість розрахунку його параметрів. З практичної точки зору це означає значне зниження витрат на отримання ФР, що є важливою інформацією для налаштування і за потреби калібрування моделей розподілу пересувань.

Варто зазначити, що методи проведення вибірових обстежень пересувань міського населення на сьогоднішній день задокументова-

ні не найзначнішою мірою, і проектувальникам надається досить велика свобода у виборі методів їх проведення і ступеня охоплення обстеженням населення міста. Через це доцільним є аналіз доступних джерел відповідної тематики з метою визначення альтернативних підходів до організації і проведення вибірових обстежень.

Зазвичай у ході таких обстежень жителі міста опитуються про кількість і способи реалізації попиту на пересування. Кількість вже проведених опитувань є вельми значною, але оскільки далеко не кожне з них піддається глибокому аналізу з погляду якості отриманих результатів, перелік відповідної літератури не надто великий. Перелік же джерел, що містять рекомендації з планування обстеження, є ще коротшим. Вказівки щодо раціонального охоплення населення обстеженням пересувань містяться у працях [54], які не суперечать одна одній і у той же час є загальновизнаними орієнтирами щодо планування обстежень. Зокрема, вони використані в роботі [55], в якій зроблено спробу оцінити наслідки скорочення обсягу вибірки. Інструментом для цього було обрано програму VISUM, у якій оцінювали наслідки використання вибірок різного розміру на окремих етапах моделювання попиту – від його генерації до розподілу між системами міського транспорту. Авторами [55] розглянуто чотири вибірки:

- повна – 6000 респондентів;
- три скорочені – 2400, 1000 і 750 респондентів, які були частиною повної вибірки.

В результаті оцінювання параметрів різних моделей попиту у статті [55] було зроблено висновок про доцільність використання скорочених вибірок для проведення опитувань у містах кожні 2 роки і повних обстежень кожні 10 років.

Авторами роботи [55] було порушено дуже цікаве питання про можливість скорочення обсягів вибірок при проведенні обстеження, актуальність чого добре обґрунтована на прикладі польських міст. Отримані показники дали змогу зробити авторам висновок щодо раціональних обсягів вибірки в опитуванні на основі експертної оцінки результатів обстеження різних масштабів. Однак усі висновки у роботі отримано на прикладі одного міста і не можуть претендувати на загальність. Крім того, у роботі не надано аналітичної оцінки похибок вибірки, що виникають на різних етапах моделювання, і це також не дає змоги поширити висновки на міста з різною чисельністю населення. Проте слід зазначити перспективність наряду досліджень,

обраного авторами, і доволі високу значущість отриманих результатів [55].

Існує досить багато різних способів збирання даних, докладно описаних у [56]. Це такі обстеження, як:

- співбесіди на робочих місцях;
- опитування у салонах транспортних засобів ГТ;
- опис пересувань учорашнього дня;
- GPS-щоденники дослідження домогосподарств;
- запис траєкторій руху мобільних телефонів [57];
- інтернет-опитування тощо [56].

У багатьох країнах робляться спроби скорочення обсягів вибірок при проведенні обстежень. Зокрема, у роботі [58] де запропоновано застосовувати GPS для перевірки результатів і коригування коефіцієнтів моделей транспортного попиту. Фактично, GPS доволі часто застосовують під час обстежень домогосподарств [59, 60], але у роботі [60] його використано як основний інструмент для збирання даних, і автори зосереджуються на різних способах поліпшення отриманих результатів, наприклад, шляхом організації і проведення зустрічей у фокус-групах або прямих інтерв'ю для доповнення і уточнення GPS-даних. У багатьох країнах, включаючи Україну, використання даних GPS або мобільних телефонів не завжди можливе через законодавчий захист персональних даних.

Проте, як і раніше, найбільш популярними і надійними дослідженнями в сучасних умовах є традиційні обстеження пересувань за допомогою безпосередніх опитувань. Це досить дорогий і відносно складний метод, але їхні результати, які використовують для подальшого розроблення моделі транспортного попиту, мають більш ніж задовільну інформативність. Комплексне обстеження пересувань є вибіркоvim і проводиться як обстеження домогосподарств, розташованих на модельованій території, що розділена на більш дрібні одиниці – ТР. У більшості випадків такі обстеження є ретроспективними, і респондента запитують про всі його пересування за попередній день, найчастіше – робочий. Анкета обстеження складається із:

- запитань, що стосуються пересування – наприклад, адреси відправлення та призначення, час у дорозі, мета пересування, використаний вид транспорту тощо;

- запитань, що стосуються вподобань респондента в пересуваннях та його думки про транспортну систему.

Тривалість опитування при такому обстеженні зазвичай складає до 30 хвилин, і воно надає достатній обсяг інформації транспортним планувальникам для наповнення транспортної моделі параметрами попиту. В Україні цей метод використовується практично у всіх випадках розроблення комплексних транспортних моделей міст і планів сталої міської мобільності, і тому він потребує особливої уваги з точки зору методики планування обстежень.

Слід зазначити, що найнадійнішим підґрунтям для планування обстежень у рамках транспортного моделювання залишаються настанови, наведені в [54], табл. 9.

Таблиця 9

Рекомендований рівень охоплення населення міста соопитуванням

Діапазон чисельності населення міста, осіб	Обсяг вибірки, % від чисельності населення	
	рекомендований	мінімальний
менше 50 000	20	10
від 50 000 до 150 000	12,5	5
від 150 000 до 300 000	10	3
від 300 000 до 500 000	6,7	2
від 500 000 до 1 000 000	5,4	1,5
понад 1 000 000	4	1

Незважаючи на емпіричне підґрунтя цих вказівок, вони охоплюють усі групи міст і враховують чисельність їхнього населення, що є обов'язковою умовою для такого роду вказівок. Їх не завадило би допрацювати з позицій оцінки точності одержуваних у результаті проведення обстеження даних. Робити це слід для найпроблемніших місць транспортного моделювання, в яких виникають найбільші помилки, зумовлені недостатнім обсягом вибірки.

Значущість сформованих теоретичних основ, котрі пояснюють загальність вигляду графіків ФР, для методології розподілу пересувань полягає ще у тому, що отримання ФР «звичного» вигляду на основі випадково заповненої МК (наприклад, рис. 23а) вказує на те, що використання розповсюджених гравітаційних і ентропійних моделей у прогнозуванні пересувань є зовсім необов'язковим. Гідною заміною цим «класичним» моделям можуть стати більш перспективні, у яких місткість ТР і ФР виступають обмеженнями на розподіл пересувань. У такому випадку отримана МК буде повністю відповідати ФР без необхідності калібрування, адже ФР буде безпосередньо використовуватись для розподілу кореспонденцій.

В загальному випадку закономірності розселення населення можна розглядати як відображення вже реалізованого транспортного попиту. Така реалізація не трансформує гама-розподіл, який, як було доведено, може бути використаний для опису розподілу відстаней між ЗП (ТР) міст, у будь-який інший під час формування масиву відстаней пересувань населення на основі МК згідно зі схемою, проілюстрованою за допомогою рис. 2 і 3.

Це вказує на можливість визначення найбільш ймовірних станів МК, посилаючись на криву щільності гама-розподілу, якою описується ФР населення. Для цього доцільно застосувати інтервальну концепцію моделювання потреб у транспортних послугах, яка передбачає використання кількох МК для опису пересувань населення протягом одного і того самого періоду [15]. Для розрахунку шуканих матриць потрібно використовувати фактичні закономірності розселення населення міста. Їх встановлення повинне ґрунтуватись на інформації про дальність транспортних трудових пересувань городян. Отримання такої інформації щодо всього працездатного населення є вельми складною задачею, через що доцільним виглядає проведення вибіркового обстеження дальності пересувань, в ході якого потрібно отримати інформацію про місця відправлення і прибуття людей при пересуваннях на ГТ. Обробка отриманої інформації надасть можливість отримати розподіл мешканців міста за дальністю пересувань, тобто дасть вибіркочну оцінку ФР населення, яку згідно з результатами проведених досліджень можна буде описати кривою гама-розподілу.

Наявність параметрів розподілу відстаней між ТР (ЗП) міст та фактичної кривої розселення населення дозволить визначити шукані МК, які призводитимуть до отримання зазначеної або максимально наближеної до неї кривої. Відшукання таких станів матриці повинне базуватись на встановленні значень кореспонденцій, що будуть реалізовуватись на визначену відстань з матриці відстаней між ТР і в загальній сукупності породять фактичну криву розселення. Такі значення кореспонденцій являють собою ніщо інше, як частоту здійснення пересувань на певну відстань. Таким чином, знаючи параметри кривої розподілу відстаней між ТР та кривої щільності ймовірності, яка придатна для опису фактичної ФР населення, можна встановити співвідношення частот виникнення пересувань на певні відстані, а значить і самих кореспонденцій, які перетворюють відповідним чином розподіл відстаней між ТР у фактичну функцію розселення,

рис. 25:

$$TRANS(l_{ij}) = \frac{w(l_{ij})}{f(l_{ij})}, \quad (48)$$

де $TRANS(l_{ij})$ – трансформатор одного закону розподілу в інший;

$w(l_{ij})$ – щільність розподілу ймовірності, якою описується фактична крива розселення населення;

$f(l_{ij})$ – щільність розподілу відстаней між ТР міста.

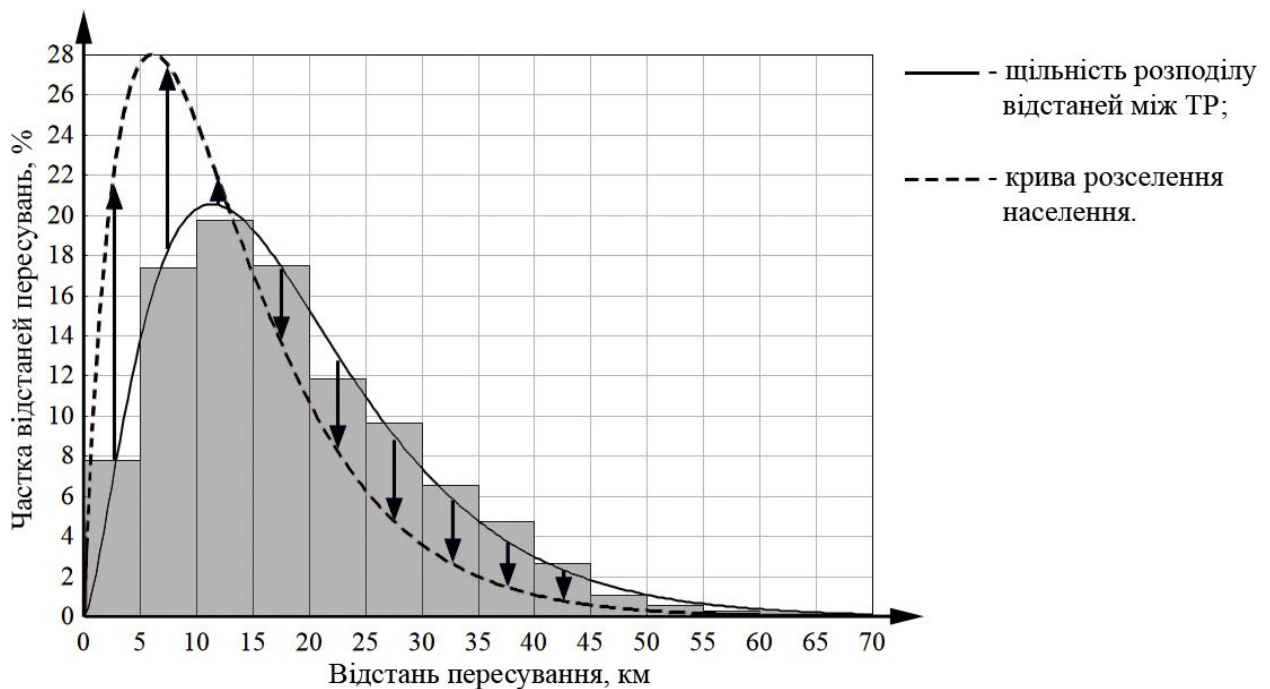


Рис. 25. Ілюстрація трансформації розподілу відстаней між транспортними районами у криву розселення населення

Співвідношення даних функцій визначає скільки пересувань на певну відстань повинно реалізуватись, щоб розподіл відстаней між ЗП (ТР) трансформувався у фактичну криву розселення. На цій основі можна встановити порядок заповнення МК:

– фактична ФР дозволить визначити відсоткове співвідношення кількості мешканців, дальності пересувань яких відносяться до встановлених інтервалів відстаней пересувань;

– визначити кількість інтервалів, за якими будуть групуватися відстані пересувань, що являють собою відстані між ТР, можна безпосередньо при оцінці узгодження емпіричного розподілу цих відстаней з теоретичним гама-розподілом. Також з цією метою, а також з метою визначення ширини інтервалів, можна скористатися будь-

яким із загальновідомих способів. У випадку досить малої кількості пересувань, які потрапляють у певні інтервали, їх доцільно об'єднувати, тобто використовувати інтервали різної ширини.

Частка мешканців, відстань трудових пересувань яких згідно з ФР повинна знаходитися в певному інтервалі η_I , може бути знайдена як різниця значень функції гама-розподілу, якою описуються закономірності розселення, в точках, що відповідають межам даного інтервалу

$$P\{l_{ij}^{(\eta_I)}\} = P\{l_{ij} \in \eta_I\} = P\{l_{ij} \in (\eta_I^H; \eta_I^E]\} = W(\eta_I^E) - W(\eta_I^H), \quad (49)$$

де $P\{l_{ij}^{(\eta_I)}\} = P\{l_{ij} \in \eta_I\}$ – ймовірність того, що відстань пересування l_{ij} буде знаходитись в інтервалі η_I ;

$\eta_I = (\eta_I^H; \eta_I^E]$ – інтервал групування відстаней пересувань, що визначається нижньою η_I^H та верхньою η_I^E межами, $I = 1, 2, \dots, x_{Int}$;

x_{Int} – кількість інтервалів групування відстаней пересувань пасажирів;

$W(\eta_I^E), W(\eta_I^H)$ – значення ФР населення в точках η_I^E та η_I^H відповідно.

Згідно з цим загальна кількість кореспонденцій, які повинні реалізуватись на відстань з певного інтервалу η_I , щоб потім сформувавши встановлену криву розселення населення, може бути визначена по формулі

$$H^{(\eta_I)} = P\{l_{ij}^{(\eta_I)}\} \cdot H, \quad (50)$$

де $H^{(\eta_I)}$ – сумарна кількість пересувань на відстані з інтервалу η_I ;

H – загальна кількість пересувань (кореспонденцій) за досліджуваний період.

Знаючи розподіл пересувань мешканців міста за дальністю та користуючись відомою матрицею відстаней між ТР, можна віднайти клітинки МК, кореспонденції $h_{ij}^{(\eta_I)}$ у яких реалізуються на відповідні відстані $l_{ij}^{(\eta_I)}$ з проміжку $\eta_I = (\eta_I^H; \eta_I^E]$, та сформувавши рівняння, що визначають сумарну кількість пересувань $H^{(\eta_I)}$ на відстані з певних інтервалів їх значень. Таким чином, для розподілу кореспонденцій у МК потрібно вирішити наступну задачу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m h_{ij} = A_j; \\ \sum_{j=1}^m h_{ij} = D_i; \\ \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} h_{ij}^{(\eta_1)} = H^{(\eta_1)}; \\ \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} h_{ij}^{(\eta_2)} = H^{(\eta_2)}; \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} h_{ij}^{(\eta_l)} = H^{(\eta_l)}; \\ \sum_{l=1}^{x_{int}} H^{(\eta_l)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m h_{ij} = H, \end{array} \right. \quad (51)$$

де h_{ij} – шукані кореспонденції між ТР i та j , $h_{ij} \geq 0$;

m – кількість районів відправлення та прибуття;

A_j, D_i – місткості ТР по прибуттю та відправленню пасажирів відповідно;

$h_{ij}^{(\eta_l)}$ – кореспонденції з числа h_{ij} , які реалізуються на відстані $l_{ij}^{(\eta_l)}$, що належать інтервалу η_l .

Система обмежень (51) являє собою систему лінійних рівнянь, яка має декілька рішень, тому що кількість рівнянь значно менша за кількість змінних h_{ij} . Це підтверджує доцільність використання інтервальної концепції розрахунку потреб населення у пересуваннях. Для отримання МК, які б задовольняли обмеженням (51), у програмному середовищі Microsoft Excel був розроблений алгоритм на мові програмування Visual Basic for Applications (VBA). Робота розробленого алгоритму заснована на генерації випадкових чисел при заповненні клітинок МК і тому формуватиме випадкові матриці, що відповідають фактичній ФР.

Така методика розрахунку МК дозволить в повній мірі врахувати випадковість кореспонденцій та отримати такий їх розподіл між клітинками МК, який забезпечуватиме формування фактичної кривої розселення населення. Також розроблена методика повністю відповідає інтервальній концепції моделювання транспортного попиту та є її

розвитком. Сформовані МК зроблять можливим інтервальну оцінку будь-яких показників, пов'язаних з реалізацією потреб у перевезеннях та, відповідно, якістю транспортного обслуговування населення.

Застосування розробленої методики в рамках інтервальної концепції дозволить значно скоротити діапазон можливих станів МК, тому що результуючі матриці будуть відповідати транспортній роботі по реалізації кореспонденцій, значення якої характеризуватимуться малою варіацією. Це є розширенням можливостей концепції та її вдосконаленням, яке досягається за рахунок встановлення найбільш ймовірних станів МК в містах відповідно до кривої розселення населення.

Для застосування представленої методики визначення потреб міського населення у послугах ГТ було обрано м. Харків. Вихідними даними, потрібними для розрахунків, були:

- місткості ТР по відправленню і прибуттю пасажирів ГТ;
- матриця найкоротших відстаней між ТР;
- ФР населення.

Місткості ТР м. Харкова по відправленню і прибуттю пасажирів були отримані з роботи [61]. Матриця найкоротших відстаней між ТР була розрахована у програмі VISUM.

Для отримання ФР населення м. Харкова було проведене вибіркоче обстеження відстаней пересувань харків'ян, в результаті якого був отриманий масив з 2435 відстаней. Перевірка відповідності між емпіричним розподілом цих відстаней та теоретичним гамма-розподілом була здійснена з використанням критеріїв χ^2 та Колмогорова-Смирнова. Гіпотеза про відповідність між зазначеними розподілами перевірялась на рівні значущості 5 % і дала ствердний результат, про що свідчать крива щільності та гістограма розподілу, наведені на рис. 26, а також дані табл. 10.

Виходячи із встановлених на рис. 26 меж інтервалів групування відстаней пересувань та параметрів гамма-розподілу, придатного для опису закономірностей розселення населення, за формулами (49) і (50) були розраховані ймовірності потрапляння відстаней пересувань в кожен інтервал та їх кількість, які наведені в табл. 11.

Ці дані послужили вихідною інформацією для формування системи (51). Застосування розробленого в середовищі Microsoft Excel алгоритму дозволило сформувати 50 МК, що задовольняють обмеженням (51). Підтвердженням можливості використання цих матриць на практиці можна вважати відтворення ними фактичної кривої роз-

селення, тобто повну відповідність виявленим закономірностям розселення населення м. Харкова.

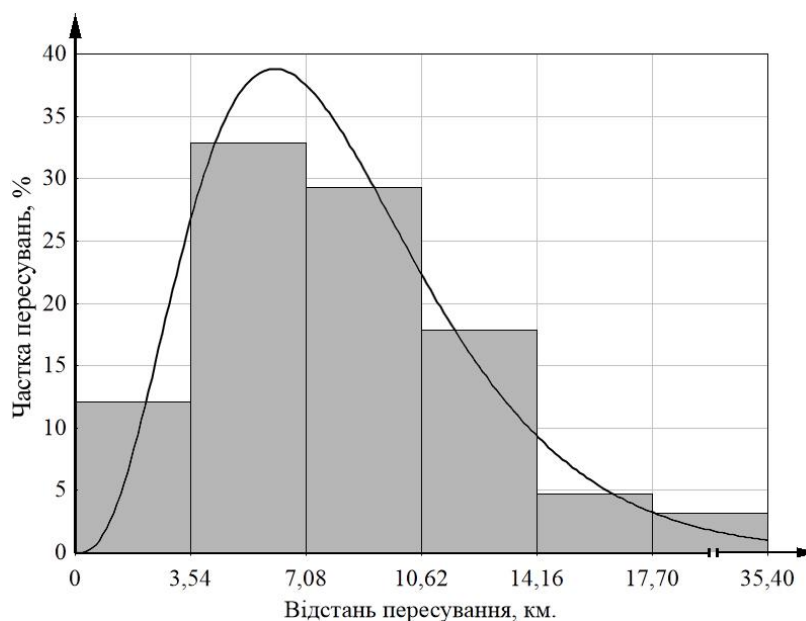


Рисунок 26. Крива розселення населення м. Харкова

Таблиця 10

Параметри гама-розподілу, придатного для опису закономірностей розселення охоплених дослідженням харків'ян

Параметр розподілу	Значення
Параметр масштабу	2,05
Параметр форми	3,98
Математичне сподівання, км	8,294
Дисперсія, км ²	16,458
Значення критерію Колмогорова-Смирнова	0,030
Значення критерію χ^2	6,988
Рівень значущості критерію χ^2	0,121

Таблиця 11

Відсоткове співвідношення між кількістю пересувань на різні відстані у м. Харків

Інтервал групування відстаней	Межі інтервалу, км		Ймовірність здійснення пересування	Кількість пересувань
	нижня	верхня		
1	0	3,54	0,0993	43411
2	3,54	7,08	0,3583	156635
3	7,08	10,62	0,3049	133321
4	10,62	14,16	0,1523	66576
5	14,16	17,7	0,0584	25525
6	17,7	35,4	0,0268	11747
РАЗОМ			1	437215

Для додаткової оцінки результатів моделювання потреб у пересуваннях ГТ у місті було визначено розмах варіації розрахункових пасажиропотоків на контрольних ділянках ВДМ та виконано їх зіставлення з фактичними. Дані про контрольні ділянки та фактичні пасажиропотоки на них були взяті з роботи [61]. Розрахункові потоки були отримані за допомогою процедури перерозподілу, виконаної у програмі VISUM в моделі ГТ м. Харкова станом на час виконання зазначеної роботи.

Отримані результати вказали на значний розмах варіації розрахованих пасажиропотоків практично на всіх розглянутих ділянках ВДМ м. Харкова. При цьому для всіх ділянок інтервал між мінімальним та максимальним розрахунковими потоками виявився таким, що включає значення відповідних фактичних пасажиропотоків. Це говорить про можливість отримання таких МК, для котрих відхилення між розрахунковими та фактичними пасажиропотоками буде мінімальним. Підтвердженням такої можливості послужила наявність серед отриманих матриць такої, для котрої середня відносна похибка розрахунку пасажиропотоків склала 13,5 %, про що свідчать дані табл. 12.

Таблиця 12

Оцінка відповідності розрахункових пасажиропотоків фактичним на прикладі однієї зі сформованих матриць кореспонденцій для м. Харкова

Напрямок руху за ділянкою ВДМ		Пасажиропотік, пас.		Відносна похибка розрахунку, %
з вузла (перехрестя)	до вузла (перехрестя)	фактичний	розрахунковий	
6052	6285	7538	7627	1,2
6285	6052	2860	3372	17,9
6127	6049	5801	6907	19,1
6049	6127	1306	1112	14,9
6020	6224	3161	3500	10,7
6020	6223	2737	2210	19,3
6020	6136	1162	1007	13,3
6297	6109	2014	2415	19,9
6109	6297	4810	5234	8,8
6282	6013	306	354	15,7
6013	6282	3269	2744	16,1
6009	6007	5855	6548	11,8
6009	6276	6345	5783	8,9
6273	6009	58466	47328	19,1

Напрямок руху за ділянкою ВДМ		Пасажиropoтiк, пас.		Вiдносна похибка розрахунку, %
з вузла (перехрестя)	до вузла (перехрестя)	фактичний	розрахунковий	
6009	6273	30027	25865	13,9
3034	6072	4365	4922	12,8
3034	6188	2760	3149	14,1
6208	4093	13248	10784	18,6
6242	4113	5730	5117	10,7
4113	6242	6669	5355	19,7
6183	3086	9952	9321	6,3
3086	6183	2567	2102	18,1
3067	6289	18357	20435	11,3
6289	3067	5773	4715	18,3
3113	3115	4443	5211	17,3
3115	3113	6010	4896	18,5
3011	6196	8363	9866	18
6196	3011	2212	2421	9,4
6185	3012	4443	3667	17,5
3012	6185	1616	1888	16,8
3142	3135	1962	2303	17,4
3135	3142	1496	1759	17,6
2030	3124	5354	5463	2
3124	2030	3431	3941	14,9
1043	6171	1020	1102	8
6171	1043	1344	1416	5,4
4099	4100	2222	1964	11,6
4100	4099	3960	4101	3,6
1093	4063	53743	46049	14,3
4063	1093	77307	89649	16
1018	4014	3571	3969	11,1
4014	1018	5529	5998	8,5
4010	5081	1858	2137	15
4020	4033	4519	4150	8,2
4033	4020	4201	4038	3,9
5075	5077	3040	2668	12,2
5077	5075	3550	3606	1,6
6269	5048	1313	1550	18,1
5048	6269	2851	3123	9,5
5049	5038	561	663	18,2
5038	5049	4511	5182	14,9
5036	6312	24907	27903	12
6312	5036	39529	31648	19,9

Напрямок руху за ділянкою ВДМ		Пасажиropотік, пас.		Відносна похибка розрахунку, %
з вузла (перехрестя)	до вузла (перехрестя)	фактичний	розрахунковий	
5020	5023	6132	6848	11,7
5020	6232	4284	4959	15,8
5020	5021	824	984	19,4
2012	2014	7433	8859	19,2
2001	2002	47179	39243	16,8
2002	2001	14662	12764	12,9
6153	2020	5341	4577	14,3
2020	6153	4257	3710	12,8
2049	2007	9541	7838	17,8
2007	2049	4491	4130	8

Примітка. У графах «з вузла (перехрестя)», «до вузла (перехрестя)» вказані номери, які присвоєні вузлам (перехрестям) у моделі ТМ ГТ у програмі VISUM.

Більші значення середніх відносних похибок розрахунку пасажиропотоків для інших матриць можуть бути наслідком обмежених можливостей наявних у VISUM моделей розподілу кореспонденцій між видами транспорту і маршрутами прямування, що не є недоліком розробленої методики і відноситься до наступного (четвертого і останнього) етапу моделювання транспортних потреб (*transit assignment*).

Для оцінки роботи ММ ГТ м. Харкова та якості транспортного обслуговування населення були обрані наступні показники [62-65]:

– середня відстань пересування одного пасажира в ТЗ ГТ

$$\bar{l}_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m h_{ij} \cdot l_{\Pi ij}}{H}, \quad (52)$$

де $l_{\Pi ij}$ – відстань пересування в транспортному засобі ГТ між ТР i та j ;

– середній час пересування одного пасажира в ТЗ ГТ

$$\bar{t}_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m h_{ij} \cdot t_{\Pi ij}}{H}, \quad (53)$$

де $t_{\Pi ij}$ – час пересування в транспортному засобі ГТ між ТР i та j ;

– середній коефіцієнт пересадочності при пересуваннях на ГТ

$$\bar{\delta}_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m h_{ij} \cdot \delta_{\Pi ij}}{H}, \quad (54)$$

де $\delta_{\Pi ij}$ – коефіцієнт пересадочності при пересуванні на ГТ між ТР i та j .

Користуючись даними показниками, можна дати оцінку ефективності функціонування як діючих ММ міст, так і заходів щодо їх зміни чи корегування [62-65]. З цією метою потрібно розрахувати вищевказані три показники для кожного стану МК та побудувати відповідний інтервал їх можливих значень, даючи таким чином інтервальну оцінку параметрам пересувань пасажирів.

З метою виконання відповідних розрахунків МК, отримані згідно із запропонованою методикою, були імпортовані в транспортну модель ГТ м. Харкова в програмі VISUM, яка дозволила здійснити необхідні процедури перерозподілу та розрахунку відповідних матриць витрат на пересування [66]. На основі цих матриць були визначені показники (52)-(54), що дозволило встановити інтервал їх найбільш ймовірних значень, табл. 13.

Таблиця 13

Результати інтервальної оцінки показників роботи громадського транспорту м. Харкова

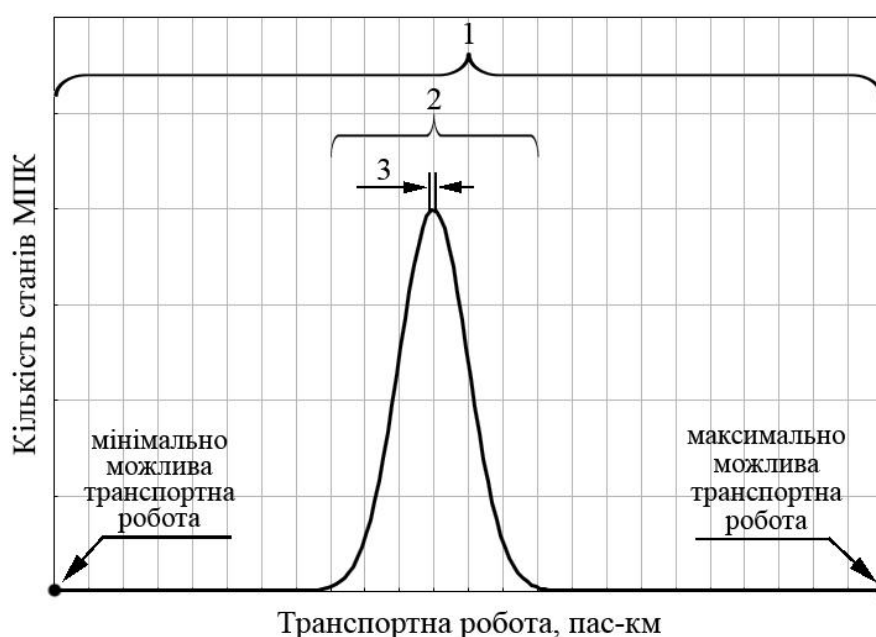
Показник	Інтервал найбільш ймовірних значень
Середня відстань пересування одного пасажира в транспортному засобі ГТ \bar{l}_{Π} , км	[8,744;8,777]
Середній час пересування одного пасажира в транспортному засобі ГТ \bar{t}_{Π} , хв	[20,46;20,55]
Середній коефіцієнт пересадочності при пересуваннях на громадському транспорті $\bar{\delta}_{\Pi}$	[1,452;1,465]

Для оцінювання меж можливих станів потреб у перевезеннях були використані показники транспортної роботи по реалізації МК та середньої відстані пересування пасажира. Ці ж показники були застосовані з аналогічною метою у роботі [61], де було встановлено, що значення транспортної роботи по реалізації МК м. Харкова знаходились в інтервалі [3586867,5;3993076,5] пас-км, а середньої відстані пересування – в інтервалі [8,22;9,12] км. Також у цій же роботі

було встановлено, що значення транспортної роботи по реалізації матриць є такими, що можуть бути описані нормальним розподілом.

Розрахунок зазначених показників з використанням МК, сформованих за вищепредставленою методикою, дозволив встановити інтервал значень транспортної роботи [3823170;3837292] пас-км та середньої відстані пересування [8,744;8,777] км. З огляду на значення цих показників можна стверджувати, що ширина діапазону можливої зміни транспортної роботи зменшилася на 96,5 %, або у 28,8 рази, а середньої відстані пересування – на 96,3 %, або у 27,3 рази. При цьому коефіцієнти варіації транспортної роботи по реалізації матриць та середньої відстані пересування склали 0,1 % обидва.

Поясненням значного звуження інтервалу можливих станів МК, який визначається різницею у транспортній роботі по реалізації матриць, є те, що крива розселення населення досить чітко задає кількість кореспонденцій, що реалізуються на певну відстань. Звуження меж можливих станів МПК можна інтерпретувати графічно, рис. 27.



Умовні позначення:

- 1 – повний інтервал можливих станів МПК;
- 2 – інтервал можливих станів МПК згідно з результатами роботи [61];
- 3 – інтервал можливих станів МПК згідно з розробленою методикою

Рис. 27. Графічне відображення звуження діапазону зміни достовірних станів МК на прикладі пересувань громадським транспортом у м. Харкові

Результатом подальшого аналізу станів МК, отриманих за допомогою розробленої методики, стала побудова графіку зміни показни-

ка \bar{l}_D в залежності від значень транспортної роботи з реалізації матриць, рис. 28.

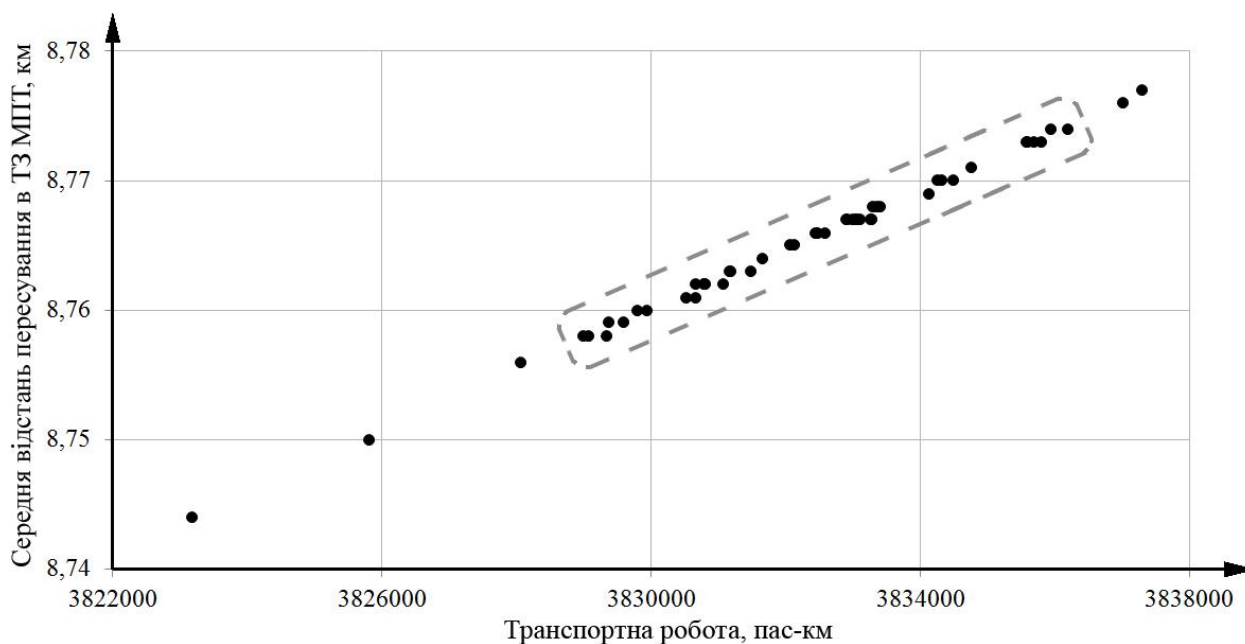


Рис. 28. Залежність середньої відстані пересування пасажирів від транспортної роботи з реалізації МК для м. Харкова

Побудований графік дав можливість встановити, що більшість згенерованих МК належать діапазону значень транспортної роботи [3828996 ; 3836185] пас-км, який обведений на рис. 28 пунктиром. Відповідно, МК, що потрапляють в позначений діапазон, можна вважати найбільш ймовірними.

За отриманими результатами можна стверджувати, що розроблена методика визначення потреб міського населення на пересування громадським транспортом цілком придатна для застосування на практиці. Вона дозволяє визначити найбільш ймовірні стани транспортного попиту у місті та значно зменшити діапазон і кількість можливих варіантів МК. Це є вагомим кроком уперед у застосуванні інтервальної концепції моделювання попиту населення на пересування ГТ.

Оскільки отримання ФР є досить кропітким заняттям, з метою найбільш ефективно організації роботи по збору необхідної інформації та побудови на її основі моделі транспортного попиту з використанням запропонованої методики доцільно дотримуватись наступних рекомендацій:

– якщо замовником робіт з розробки транспортної моделі ГТ міста є органи місцевого самоврядування, доцільною буде домовле-

ність за їх посередництвом з провідними підприємствами, установами та організаціями міста про завчасний початок робіт зі збору безособової інформації про дальності пересувань працівників. Допомогти в цьому може своєчасна підготовка матеріалів, з яких може бути отримана така інформація. Це дозволить підвищити ймовірність отримання необхідного обсягу даних та зменшити або виключити негативне ставлення керівництва даних об'єктів до запитів про такого роду інформацію;

– у випадку відсутності попередньої домовленості з найбільшими підприємствами та установами міста доцільним буде завчасно зробити письмові запити до зазначених установ про фактичні місця проживання працівників без зазначення будь-яких даних, що ідентифікують особу [67];

– доцільним також є проведення обстеження пасажиропотоків на ключових ділянках ММ міста – на в'їздах до центральної частини міста, до промислових зон та до інших сформованих в процесі розвитку міста крупних центрів утворення та поглинання пасажиропотоків. Це дозволить уточнити і за потреби скорегувати МК, отримані із застосуванням розробленої методики;

– проведення обстежень пасажиропотоків з метою отримання інформації для розрахунку або корегування МК доцільно проводити в теплу пору року, коли умови здійснення пересувань більш сприятливі з огляду на температуру навколишнього середовища та на одяг людей, від чого може залежати наповнюваність салонів рухомого складу ГТ. Слід зазначити, що влітку такі обстеження проводити не доцільно через відтік населення з міста під час відпусток;

– джерелом інформації про напрямки пересувань населення та, відповідно, орієнтовні пасажиропотоки, може бути звітність перевізників про обсяг перевезень пасажирів на маршрутах загального користування;

– додатковим, але доволі трудомістким засобом отримання потрібної інформації може бути проведення анкетування чи опитування населення міста різними методами – поштою, телефоном, в мережі Інтернет, особисто;

– при побудові моделі ММ ГТ міста потрібно якомога точніше вносити в неї параметри всіх об'єктів мережевої інфраструктури – розташування ЗП, довжини перегонів та вид руху на них (односторонній чи двосторонній), траси маршрутів, інтервали руху на маршрутах, режим та розклад їх роботи, тощо. Це дозволить отримати то-

чні значення показників, що можуть знадобитися для визначення закономірностей розселення та розрахунку МК;

– після застосування розробленої методики серед сформованих МК можливо обрати таку, що забезпечує мінімальні відхилення між розрахунковими та фактичними пасажиропотоками, та використовувати її для розробки конкретних рішень щодо планування розвитку ТС міста.

Наведені рекомендації є загальними і в певному ступені рамковими та призвані зорієнтувати фахівця з транспортного планування та (або) моделювання на етапі визначення строків і порядку виконання робіт, необхідних для побудови моделі міської системи ГТ. В кожному конкретному випадку перелік робіт може бути скорегований в залежності від наявних даних про потреби населення у пересуваннях ГТ.

Отримані вище результати можна використати як передумови для визначення ФР користувачів ІТ. Висока маневреність останнього, його повсюдне використання у містах, а також розгалуженість міської ВДМ відчутно розширюють кількість можливих місць генерації і поглинання відповідного транспортного попиту. Дослідження розташування даних місць можна почати, взявши за основу вищеописані результати стосовно ГТ, де була доведена асимптотична двомірна нормальність розсіювання координат ЗП ГТ із центром розсіювання у історичному (або діловому) центрі міста. Таку ж гіпотезу ж можна вважати цілком робочою у пошуках можливості опису координат точок генерації і поглинання транспортних потоків (ТП). Обґрунтуванням цьому є наступне:

а) місця початку і завершення пересувань на ІТ будуть покривати більшу аніж ЗП ГТ частину міської території, і покриватимуть її відчутно щільніше. Дане твердження підкріплюється доволі широкими можливостями паркування в українських містах згідно з Правилами дорожнього руху [68];

б) місця тяжіння, які є місцями виконання активностей міського населення, у сучасних українських містах часто сконцентровані у центральних ділових та історичних районах, що з урахуванням твердження із попереднього пункту даного переліку сприяє більшій, ніж у випадку ГТ, концентрації місць тяжіння у міському центрі та, відповідно, наближенню двомірного розподілу координат зазначених місць до нормального;

в) випадковий характер виникнення попиту на пересування ІТ під впливом множини факторів відповідає умовам використання нормального закону розподілу, що з великою ймовірністю стосується і координат місць виникнення і завершення потоків ІТ на території міста.

Розташування точок генерації і поглинання ТП, очевидно, впливає на розподіл відстаней пересувань індивідуальним транспортом. Як було встановлено вище, нормальне розсіювання ЗП ГТ є причиною виникнення закономірностей у відстанях пересувань на ГТ, для опису яких що можна застосувати гамма-розподіл. Спираючись на це, можна припустити, що мода розподілу відстаней пересувань на ІТ буде дещо зміщеною вліво відносно ситуації на ГТ з наступних причин:

– збільшення кількості можливих місць відправлень і прибуттів у міському центрі і, відповідно, збільшення кількості можливих маршрутів пересування на ІТ;

– більш щільну ВДМ у центральній частині міста порівняно із міськими околицями, котра сприяє скороченню відстаней пересувань за рахунок збільшення;

– більша прямолінійність відстані пересування.

Таким чином, двомірне нормальне розсіювання точок відправлень і прибуттів користувачів ІТ можна розглядати як відправну умову при визначенні ФР для випадку ІТ. Відштовхуючись від цієї умови, теоретичне дослідження ФР ІТ можна почати, представивши міську територію у формі кола із розсіяними по ньому точками – місцями відправлень і прибуттів, рис. 29.

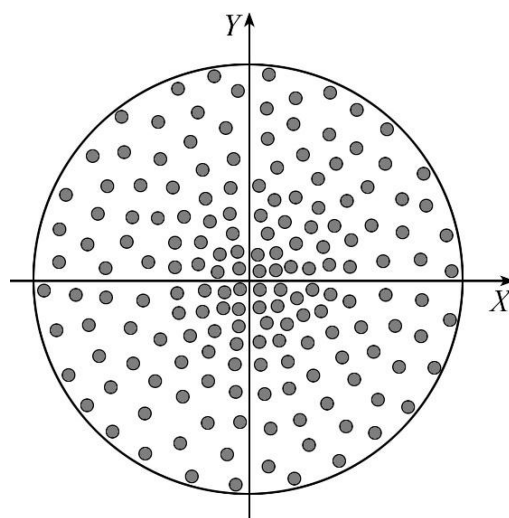


Рис. 29. Представлення міської території у формі кола з точками відправлення і прибуття індивідуальним транспортом

При такому представленні математичне сподівання координат цих точок $(X; Y)$ буде нульовим, тобто $M(X) = M(Y) = 0$. При круговому нормальному розподілі дисперсії координат будуть однаковими, і їх можна позначити як $D(X) = D(Y) = \sigma^2$. У підсумку нормальний закон розподілу кожної з координат матиме параметри $(0; \sigma^2)$.

Для знаходження відстаней пересувань на ІТ у такій системі координат спочатку доцільно знайти математичне сподівання величини $(X^2 + Y^2)$. Воно дорівнюватиме

$$M(X^2 + Y^2) = M(X^2) + M(Y^2) = \sigma^2 + \sigma^2 = 2\sigma^2. \quad (55)$$

Після цього координати точок відправлень і прибуттів можна позначити як $(X_i; Y_i)$ і $(X_j; Y_j)$ відповідно, а відстань між ними – як l_{ij} , котра графічно представлятиметься, як показано на рис. 30.

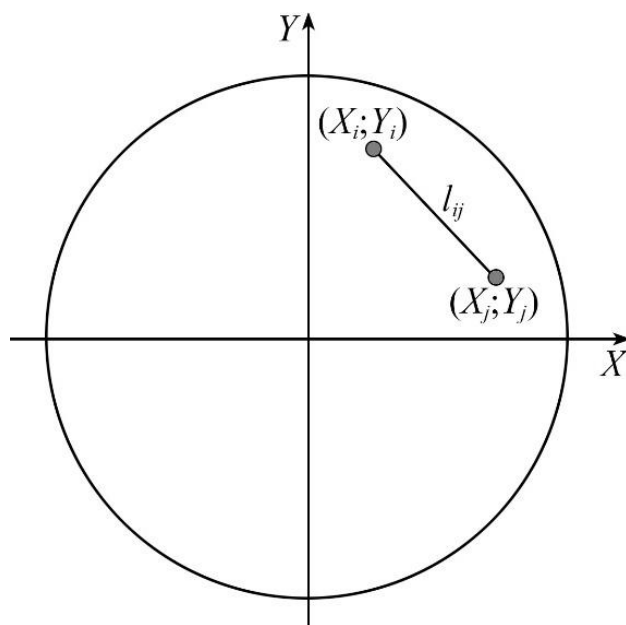


Рис. 30. Ілюстрація відстані між точками відправлення і прибуття індивідуальним транспортом

При такому представленні відстані пересування треба враховувати, що якщо випадкові величини X_i, Y_i, X_j, Y_j є незалежними і однаково розподіленими за нормальним законом з параметрами $(0; \sigma^2)$, тоді їх різниці $(X_j - X_i)$ і $(Y_j - Y_i)$ також будуть незалежними та матимуть нормальний розподіл з параметрами $(0; 2\sigma^2)$. Тоді математичне сподівання величини $T = [(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2]$ дорівнюватиме стандартному відхиленню і складатиме

$$\begin{aligned} M[(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2] &= M[(X_j - X_i)^2] + M[(Y_j - Y_i)^2] = \\ &= 2\sigma^2 + 2\sigma^2 = 4\sigma^2. \end{aligned} \quad (56)$$

Також величина T матиме розподіл Релея з параметром масштабу 2σ :

$$P\{[(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2] \leq t\} = 1 - \exp\left(-\frac{\left(\frac{t}{2\sigma}\right)^2}{2}\right). \quad (57)$$

Згідно з теоремою Піфагора $T = [(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2]$ являє собою квадратом відстані між точками $(X_i; Y_i)$ і $(X_j; Y_j)$, тобто $T = (X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 = l_{ij}^2$. Для знаходження же характеристик розподілу відстані l_{ij} треба знайти розподіл величини $L = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}$.

Оскільки відстань l_{ij} є невід'ємною випадковою величиною ($l_{ij} \geq 0$), то для неї справедливою буде рівність

$$\begin{aligned} P\{L \leq l_{ij}\} &= P\{[(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2] \leq l_{ij}^2\} = \\ &= P\left\{\sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \leq l_{ij}\right\}. \end{aligned} \quad (58)$$

Виходячи з цього, функція розподілу величини l_{ij} запишеться як

$$F_L(l_{ij}) = 1 - \exp\left(-\frac{\left(\frac{\sqrt{l_{ij}}}{2\sigma}\right)^2}{2}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{l_{ij}}{8\sigma^2}\right), \quad (59)$$

а щільність розподілу матиме вигляд

$$f(l_{ij}) = F'_L(l_{ij}) = \frac{1}{8\sigma^2} \exp\left(-\frac{l_{ij}}{8\sigma^2}\right). \quad (60)$$

При різних значеннях параметру 2σ графік функції (60) буде являти собою криву, форма якої буде нагадувати щось проміжне між кривими розподілу Релея та показникового, але з невеликою від'ємною асиметрією, рис. 31.

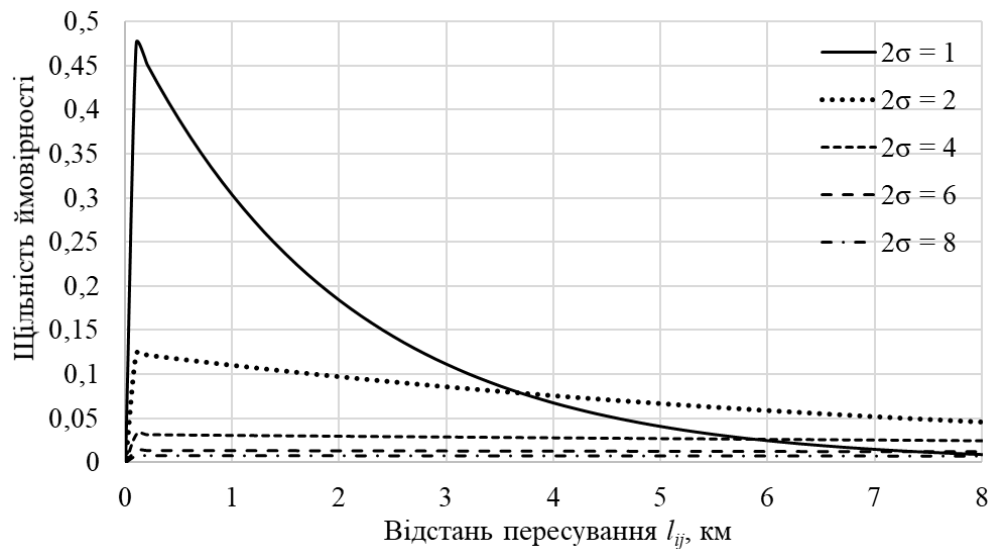


Рис. 31. Щільність розподілу відстаней між точками відправлення і прибуття на міській території, коли вони розташовані поза міським центром

З огляду на неоднозначність перевірки можливості використання двомірного нормального розподілу для опису випадкових величин (у розглянутому випадку координат точок відправлення і прибуття користувачів ІТ), як основний спосіб підтвердження наведених теоретичних передумов варто обрати експериментальне дослідження можливості застосування щільності (60) для опису розподілу відстаней пересувань на ІТ. Оскільки у галузі транспорту ФР досліджується шляхом вивчення розподілу відстаней пересувань населення, зазначене експериментальне дослідження дозволить не тільки протестувати висунуті гіпотези, а й отримати ФР користувачів ІТ.

Для додаткового тестування висунутих стосовно пересувань на ІТ гіпотез можна використати критерії перевірки згоди між багатомірним емпіричним і теоретичним розподілами. Їх обчислення не варто застосовувати як основний інструмент перевірки гіпотез через те, що зазначені критерії є доволі жорсткими і не завжди чутливими до відхилень від теоретичного розподілу.

Сформульовані передумови, як і у розглянутому випадку ГТ, найкраще перевірити на прикладі крупного або найкрупнішого міста за класифікацією ДБН Б.2.2-12:2019 [52], котре матиме велику площу і населення. Це забезпечуватиме розглянутим пересуванням масовий характер і дозволить зробити потрібну перевірку більш інформативною, адже вона буде зроблена на більшій кількості пересувань і надасть більш робастні результати. Відповідно, дані результати можна буде розповсюдити на більшу кількість об'єктів аналогічних досліджень.

Для виконання такої перевірки потрібно розробити моделі ІТ для вищезазначених міст у програмі VISUM, і це є предметом подальших досліджень.

Список літератури до підрозділу 2.1

1. Ortuzar J. D., Willumsen L. G. *Modelling Transport* : 4th ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011. 586 p.
2. Benson J. D., Teniente M. F., Stover V. G., Cunagin W. D. *An Improved Model for the Estimation of Trip Length Frequency Distribution* : Report No. 0194-5. Texas: Texas Transportation Institute, Texas A&M University, 1979. 50 p.
3. Bovy P. H. L., Bliemer M. C. J., van Nes R. *Transportation Modeling* : Course CT4801. Delft: Delft University of Technology, 2006. 182 p.
4. Zhao F., Lee-Fang C., Min-Tang L., Albert G. *Refinement of FSUTMS Trip Distribution Methodology* : Final Report for BB942. Miami: Lehman Center for Transportation Research, Florida International University, 2004. 165 p.
5. Mounir M. Calibrating a trip distribution gravity model stratified by the trip purposes for the city of Alexandria. *Alexandria Engineering Journal*. 2014. Vol. 53. P. 677–689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2014.04.006>.
6. Huntsinger L.F., Donnelly R. Reconciliation of Regional Travel Model and Passive Device Tracking Data. *TRB 93rd Annual Meeting Compendium of Papers*. 2014. Vol. 01516079. Paper 14-1058.
7. Lincoln MPO Travel Demand Model :Model Documentation / L & A Transportation. Princeton, NJ: Lima & Associates Transportation – G.I.S., 2006. 50 p.
8. Kim J., Lee S. A gradient method for the estimation of travel demand using traffic counts on the large scale network. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2001. Vol. 4(2). P. 351–357.
9. Cibulka J. Hodnocení dopravních systémů a prostředků pro přepravu osob v městských aglomeracích z hlediska kvality přepravy. Praha: NADAS, 1981. 73 s.
10. Aultman-Hall L., Sears J., Dowds J., Hines P. *Spatial Analysis of Travel Demand and Accessibility in Vermont: Where will EVs work?* / [TRC Report 12-007]. Burlington, VT: University of Vermont, Transportation Research Center, 2012. 35 p.
11. Englund D., Eash R., Lupa M. *Matching Workers and Employment Opportunities: Linking Worker Incomes and Wages in Regional Travel*

Models. Transport Chicago : Conference Papers, 4 June 2010, Chicago, IL. Chicago: .URL: https://www.transportchicago.org/uploads/5/7/2/0/5720074/matching_workers_and_employment_opportunities.pdf (last accessed: 07.02.2025).

12. Katsis P., Papageorgiou T., Ntziachristos L. Modelling the trip length distribution impact on the CO₂ emissions of electrified vehicles. *Energy and Power*. 2014. Vol. 4(1A). P. 57–64. DOI: <http://dx.doi.org/10.5923/s.ep.201401.05>.

13. Veenstra S. A., Thomas T., Tutert S. I. A. Trip distribution for limited destinations: a case study for grocery shopping trips in the Netherlands. *Transportation*. 2010. Vol. 37. P. 663–676. DOI: 10.1007/s11116-010-9274-0. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-010-9274-0>.

14. Chacaga E., Rudnicki A., Sroka R. Pilotażowe badania zachowań komunikacyjnych użytkowników obiektów biurowych. *Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK*. 2010. Nr. 94 (zeszyt 153). P. 45–63.

15. Горбачов П. Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01. Харків, 2009. 370 с.

16. Fan Y., Jin P. J., Wan X., Li R., Ran B. (2013, January). Dynamic Origin-Destination Travel Demand Estimation using Location Based Social Networking Data. *TRB 93rd Annual Meeting Compendium of Papers*. 2014. Vol. 01519220. Paper 14-5509.

17. Fricker J.D., Li J. Development of an Integrated Land-Use Transportation Model for Indiana :Final Report FHWA/IN/JTRP-2008/15. West Lafayette, IN: Purdue University, School of Civil Engineering, 2008. 120 p. DOI: <https://doi.org/10.5703/1288284314321>.

18. Junge J. R., Levinson D. Prospects for transportation utility fees. *Journal of Transport and Land Use*. 2012. Vol. 5(1). P. 33–47. <https://doi.org/10.5198/jtlu.v5i1.141>.

19. Gehrke S. R., Clifton K. J. Toward a spatial-temporal measure of land-use mix. *Journal of Transport and Land Use*. 2015. Vol. 9(1). P. 171–186. DOI: <https://doi.org/10.5198/jtlu.2015.725>.

20. Milakis D., Cervero R., Wee L.B. Stay local or go regional? Urban form effects on vehicle use at different spatial scales: A theoretical concept and its application to the San Francisco Bay Area. *Journal of Transport and Land Use*. 2015. Vol. 8(2). P. 59–86. DOI: <https://doi.org/10.5198/jtlu.2015.557>.

21. Stead D., Marshall S. The relationships between urban form and travel patterns. An international review and evaluation. *European Journal of*

Transport and Infrastructure Research. 2001. Vol. 1(2). P. 113–141. DOI: <https://doi.org/10.18757/ejtir.2001.1.2.3497>.

22. Wegener M., Fuerst F. Land-Use Transport Interaction: State of the Art. Dortmund: Universität Dortmund, Institut für Raumplanung Fakultät Raumplanung, 1999. 119 p. DOI: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1434678>.

23. Yigitcanlar T., Dodson J., Gleeson B., Sipe N. Sustainable Australia: Containing Travel in Master Planned Estates. Brisbane, Australia: Griffith University, URP, 2005. 24 p.

24. Porter C.D., Brown A., Dunphy R.T., Vimmerstedt L. Effects of the Built Environment on Transportation: Energy Use, Greenhouse Gas Emissions, and Other Factors : Research Report. Golden, Cambridge: National Renewable Energy Laboratory, Cambridge Systematics, 2013. 106 p.

25. Xie F., Levinson D.M. Evolving transportation networks. New York: Springer, 2011. 278 p.

26. Rodrigue J.-P. The Geography of Transport Systems / 5th ed. New York: Routledge, 2020. 456 p.

27. Чорноус О.І. Забезпечення стійкого функціонування автотранспортної системи регіону : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.05. Донецьк, 2009. 20 с.

28. Шевчук Я.В. Автотранспортна інфраструктура: теорія і методи сучасних регіональних досліджень. Ужгород: Ліга-Прес, 2011. 376 с.

29. Florian M. Gaudry M., Lardinois C. A. A two-dimensional framework for the understanding of transportation planning models. *Transportation Research Board*. 1988. vol. 22B. P. 411–419.

30. Manheim M.L. Fundamentals of Transportation Systems Analysis : vol. 1 Basic Concepts. Cambridge, MA: MIT Press, 1979. 658 p.

31. Hoogendoorn S.P. Traffic Flow Theory and Simulation : Course book vk4821. Delft: Delft University of Technology, 2023. 288 p. URL: <https://ocw.tudelft.nl/courses/traffic-flow-theory-simulation/?view=readings>.

32. Горбачов П.Ф. Нова концепція моделювання потреб населення у трудових пересуваннях міським пасажирським транспортом. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. 2009. № 27. С. 210–214.

33. Горбачов П.Ф. Оцінка впливу транспортних факторів на результати вибору людиною робочого місця. *Вісник ХНАДУ*. 2008. № 43. С. 86–91.

34. Haynes K.E., Fotheringham A.S. Gravity and Spatial Interaction models / Thrall G.I. Ed. Morgantown: Regional Research Institute, West Virginia University, 2020. 71 p. (Reprint Sage Publications: 1985) URL: <https://researchrepository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=rri-web-book>.
35. Parikesit D. Integrating Urban Transport System and Land Use: A dream or reality? *Envirotech* :2003 Regional Workshop Proceeding. Jakarta: Mitra Emisi Bersih, 2003. 12 p.
36. Shahriar A.Z., Morteza A. An Integrated Urban Land Use and Transportation Demand Model Based on Lowry Linage. *Journal of Applied Sciences*. 2008. Vol. 8(7). P. 1197–1205.
37. Vries J.J., Nijkamp P., Rietveld P. Alonso's General Theory of Movement: Advances in Spatial Interaction Modeling. *Tinbergen Institute Discussion Paper*. 2000. TI 2000-062/3.
38. Wardrop J.G. Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*. 1952. Vol. 1, Part 2, P. 325–378.
39. Knight F.H. Some Fallacies in the Interpretation of Social Cost. *The Quarterly Journal of Economics*. 1924. Vol. 38(4). P. 582–606.
40. Berechman J., Small K.A. Modeling Land Use and Transportation: an Interpretive Review for Growth Areas. *Environment and planning A*. 1988. Vol. 20. P. 1285–1309.
41. Iacono M., Levinson D., El-Geneidy A. Models of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory. *A Journal of Planning Literature Online First*. 2008. Vol. 22(4). P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1177/0885412207314010>.
42. Wilson A. G. Entropy in Urban and Regional Modelling. London: Pion, 1970. 166 p.
43. Пашкевич С. М. Дослідження впливу розташування міжміської автостанції на розподіл міських пасажиропотоків : дис. ... д-ра філософії : спец. 275 Транспортні технології (за видами), 27 Транспорт / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків, 2024. 224 с.
44. Horner M. W., Downs J. A. Integrating people and place: A density-based measure for assessing accessibility to opportunities. *Journal of Transportation and Land Use*. 2014. Vol. 5(2). P. 23-40. DOI: <https://doi.org/10.5198/jtlu.v7i2.417>.
45. Saff E.B., Snider A.D. Fundamentals of Complex Analysis for Mathematics, Science and Engineering. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1976. 444 p.

46. Chow Y.S., Teiher H. Probability Theory :Independence, Interchangeability, Martingales / [3rd ed.]. New York: Springer, 1997. 489 p.
47. Feller W. An Introduction to Probability Theory and its Applications :Vol. II, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1971.669 p.
48. Riordan J. Stochastic Service Systems. New York: John Wiley, 1962. 139 p.
49. Cox D.R., Smith W.L. Queues. New York: CRC Press, 1991. 192 p.
50. Saaty T.L. Elements of Queueing Theory: With Applications. New York: McGraw-Hill, 1961. 423 p.
51. Forbes C., Evans M., Hastings N., Peacock B. Statistical Distributions : 4th Edition. Hoboken: Wiley, 2011. 212 p.
52. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [введ. 2019-01-10]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2019. 185 с.
53. Чисельність наявного населення України на 1 січня 2022: статистичний збірник / за ред. М. Тімоніної. Київ: Державна служба статистики України, 2022. 84 с.
54. Handbook of transport modelling / In D.A. Hensher & K.J. Button (Ed.). Amsterdam: Pergamon, 2000. 690 p.
55. Kulpa T., Szarata A. Analysis of Household Survey Sample Size in Trip Modelling Process. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 1753–1761. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.141>.
56. Richardson A., Ampt E.S., Meyburg A.H. Survey Methods for Transport Planning. Parkville: Eucalyptus Press, 1995. 475 p.
57. Berggren U., Johnsson C., Svenssona H., Wretstrand A. Exploring waiting times in public transport through a semi-automated dedicated smartphone app survey. *Travel Behaviour and Society*. 2019. Vol. 15. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2018.11.002>.
58. Stopher P.R., Kockelman K., Greaves S.P., Clifford E. Reducing Burden and Sample Sizes in Multi-day Household Travel Surveys. *Transportation Research Record*. 2008. Vol. 2064. P. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.3141/2064-03>.
59. Australian Transport Assessment and Planning Guidelines :U User Guide / Australian Transport Assessment and Planning (ATAP). URL: <https://www.atap.gov.au/user-guide/index> (last accessed 25.02.2025).
60. Bolbol A., Cheng T., Tsapakis I., Chow A. Sample Size Calculation for Studying Transportation Modes from GPS Data. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*.2012. Vol. 48, P. 3040–3050. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1271>.

61. Россолов О.В. Удосконалення інтервальної концепції визначення попиту на послуги пасажирського маршрутного транспорту в великих містах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2012. 23 с.
62. Розробка схеми руху громадського транспорту в місті Суми: Звіт про НДР (заключний) / Харківський національний автомобільно-дорожній університет; № держ. реєстрації 0108U006961. Харків: ХНАДУ, 2008. 51 с.
63. Розробка заходів щодо коригування схеми руху міського маршрутного пасажирського транспорту міста Суми: Звіт про НДР (заключний) / Харківський національний автомобільно-дорожній університет; № держ. реєстрації 0112U004747. Харків: ХНАДУ, 2012. 82 с.
64. Розробка раціонального варіанту маршрутної мережі міста Кіровоград: Звіт про НДР (заключний) / Харківський національний автомобільно-дорожній університет; № держ. реєстрації 0112U00692. Харків: ХНАДУ, 2012. 115 с.
65. Розробка раціонального варіанту маршрутної мережі м. Олександрія : Звіт про НДР (заключний) / Харківський національний автомобільно-дорожній університет; № держ. реєстрації 0113U005179. Харків: ХНАДУ, 2013. 130 с.
66. PTV Visum 2023 Manual. Karlsruhe: PTV Planung Transport Verkehr GmbH, 2022. 2773 p.
67. Про захист персональних даних :Закон України від 01.06.2010 № 2297-VI.URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text> (дата звернення: 25.02.2025).
68. Про Правила дорожнього руху : Постанова Кабінету Міністрів України; Перелік, Правила від 10.10.2001 № 1306. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#n16> (дата звернення: 25.02.2025).

2.2 Особливості формування транспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування поблизу міст

А.А. Кочина

доцент кафедри транспортних систем і логістики ХНАДУ,
канд. техн. наук

На даний момент ділянки доріг на підходах до великих міст зазнають збільшеного транспортного навантаження, яке зростає по мірі наближення до меж міста [1]. Особливістю формування транспортних потоків на цих ділянках є наявність рекреаційних зон, розміри яких залежать від величини міста. Присутність таких зон сприяє утворенню маятникового руху, що пов'язано з переміщенням міських жителів за межі міста (селища, скупка та відновлення покинутих чи вимерлих сіл) – це звичайне явище для розселення сучасних цивілізованих країн. Кількість жителів таких поселень постійно зростає, а для поїздок у місто зазвичай використовуються лише легкові автомобілі. Рівень автомобілізації цієї частини населення, як правило, вдвічі вищий за середній рівень автомобілізації в регіоні. Маятниковий рух призводить до нерівномірного потоку транспорту протягом доби в різних напрямках та утворення заторів у години пік. Окрім цього, на підходах до великих міст спостерігається сезонна, тижнева та добова нерівномірність руху.

Узагальнена епюра інтенсивності руху (ІР) на підході до міста (рис. 1) має вигляд ступінчастої лінії. Кожен новий рівень цієї лінії відповідає транспортному перетину, де до проєктованої дороги додається потік транспорту з прилеглої території. Цей додатковий рух може складатися як із місцевого транспорту, що обслуговує дану територію, так і з маятникового руху, або ж їх комбінації. При цьому, чим ближче до міста, тим більшу частку займає маятниковий рух [2].

Крім того, забруднення атмосферного повітря внаслідок викидів транспортних засобів є серйозною екологічною проблемою, особливо в густонаселених районах поблизу міст. Основними факторами, що впливають на рівень забруднення, є:

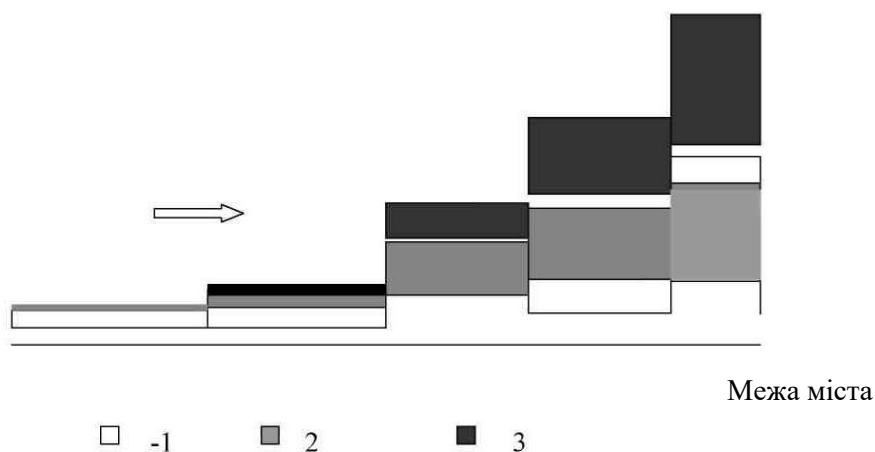
- інтенсивність руху;
- умови руху (часті зупинки, затори, прискорення та гальмування призводять до підвищеного споживання пального та збільшення шкідливих викидів);

– структура транспортного потоку (вантажні автомобілі зазвичай спричиняють більше забруднення, ніж легкові, особливо якщо використовують дизельне паливо);

– рік випуску транспортного засобу – старі автомобілі мають менш ефективні системи контролю за викидами та зазвичай викидають більше шкідливих речовин;

– тип пального (бензинові, дизельні та газові двигуни мають різні показники шкідливих викидів. Наприклад, дизельні автомобілі виробляють більше оксидів азоту (NO_x) і твердих частинок, тоді як бензинові – більше чадного газу (CO));

– технічний стан транспортного засобу – несправний двигун або відсутність каталізатора може суттєво збільшити викиди шкідливих речовин.



Умовні позначення:

1 – IP транспортного потоку, яка орієнтована на місто;

2 – місцевий рух;

3 – маятниковий рух.

Рис. 1. Епюра інтенсивності руху поблизу міста

Транспортно-експлуатаційні умови доріг включають такі фактори: дорожні – рельєф місцевості, ширина проїзної частини, тип і стан покриття, коефіцієнт зчеплення, рівність дороги, стан узбіч та наявність інженерного облаштування; транспортні – характеристики вантажів, що перевозяться, інтенсивність і щільність транспортного потоку, швидкісний режим; погодні та кліматичні умови – видимість, опади, температура, атмосферний тиск і вологість повітря; культура експлуатації – рівень організації руху, кваліфікація водіїв, дисциплі-

на, матеріально-технічне забезпечення та якість експлуатаційних матеріалів.

Дорожні умови поділяють на постійні (тип покриття, план траси, профіль дороги, ширина проїзної частини, перехрестя) та змінні (рівність покриття, зчеплення коліс з дорогою, видимість тощо).

Незадовільний стан доріг призводить до зростання викидів шкідливих речовин, що негативно впливає на довкілля. Через низьку якість дорожньої інфраструктури, аварійні ділянки та перевантаженість трас біля міст не вдається реалізувати оптимальні швидкісні режими руху, що спричиняє збільшене споживання пального (в 1,3–1,5 рази), зростання витрат на ремонт і обслуговування транспорту (в 2,5–3,4 рази) та скорочення строку експлуатації автомобілів на (20–30)%.

Вплив населених пунктів на транспортно-експлуатаційні характеристики автомобільних доріг проявляється у значному зниженні швидкості руху транспорту поблизу населених пунктів порівняно з міжміськими ділянками доріг. При наближенні до населеного пункту щільність транспортного потоку зростає, а також змінюється розподіл інтервалів між транспортними засобами.

Довжина зони, в якій відбувається зміна швидкості руху, залежить від протяжності населеного пункту та інтенсивності транспортного потоку. Чим більше місто або селище, тим більша територія його впливу на дорожній рух. При в'їзді в населений пункт транспортний потік адаптується до нових умов руху, що значною мірою визначається як протяжністю забудови, так і віддаленістю будівель від проїзної частини.

Якщо дорога проходить через невеликі населені пункти, водії часто не знижують швидкість, а навпаки – намагаються швидше подолати цю ділянку, вважаючи її підвищеною зоною ризику. Дослідження швидкості руху на двосмугових дорогах у межах населених пунктів довжиною до 0,5 км за інтенсивності 7530 авт./добу показали, що лише 13 % водіїв (38 із 290 автомобілів) зменшували швидкість до 65 км/год, тоді як решта рухалася зі швидкістю (70-90) км/год, аналогічною швидкості на міжміських ділянках.

Чим більший населений пункт, тим сильніший вплив внутрішніх чинників на режим руху транспорту. Оцінити цей вплив на етапі проектування можливо лише шляхом проведення спостережень за рухом у процесі досліджень або шляхом аналізу впливу кожного окремого фактора та встановлення закономірностей їхнього впливу.

ву. Такий підхід застосовувався, зокрема, під час вивчення безпеки руху та пропускнув здатності доріг.

При проектуванні автомобільних доріг на підходах до великих міст необхідно враховувати специфічні особливості цих ділянок. Зокрема, інтенсивна забудова прилеглих територій, яка триває безперервно, спричиняє зростання транспортної ємності та підвищення інтенсивності руху. Це, в свою чергу, вимагає врахування динаміки змін у транспортних потоках та передбачення заходів для забезпечення безперебійного руху на цих дорогах [3].

Під час дослідження зон впливу сільських населених пунктів було встановлено, що водії, в'їжджаючи в населений пункт, заздалегідь не можуть оцінити умови руху, тому знижують швидкість ще до початку забудови. Водночас при виїзді вони прагнуть якомога швидше дістатися перегінної ділянки дороги, починаючи збільшувати швидкість ще до завершення забудови.

Через це зона впливу населеного пункту на виїзді в 1,5-2 рази коротша, ніж на в'їзді. Вона залежить не лише від протяжності населеного пункту та відстані забудови від краю проїзної частини, а й від інтенсивності руху.

При потоці 200 авт./год і довжині населеного пункту понад 3 км зона впливу на в'їзді сягає 0,3 км, а на виїзді – (0,15-0,2) км. Якщо інтенсивність руху становить 400 авт./год, зона впливу збільшується до 0,4 км на в'їзді та (0,2-0,3) км на виїзді. При 600 авт./год і більше ці показники відповідно дорівнюють 0,5 км та (0,3-0,35) км.

Максимальна протяжність ділянок, на яких змінюється швидкість руху і відбувається перерозподіл транспортного потоку при високій інтенсивності, становить близько 500 м.

На автомобільних дорогах на підходах до великих міст транспортні потоки формуються з транзитного руху (перевезень на значні відстані за межі регіону та країни), місцевого руху (перевезення в межах 100 км від міста) і маятникового руху (щоденних поїздок з передмістя в місто і в зворотному напрямку). Крім цього на ділянках автомобільних доріг на підходах до великих міст інтенсивність руху транспортних потоків змінюється протягом року, тижні і доби. Тому при проектуванні автомобільних доріг необхідно визначити закономірності, що формують транзитний, місцевий і маятниковий рух, з урахуванням їх зміни протягом року, тижні і доби [4].

При проектуванні автомобільних доріг на підходах до великих міст важливо враховувати їхній взаємозв'язок з іншими дорогами,

розташованими на прилеглих територіях. Місцевий рух змушений використовувати ці дороги для коротких поїздок, що спричиняє збільшення інтенсивності руху, зниження середніх швидкостей та зменшення пропускної здатності через значну кількість примикань і перетинань транспортних потоків [5].

У разі будівництва або реконструкції автомагістралей ця проблема повинна вирішуватися шляхом обмеження доступу на проєктовану дорогу, що сприятиме підвищенню її ефективності та безпеки руху.

Для автомобільних доріг на підходах до великих міст характерним є маятниковий рух, пов'язаний із щоденними поїздками мешканців передмість до міста на роботу чи навчання, а також жителів міста до дачних і котеджних селищ у приміській зоні. Це, передусім, трудові маятникові поїздки: вранці до міста, ввечері – у зворотному напрямку. Обсяг таких поїздок суттєво варіюється залежно від чисельності населення, рівня економічного розвитку міста та регіону, а також загальної економічної ситуації в країні. Важливу роль відіграє і вибір виду транспорту для здійснення маятникових поїздок. Основними варіантами є залізниця, громадський пасажирський транспорт та легковий автомобіль.

Маятниковий рух, пов'язаний із переселенням міських жителів за межі міста, є характерним явищем для сучасних розвинених країн. Чисельність мешканців таких приміських поселень постійно зростає, а основним видом транспорту для їхніх щоденних поїздок до міста є легковий автомобіль. Рівень автомобілізації серед цієї категорії населення зазвичай удвічі перевищує середній рівень автомобілізації в регіоні. Відстань таких поселень від меж міста визначається рівнем забудови передмістя, а також природними факторами, такими як наявність лісів, річок чи озер, що роблять ці території привабливими для проживання.

При наближенні до кордонів міста місцева дорожня мережа стає дедалі щільнішою. Це ускладнює трасування автомобільних доріг, оскільки виникає необхідність перетину численних місцевих шляхів. В результаті доводиться проєктувати велику кількість перетинів як в одному, так і в різних рівнях. Наявність таких перетинів значно впливає на пропускну здатність дороги, спричиняючи зниження середніх швидкостей руху, збільшення заторів і підвищення аварійності. Тому при проєктуванні важливо враховувати можливості мінімі-

зації перетинів, використовуючи шляхопроводи, транспортні розв'язки та інші інженерні рішення [6].

При проектуванні автомобільних доріг на підходах до великих міст необхідно мінімізувати кількість перетинів і примикань. Це можна досягнути завдяки:

- обмеження точок доступу – зменшення кількості виїздів на основну магістраль для запобігання хаотичному трафіку;

- формування розподільних доріг – створення паралельних локальних доріг для місцевого руху, що дозволяє розвантажити основну трасу;

- влаштування «глухих» перетинів – використання розв'язок, де місцеві дороги перетинають магістраль без можливості виїзду на неї;

- застосування місцевих проїздів – у межах населених пунктів вони можуть слугувати альтернативним маршрутом для зниження навантаження на магістраль.

Ці заходи сприятимуть підвищенню пропускної здатності дороги, зменшенню заторів і підвищенню безпеки руху.

Розміщення підприємств сфери обслуговування та розваг уздовж автомобільних доріг є важливим фактором розвитку дорожньої інфраструктури, але воно повинно бути ретельно сплановане, щоб не впливати негативно на безпеку руху та пропускну здатність магістралі [7]. Для цього необхідно:

- розробити схему розміщення об'єктів дорожнього сервісу одночасно з проектуванням автомобільної дороги, щоб визначити оптимальні місця розташування об'єктів;

- облаштувати окремі заїзди та виїзди з сервісних зон, що не перетинаються з основним потоком транспорту;

- використовувати розподільні дороги та спеціальні місця паркування, щоб зменшити вплив руху до сервісних об'єктів на магістраль;

- передбачати зони для відпочинку водіїв, які не створюватимуть аварійних ситуацій і сприятимуть безпечному користуванню інфраструктурою.

Ці заходи дозволять зберегти високу ефективність дорожнього руху та підвищити рівень безпеки на підходах до міст.

Зниження розрахункової швидкості при прокладанні трас автомобільних доріг у щільно забудованих територіях є доцільним рішенням, оскільки це:

- зменшує радіуси поворотів і дозволяє ефективніше вписати трасу в обмежений простір;

- підвищує безпеку руху, оскільки водії мають більше часу для реагування на зміну дорожньої ситуації;

- знижує рівень шуму та викидів, що є важливим для житлових районів;

- мінімізує вплив на існуючу забудову та зменшує витрати на викуп земельних ділянок.

Однак необхідно зберігати баланс між зменшенням швидкості та забезпеченням пропускну здатності, тому можуть застосовуватися розподільні дороги, транспортні розв'язки та спеціальні заходи організації руху.

Також, автомобільні дороги на підходах до великих міст відіграють ключову роль у транспортній системі країни, оскільки:

- забезпечують зв'язок між великими транспортними вузлами (містами, логістичними центрами, морськими та сухопутними портами, аеропортами);

- є частиною міжнародних транспортних коридорів, що сприяє інтеграції країни у світову економіку;

- забезпечують ефективний транзит вантажів та пасажирів, що особливо важливо для міжнародної та міжрегіональної торгівлі;

- мають високу інтенсивність руху через поєднання транзитного, місцевого та маятникового трафіку.

Тому при проектуванні та модернізації таких доріг особливу увагу слід приділяти розподілу потоків, обмеженню точок доступу, створенню об'їзних маршрутів та розвитку дорожнього сервісу для безпечного та безперебійного функціонування транспортної інфраструктури.

Ефективне управління транспортними потоками можливе лише за умови глибокого розуміння механізмів, що їх формують. Тому особливу увагу приділяють дослідженню факторів, які спричиняють затори та зниження швидкості руху транспортних засобів.

Для вирішення цієї проблеми було розроблено чимало теоретичних підходів і моделей. Математичним описом транспортних процесів займалися як вітчизняні, так і зарубіжні науковці. Це сприяло появі широкого спектра моделей, що відображають різні аспекти функціонування транспортного потоку.

Розвиток теорії транспортних потоків відбувався в різних наукових галузях, що дозволило накопичити значний досвід у дослідженні руху транспортних засобів. Однак рівень досліджень і практичного

застосування цієї теорії залишається недостатнім через низку чинників:

- нестабільність і різноманітність транспортного потоку, що ускладнює отримання об'єктивної інформації про його характеристики;

- суперечливість критеріїв управління дорожнім рухом: необхідність забезпечення безперебійного руху транспортних засобів поєднується з потребою мінімізувати негативні наслідки шляхом регулювання швидкості та напрямку руху;

- навіть за стабільних дорожніх умов можуть виникати непередбачувані зміни природно-кліматичних параметрів;

- під час реалізації рішень з управління дорожнім рухом у міських умовах часто виникають неточності, що можуть призводити до непередбачених наслідків.

Теорія транспортних потоків розвивалася в різних наукових напрямках, що сприяло накопиченню значного досвіду в дослідженні руху транспортних засобів. Проте рівень вивчення та практичного застосування цієї теорії залишається обмеженим через низку факторів:

- мінливість і різноманітність транспортного потоку, що ускладнює отримання об'єктивних даних про його характеристики;

- суперечливість підходів до регулювання дорожнього руху, оскільки необхідність забезпечення безперебійного руху транспорту поєднується з вимогами мінімізації негативного впливу через обмеження швидкості та напрямку руху;

- навіть за стабільних дорожніх умов можливі несподівані зміни кліматичних факторів;

- впровадження рішень щодо управління дорожнім рухом у містах часто супроводжується неточностями, що може призводити до непередбачених наслідків.

Розробка рекомендацій з оптимізації дорожнього руху в сучасних умовах неможлива без використання методів математичного моделювання та прогнозування розвитку дорожньо-транспортних ситуацій, що залежить від постійно змінюваних факторів, які впливають на безпеку руху. Серед таких факторів можна виділити щільність руху, максимальну швидкість, кількість перетинів на одиницю довжини, а також кількість в'їздів і виїздів.

В залежності від типу обраних моделей, можливості їх застосування є дуже різноманітними:

- створення і тестування нових рішень для організації дорожнього руху;
- оптимізація функціонування вже існуючих систем організації дорожнього руху;
- пошук альтернативних шляхів для вдосконалення організації дорожнього руху.

У моделюванні дорожнього руху існують два основні підходи: детерміністичний (динамічний) і ймовірнісний (стохастичний). Детерміновані моделі базуються на функціональних залежностях між показниками. Динамічні моделі описують як взаємодію між окремими моделями, так і рух потоку в цілому. В рамках динамічного моделювання транспортних потоків виділяють два класи моделей: макроскопічні та мікроскопічні. Макроскопічні моделі описують динаміку руху потоку загалом, тоді як мікроскопічні моделі фокусуються на взаємодії між окремими автомобілями.

Для опису руху транспортних потоків використовується ціла низка математичних моделей, які дозволяють отримати ряд параметрів руху, але здебільшого вони призначені для вирішення локальних задач на окремих ділянках доріг. На відміну від детерміністичних моделей, стохастичні моделі надають кількісну оцінку характеру руху потоків, де зберігається можливість маневрування автомобілями.

У ймовірнісних моделях транспортний потік розглядається як результат взаємодії транспортних засобів на елементах транспортної мережі. Через жорстку організацію мережі та масовий характер руху, у транспортному потоці утворюються чіткі закономірності, такі як формування черг, інтервалів, завантаження смуг руху та інші. Ці закономірності мають суто стохастичний характер.

Усі існуючі моделі можна класифікувати за функцією, яку вони виконують. Враховуючи задачі, для вирішення яких вони застосовуються, на основі функціонального значення моделей умовно виділяють три основні класи: моделі прогнозу завантаження транспортної мережі, моделі динаміки транспортного потоку та моделі оптимізації функціонування транспортної мережі.

Моделі прогнозу завантаження транспортної мережі (прогнозні моделі) використовуються для вирішення задач, коли відома конфігурація мережі, її параметри та характеристики, а також розміщення потокоутворюючих і потокопоглинаючих об'єктів у місті та обсяги утворення і поглинання потоків.

Основне завдання таких моделей – визначити параметри транспортних і пішохідних потоків на всій транспортній мережі. Ці моделі дають змогу визначати обсяги міжрайонних переміщень, виконувати розподіл транспортних потоків мережею, розраховувати середні параметри функціонування транспортної мережі після змін характеристик маршрутної мережі пасажирського транспорту, функціонального призначення території міста, кількості ділянок мережі та перехресть тощо.

Моделі динаміки транспортного потоку (імітаційні моделі) максимально детально описують процес руху окремих транспортних засобів і встановлюють функціональну залежність між окремими показниками потоку, такими як швидкість і дистанція між автомобілями в потоці. Використання таких моделей дає можливість оцінювати динаміку швидкості руху, затримки на перехрестях, утворення черг і інші аспекти.

Динамічні макроскопічні моделі описують зміни транспортного потоку в часі за допомогою диференційних рівнянь. Вони дозволяють визначати зміни основних параметрів руху на ділянках транспортної мережі, тому переважно застосовуються на локальних об'єктах.

Основна особливість динамічних моделей – велика деталізація опису руху, що потребує значних обчислювальних ресурсів. Проте, недоліком макрорівневого моделювання є узагальненість результатів, що робить їх менш точними. Моделювання на мікрорівні, в свою чергу, потребує значних витрат часу, трудових і матеріальних ресурсів для збору вихідних даних.

Моделі динаміки транспортного потоку (імітаційні моделі) поділяються на кілька типів залежно від рівня деталізації та методу моделювання:

- макроскопічні моделі описують загальні характеристики потоку, такі як щільність, швидкість і потік на великих ділянках транспортної мережі.

- кінематичні моделі фокусуються на руху транспортних засобів, зокрема на швидкості та інтервалах між автомобілями, враховуючи зміни в русі.

- мікроскопічні моделі детально описують взаємодію окремих транспортних засобів, що дозволяє розглядати кожен транспортний засіб окремо.

Моделі оптимізації функціонування транспортних мереж (оптимізаційні моделі) використовуються не для опису транспортних по-

токів, а для оптимізації параметрів функціонування транспортної мережі, зокрема для:

- оптимізації маршрутів міського пасажирського та вантажного транспорту;

- визначення оптимальної конфігурації транспортної мережі.

Основні завдання таких моделей включають:

- підвищення ефективності роботи міського пасажирського транспорту;

- забезпечення безпеки, зручності та комфортності перевезень;

- оптимізація маршрутної мережі для міського транспорту, визначення кількості маршрутів, їх довжини та особливостей проходження.

Такі моделі також застосовуються під час розробки генеральних планів, щоб визначити розташування функціональних зон і провести аналіз транспортної інфраструктури.

Ефективна модель управління транспортними потоками повинна включати комплексний підхід, який враховує різноманітні фактори, що впливають на транспортний потік. Така модель повинна забезпечувати оптимальний розподіл транспортних потоків по мережі та включати наступні аспекти:

- транспортні характеристики потоку: швидкість, щільність, інтервали між транспортними засобами, а також зміни в цих параметрах в залежності від умов руху;

- параметри та стан вулично-дорожньої мережі (ВДМ): особливості дорожньої інфраструктури, включаючи наявність перехресть, дорожніх знаків, стан дорожнього покриття та інші технічні характеристики;

- кліматичні фактори: вплив погодних умов (дощ, сніг, туман), які можуть змінювати характеристики дорожнього руху, знижуючи видимість або слизькість доріг, що впливає на безпеку та швидкість руху;

- соціально-економічні фактори: врахування потреб громадськості, таких як підвищення попиту на транспорт, зміни в економічній ситуації, а також соціально-економічні обмеження (наприклад, фінансування ремонтних робіт, забезпечення доступу до важливих об'єктів для різних категорій населення).

Усе це дозволяє створити гнучку модель, яка не тільки передбачає і оптимізує рух транспортних засобів, але й забезпечує сталий ро-

звиток транспортної інфраструктури, адаптуючи її до змінюваних умов.

Для встановлення взаємозв'язку між інтенсивністю руху транспортного потоку та характеристиками міст важливо враховувати декілька наступних факторів:

- кількість мешканців міста та його агломерації – більш населені міста зазвичай мають вищу інтенсивність руху, особливо у годину пік.

- тип і категорія доріг – міжнародні, національні та регіональні дороги мають різний вплив на транспортні зв'язки, зокрема щодо транзитного та приміського трафіку.

- сезонність та добова варіативність – характер транспортних потоків суттєво змінюється залежно від часу доби та пори року.

- економічна активність – великі промислові або ділові центри створюють додаткове навантаження на дорожню мережу.

- особливості приміського руху – міста з розвиненою приміською зоною мають високий рівень маятникових поїздок, що впливає на інтенсивність руху на регіональних дорогах [10].

Для аналізу взаємозв'язку можна використати статистичні методи:

- кореляційно-регресійний аналіз для встановлення залежності між ІР транспортного потоку та демографічними, економічними показниками [11];

- кластерний аналіз для поділу міст на групи за схожими транспортними характеристиками;

- моделювання транспортних потоків у спеціалізованих програмах, таких як VISUM, щоб прогнозувати вплив змін у міській структурі на ІР [12].

Важливо врахування місця заміру інтенсивності руху та його віддаленості від міста. Розширення діапазону вимірювання понад 50 км дозволяє точніше оцінити вплив приміського сполучення, яке є складовою міжміського транспортного потоку (ТП). Основні аспекти, які потрібно врахувати при аналізі ІР:

- 1) розташування точки вимірювання:

- відстань від межі міста або його адміністративного/історичного центру;

- тип прилеглої забудови (щільність населених пунктів, промислові зони, рекреаційні території).

- 2) структура транспортного потоку:

- вантажний транспорт, який складається з широкого спектра вантажів, що визначає його специфічні закономірності руху;

- пасажирський транспорт, який визначається часткою легкових автомобілів (більшою мірою випадкові поїздки) та автобусів (регулярний характер руху).

3) методи аналізу та оцінки ТП:

- математичне моделювання для ідентифікації закономірностей формування ТП;

- регресійний аналіз для виявлення залежностей між інтенсивністю руху та демографічними, економічними показниками;

- кластерний аналіз для групування ділянок доріг за схожими транспортними характеристиками.

З урахуванням цього необхідно формалізувати закономірності впливу міст на ІР на автомобільних дорогах (АД) загального користування. Вихідними даними для формалізації процесу мають стати фактичні дані про ІР на ділянках АД загального користування, які отримані в результаті багаторічних статистичних спостережень. Тому задачу формалізації інтенсивності ТП слід розуміти як пошук факторів, які дозволять з достатнім ступенем точності описати існуючі закономірності.

Основним чинником, який впливає на величину ІР як для вантажного, так і для пасажирського транспорту, особливо для маятникового руху, що складає основну частину величини ІР [13], можна вважати відстань до населеного пункту. Цю відстань можна розглядати як показник, що характеризує населений пункт відносно точки в центральній частині міста, яка є його точкою тяжіння для транспорту. Як центр міста варто розглядати адміністративний або історичний центр. Другою точкою для визначення відстані має бути точка, в якій здійснюється вимірювання величини ІР на основі натурних спостережень.

Останнім роком масштабної фіксації транспортного потоку в Україні став 2011 рік, для якого було отримано значення середньодобової ІР для 761 ділянки міжнародних, національних та регіональних АД загального користування.

Фактичні значення інтенсивності, отримані за допомогою натурних обстежень, були надані Держаним агентством автомобільних доріг України. Склад транспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування включає в себе 9 категорій ТЗ: легкові, вантажні легкі, вантажні середні, вантажні важкі, автобуси середні, ав-

тобуси важкі, тягачі, автопоїзди, мотоцикли та інші. Транспортні потоки визначались протягом доби на визначених місцях автомобільної дороги відповідної категорії.

Інтенсивність визначалась для кожної траси в залежності від віддаленості від початку траси та відносно відстані до міста, яке розташовано поблизу. Крім загального потоку на ділянці автомобільної дороги в ході спостережень фіксувалося склад транспортного потоку.

Завдання довгострокового прогнозування також потребує уважного ставлення до складу ТП, тому всі транспортні засоби (ТЗ) діляться на важкі, що здійснюють суттєвий вплив на дорожній одяг, та легкі, які суттєвого впливу не здійснюють. Відповідно до цього, з точки зору основних транспортних характеристик ТЗ, що потенційно можуть бути важкими, для вантажних автомобілів межею між важкими та легким ТЗ є 5 тонн вантажності, для автобусів – 30 пасажиромісць. Коливання різних типів ТЗ також є важливим завданням при прогнозуванні ІР ТП.

Для визначення впливу міста на ІР необхідно визначити залежність цього показника відповідно до ділянки фіксації, яка характеризує відстань до міста (рис. 2).

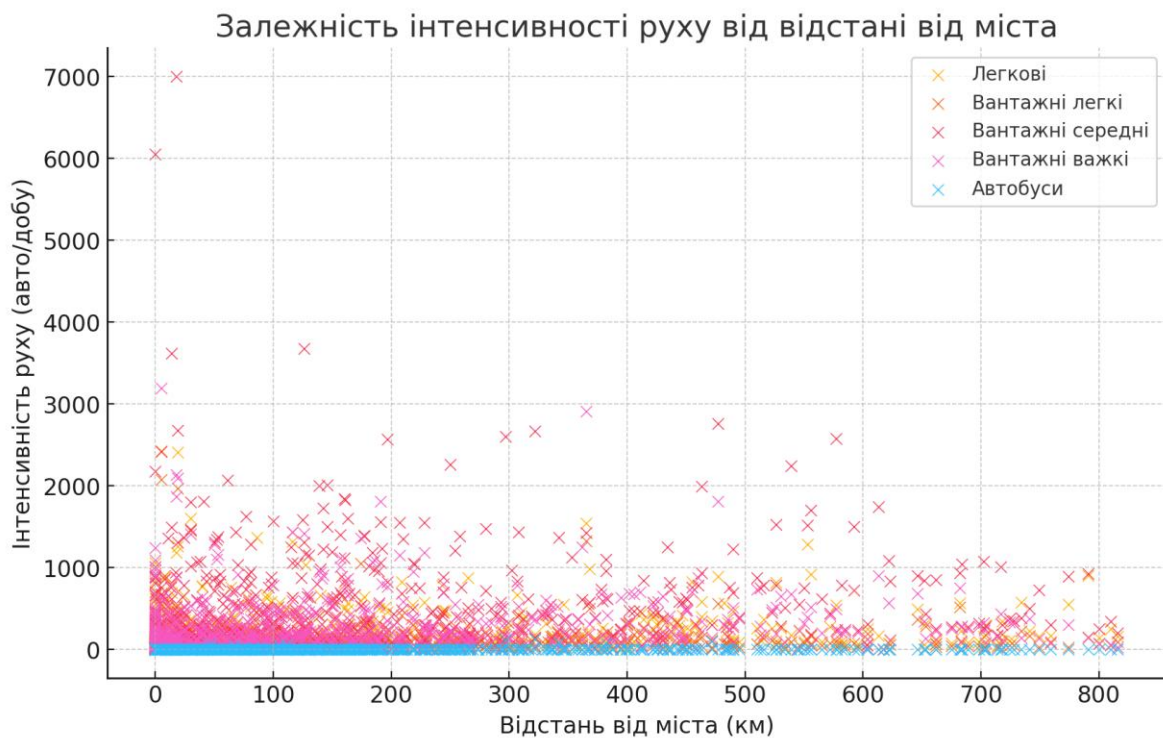


Рис. 2. Вплив населених пунктів на ІР

Графічне зображення залежності ІР від відстані до міста вказує на те що:

- інтенсивність руху поступово зменшується з віддаленням від міста;
- легковий транспорт має найвищу інтенсивність;
- вантажні транспортні засоби (особливо середні та важкі) мають нерівномірний розподіл;
- автобусний трафік більш стабільний, але також зменшується з відстанню.

Закономірності формування величини ІР залежно від відстані повинні бути основані на пошуку такої залежності між відстанню та фактичним значенням цього показника, який приведе до тісного кореляційного зв'язку між двома цими величинами. Відповідно до цього, вплив міста на ІР обумовлюється розташуванням ділянки автомагістралі, не залежно від її державного значення, відносно міста, яка характеризується віддаленістю L , км від міста.

Кореляція між інтенсивністю потоку та відстанню дуже слабка ($\approx 0,04$), що свідчить про відсутність лінійної залежності [14]. В цьому випадку можуть існувати нелінійні закономірності (експоненційна, поліноміальна чи степенева залежність) [15].

Залежність між існуючою ІР та відстанню L , якщо розглядати закономірності показникової функції, можливо представити у вигляді логарифмічного перетворення ІР з використанням L за основою

$$N' = \text{Log}_L N, \quad (1)$$

де N' – перетворення добової ІР ТЗ на ділянці АД загального користування залежно від відстані L ;

L – відстань між ділянкою АД визначення ІР ТЗ та центром міста, км;

N – фактичне значення ІР ТЗ, авт./доб.

Таке представлення дозволяє оцінити, як інтенсивність попиту змінюється із збільшенням відстані перевезення, що відповідає закономірностям експоненційного розподілу.

Обґрунтування логарифмічного перетворення існуючої N від L полягає в існуванні залежності між цими показниками, яка може бути описана як

$$N = L^{\frac{1}{L}} = e^{\frac{1}{L} \ln L}. \quad (2)$$

Наступний підхід, який описує показникову функцію, можна віднести до ступеневої функції, що використовує відстань L як основу в ступені показника, який називають показником тяжкості сполучення. Такий підхід можна представити у вигляді:

$$N' = N^{\frac{1}{L}}. \quad (3)$$

Ця модель часто застосовується в транспортному моделюванні, оскільки дозволяє оцінити залежність попиту від відстані перевезення, особливо у випадках, коли існує нелінійне зниження інтенсивності замовлень із зростанням дистанції.

Класичним підходом є використання експоненціальної функції для опису показникового характеру залежності. Такий підхід дає більш спрощений математичний вираз і дозволяє отримати логарифмічну залежність, яка зручна для аналізу та перевірки гіпотез. Формально експоненційну залежність можна записати у вигляді:

$$N' = e^L. \quad (4)$$

Перевірка гіпотези щодо відповідності емпіричних даних цій залежності потребує статистичного аналізу. Найбільш поширені методи перевірки – це логарифмічне перетворення та лінійна регресія для оцінки параметрів моделі.

Це дослідження дозволяє оцінити транспортну інтенсивність на різних категоріях доріг у зв'язку з розташуванням населених пунктів. Вибір ділянок поблизу міст районного та обласного значення з населенням понад 7 тисяч осіб є обґрунтованим, оскільки саме такі населені пункти генерують значний потік ТЗ через свою економічну та соціальну активність.

Отримані 713 значень для 81 населеного пункту створюють репрезентативну вибірку для аналізу закономірностей транспортного потоку. Врахування відстаней від місця фіксації до найближчого міста дозволяє побудувати регресійну модель залежності транспортного потоку від відстані.

Загальна інтенсивність руху не менш ніж 500 ТЗ/добу вказує на те, що розглянуті дороги є важливими транспортними коридорами. Це може бути основою для прогнозування завантаженості доріг, оцінки потреб у розвитку інфраструктури та аналізу попиту на вантажні перевезення.

Для отримання залежності між ІР та відстанню до населених пунктів необхідно побудувати спочатку графічну залежність між цими показниками (рис. 3), який дає наявне відображення числового значення ІР відносно відстані від міста.

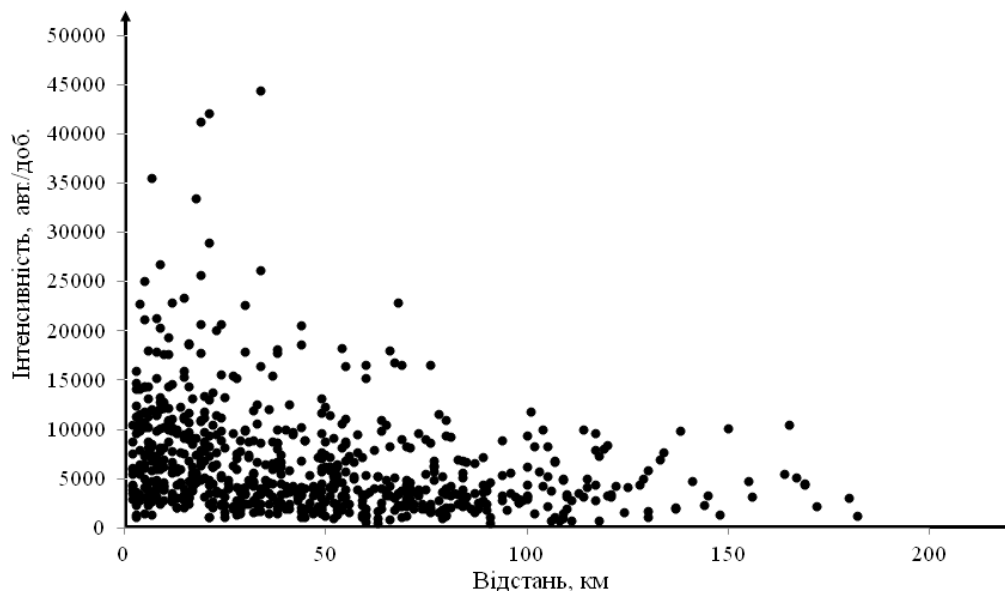


Рис. 3. Розподіл ІР в залежності від відстані до центру міста

Отриманий коефіцієнт кореляції (-0,39) свідчить про наявність слабого, але зворотного зв'язку між інтенсивністю руху та відстанню до населеного пункту. Це означає, що чим ближче до міста, тим вища інтенсивність руху, хоча залежність не є жорсткою.

Графічне представлення (рис. 3) підтверджує цю тенденцію:

- щільність спостережень збільшується поблизу міст, що може бути пояснено концентрацією транспортних потоків у передмістях;
- значення ІР вищі ближче до міста, що логічно, оскільки міста є джерелами та приймачами транспортних потоків.

Слабкість кореляції (-0,39) може вказувати на те, що на інтенсивність руху впливають інші фактори, такі як:

- категорія дороги (міжнародна, національна, регіональна);
- рівень урбанізації та економічна активність міста;
- наявність об'їзних доріг або альтернативних маршрутів.

Подальший аналіз може включати нелінійну регресійну модель, яка дозволить точніше описати взаємозв'язок між ІР і відстанню, а також врахувати додаткові фактори.

Результати аналізу кореляції між інтенсивністю руху та відстанню до міста свідчать про слабкий, але зворотний зв'язок. Це вказує

на те, що вплив міста на транспортний потік може відрізнятися залежно від його розміру та значення в транспортній системі.

Тому подальше дослідження доцільно проводити з урахуванням групування населених пунктів за чисельністю населення (рис. 4). Це дозволить:

– визначити, чи є закономірності між ІР і відстанню для малих, середніх і великих міст;

– перевірити, чи змінюється характер зв'язку залежно від розміру міста (наприклад, чи сильніший вплив мають обласні центри порівняно з районними містами);

– проаналізувати, як різні категорії доріг (міжнародні, національні, регіональні) впливають на транспортні потоки.

Графічне зображення розподілу ІР в залежності від відстані (рис. 4) допомагає візуалізувати розподіл інтенсивності руху в різних групах населених пунктів і знайти закономірності, які можуть не проявлятися при аналізі загального масиву даних.

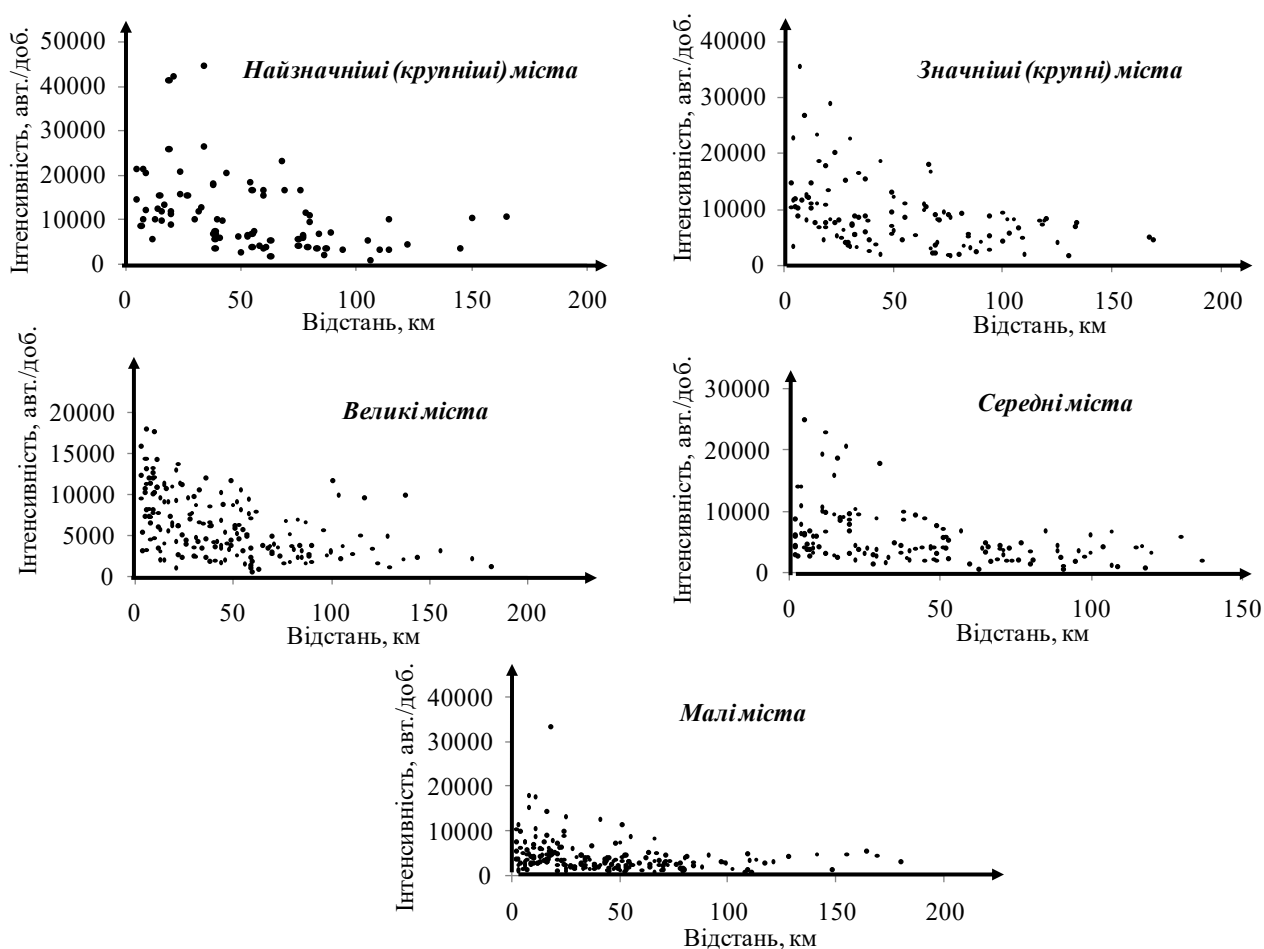


Рис. 4. Розподіл ІР в залежності від відстані до центру міста

Аналіз показав (табл. 1), що тіснота зв'язку між інтенсивністю руху і відстанню до міста зростає при групуванні населених пунктів за чисельністю населення. Це свідчить про те, що загальний тренд може маскувати специфічні закономірності, характерні для різних категорій міст.

Таблиця 1

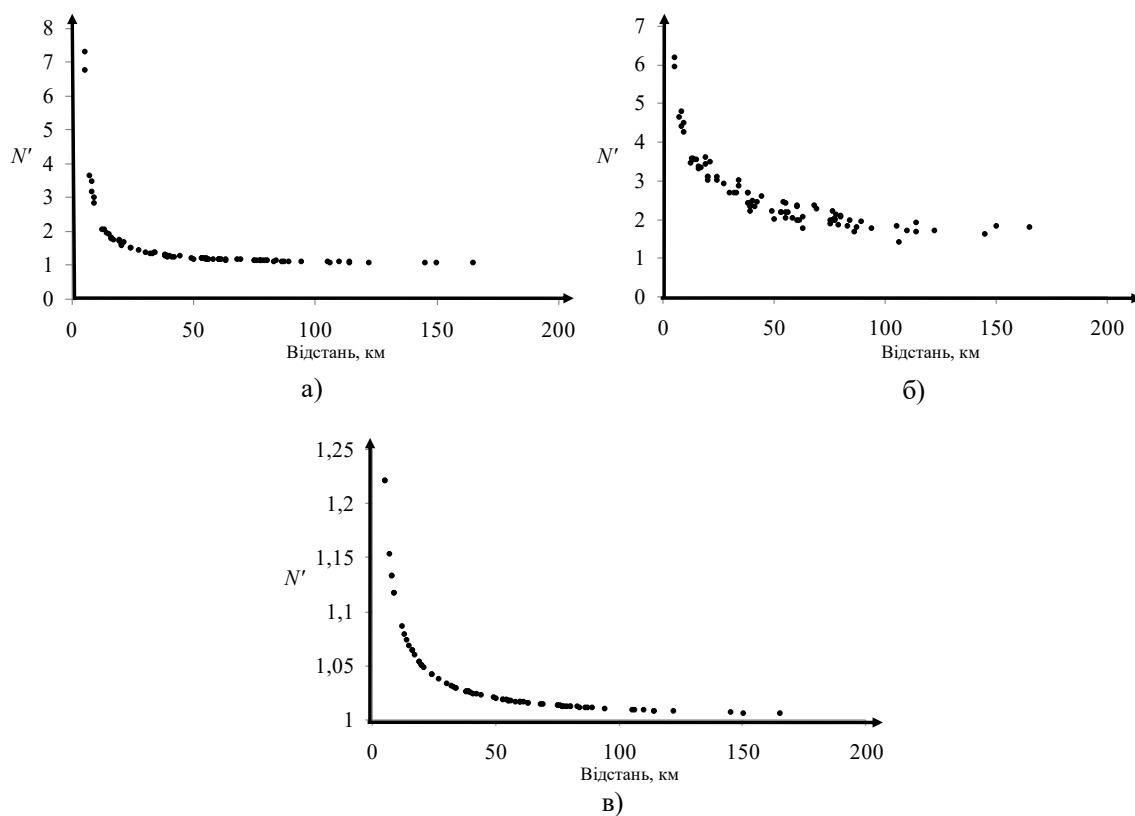
Тіснота зв'язку між ІР та відстанню до міста для різних груп поселень

Групи поселень	Населення, тис. осіб	Коефіцієнт кореляції
Найзначніші (крупніші)	Понад 1000	-0,41
Значніші (крупні)	Понад 500 до 1000	-0,47
Великі	Понад 250 до 500	-0,41
Середні	Понад 100 до 250	-0,41
	Понад 50 до 100	
Малі	Понад 20 до 50	-0,24
	Понад 10 до 20	
	До 10	

Групування населених пунктів за чисельністю населення дозволяє виявити більш чіткі залежності між ІР та відстанню. Збільшення тісноти зв'язку в окремих групах вказує на те, що транспортні потоки формуються під впливом специфічних факторів, які відрізняються для великих, середніх і малих міст. Розгляд окремих закономірностей допоможе точніше моделювати попит на перевезення, особливо у міжміському сполученні. Дані (табл. 1) підтверджують, що загальний рівень кореляції (-0,39) не відображає реальної ситуації для окремих категорій населених пунктів. Тому подальший аналіз необхідно проводити з урахуванням цих груп, що дозволить точніше прогнозувати транспортні потоки та попит на перевезення.

Згідно розрахунків тіснота зв'язку збільшилась при розгляді груп поселень з населенням від 50 тис. осіб, це говорить про доцільність використання в подальших розрахунках окремо зв'язок для кожної групи. Для малих поселень значення тісноти зв'язку найменша (дуже слабка) це може пояснюватись, або відсутністю цього зв'язку, або взаємовпливом цих міст відносно один до одного, що приводить до накладання зон впливу поселень (населених пунктів), в яких ІР буде складатися зі значень для обох поселень.

Необхідно виконати аналіз залежності між існуючою інтенсивністю руху та відстанню L . Для цього слід представити ІР у вигляді логарифмічного перетворення з використанням L як основи, застосувати показникову функцію, де основою виступає ступінь відповідного показника тяжкості сполучення, а також використати експоненційну функцію, що забезпечує спрощене представлення залежності. Аналіз варто провести для різних груп населених пунктів, відобразивши результати на графіках (рис. 5-9).

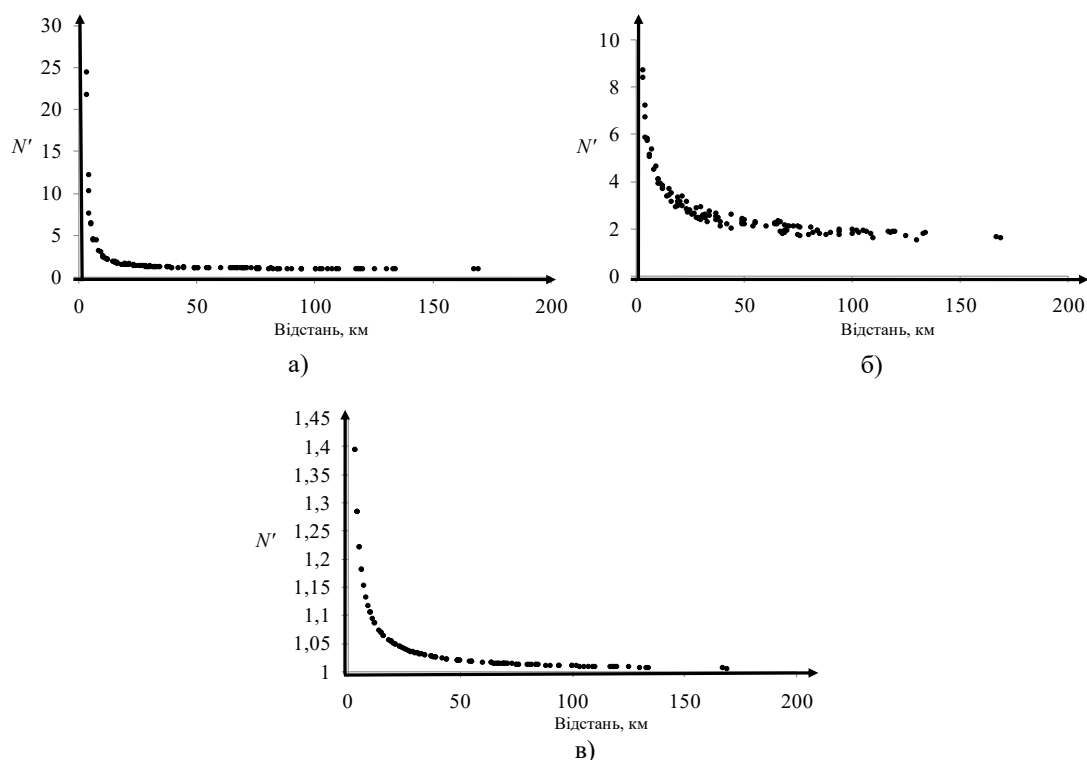


а) логарифмічне; б) ступеневе; в) експоненціальне

Рис. 5. Перетворення ІР в залежності від відстані до центру найзначніших міст

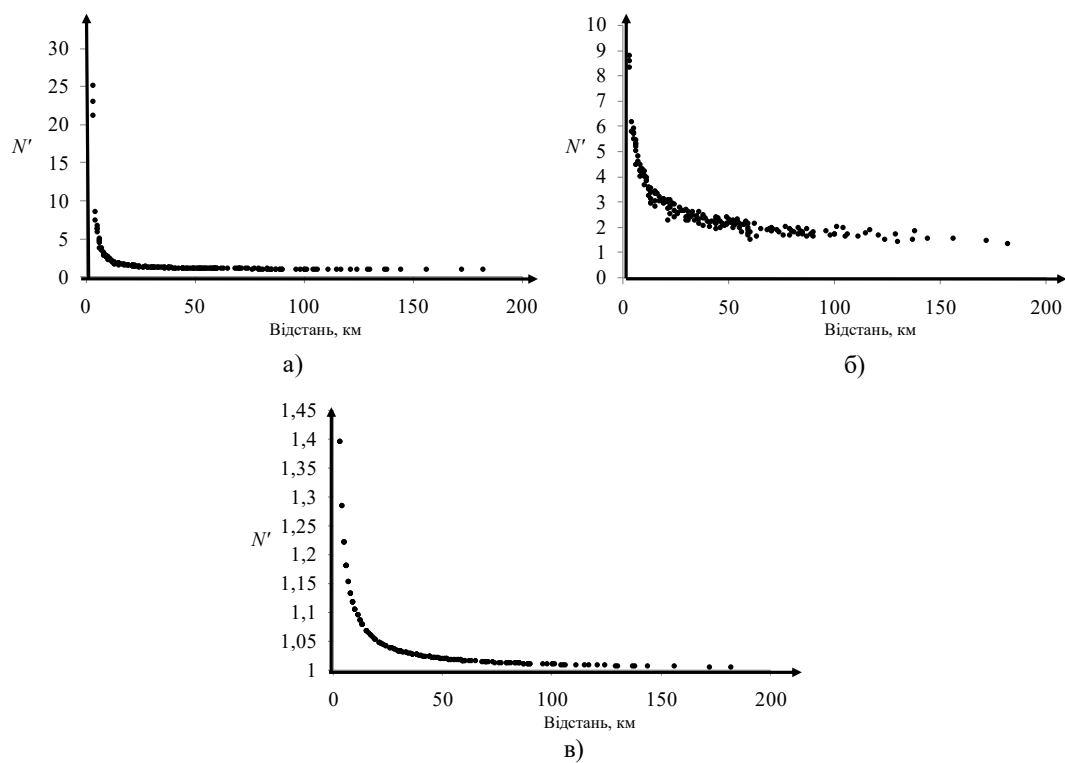
Відображення залежності між перетвореними значеннями ІР показує, що щільність між даними збільшується це говорить про збільшення зв'язку між цими показниками.

Згідно отриманих залежностей для різних категорій міст спостерігається однакова тенденція щільності для всіх видів перетворення інтенсивності руху.



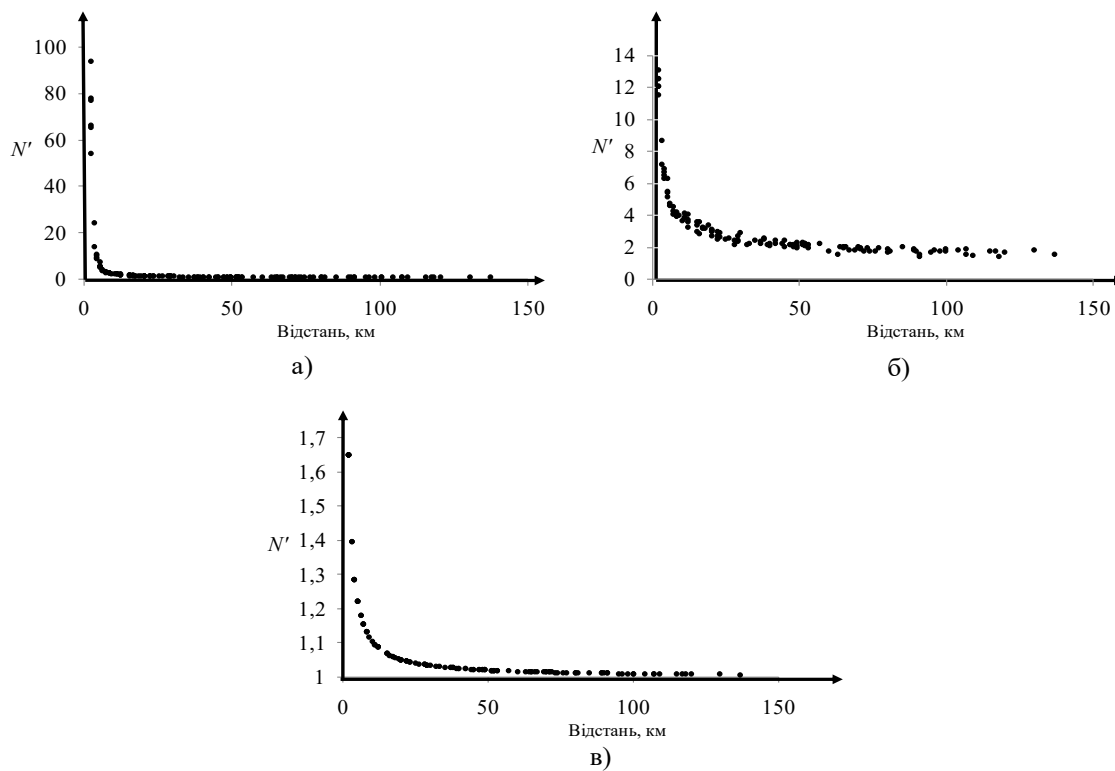
а) логарифмічне; б) ступеневе; в) експоненціальне

Рис. 6. Перетворення ІР в залежності від відстані до центру значних міст



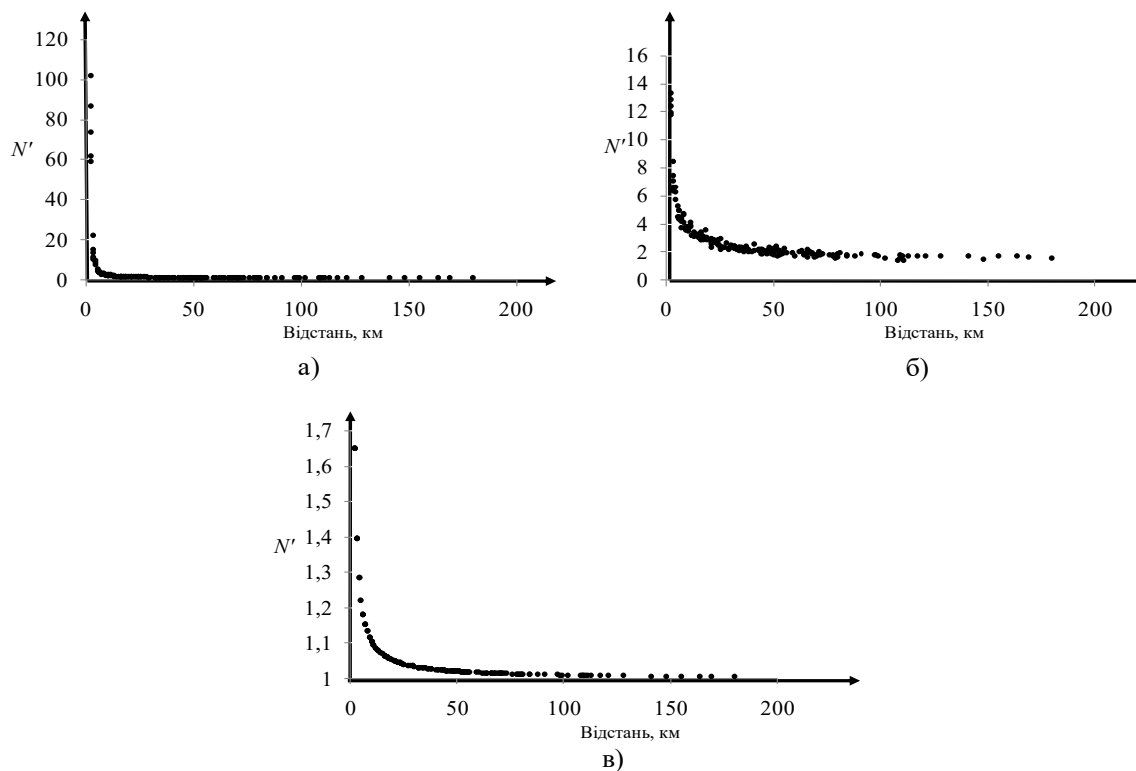
а) логарифмічне; б) ступеневе; в) експоненціальне

Рис. 7. Перетворення ІР в залежності від відстані до центру великих міст



а) логарифмічне; б) ступеневе; в) експоненціальне

Рис. 8. Перетворення ІР в залежності від відстані до центру середніх міст



а) логарифмічне; б) ступеневе; в) експоненціальне

Рис. 9. Перетворення ІР в залежності від відстані до центру малих міст

Відповідно до гіпотези про найбільший вплив для міст з більшою чисельністю населення необхідно визначити значення показників цього зв'язку в математичному опису.

Для встановлення показника визначення ефективності застосування відповідного перетворення також були розраховано тісноті зв'язку.

У табл. 2 подано інформацію про тісноту зв'язку між ІР та довжиною до центру міста для різних категорій поселень.

Таблиця 2

Тіснота зв'язку між N 'та відстанню до міста для різних груп поселень

Групи поселень	Коефіцієнт кореляції		
	Логарифмічного перетворення	Ступеневе перетворення	Експоненціальне перетворення
Найзначніші (крупніші)	-0,767	-0,504	-0,654
Значніші (крупні)	-0,684	-0,375	-0,547
Великі	-0,683	-0,364	-0,604
Середні	-0,69	-0,358	-0,547
Малі	0,607	-0,356	-0,487

Згідно результатів розрахунків найбільш тісний зв'язок спостерігається при логарифмічному перетворенні та використання його в подальшому у розрахунках. Також спостерігається не велике зниження зв'язку з зменшенням чисельності населення, що пояснює вплив поселень з більшою кількістю мешканців.

Можливо стверджують, що величина ІР ТП на ділянках АД поблизу міст на ділянках автомобільних доріг визначаються численними факторами і залежностями, як внутрішнього, так і зовнішнього характеру, основними з яких є:

а) роль і місце міста в системі міжнародних, державних і регіональних соціально-економічних, культурно-історичних і ін. сферах;

б) характер і зміст системи розселення населення і місць праці в зоні впливу міста – центру і його оточення;

в) рівень розвитку транспортної інфраструктури взаємопов'язаної системи розселення;

г) природно - географічні особливості району розселення;

д) рівень автомобілізації населення і його транспортна рухомість.

Однак оцінити всі перелічені фактори можливо лише при детальному аналізі окремого міста або групи міст. При розробці транспо-

ртної моделі масштабних об'єктів, таких як уся територія України, визначення точних параметрів для кожного міста, особливо тих, що не є частиною офіційної статистики, стає надзвичайно складним завданням.

З огляду на такі умови при визначенні факторів, які впливають на ІР ТЗ було обрано параметри, які можливо поділити на дві групи: перша – характеризує дорожні умови, в яких здійснюється рух ТЗ; друга – характеристики міст (населених пунктів), які знаходяться поблизу. До першої групи можливо віднести:

- категорія дороги;
- кількість смуг руху;
- швидкість руху на ділянці дороги;
- середня інтенсивність руху.

До другої групи віднесено:

- чисельність населення;
- відстань до населеного пункту.

Згідно до представлених факторних ознак, які впливають N математичне завдання буде мати наступний вигляд

$$N = f(L, P, n, V, N_{cp}), \quad (5)$$

де P – чисельність населення міста, осіб;

n – кількість смуг руху на ділянці АД, од.;

V – швидкість руху, км/год.;

N_{cp} – середня ІР ТЗ на АД відповідній категорії на ділянці, яка розглядається в напрямку міста, авт./доб.

Отриманні дані в результаті натурних спостережень N можна апроксимувати за допомогою рівняння регресії лінійної функції [16].

При встановленні взаємозв'язку між відстанню L та N дозволить врахувати це при моделюванні ІР ТЗ тоді математичне завдання набуває наступного вигляду наприклад для логарифмічного перетворення

$$N' = \text{Log}_L N = f\left(\frac{1}{L}, P, n, V, N_{cp}\right). \quad (6)$$

Перехід до змодельованого значення N можливо за допомогою математичного виразу цієї величини згідно отриманої регресійної моделі

$$N = e^{(a + \frac{a_2}{L} + a_3 P + a_4 \cdot n + a_5 \cdot N_{cp}) LnL} \quad (7)$$

Якщо статистичні характеристики отриманих моделей виявляться достатньо високими, це надасть змогу для прогнозування ІР ТЗ поблизу міст [17].

В результаті проведеного аналізу були отримані статистичні характеристики залежності ІР від факторів, які були запропоновані (табл. 3) для крупніших міст. В результаті розрахунків параметри до яких відносяться: середня ІР ТЗ на АД відповідній категорії на ділянці, яка розглядається в напрямку міста N_{cp} ; швидкість руху V та кількість смуг руху на ділянці АД n виявився не значимим.

Таблиця 3

Статистична характеристика коефіцієнтів моделі для крупніших міст

Статистична характеристика залежності	Константа	Коефіцієнт при факторі				
		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
Значення коефіцієнту	4496,84	1,086	2,516	1,017	-0,282	117,26
Стандартна похибка коефіцієнту	13,687	19,533	1,065	0,729	1,237	156,65
Критерій Стьюдента:	0,328	5,561	2,362	1,395	-0,228	0,748
Ймовірність критерію	0,074	$3,201 \cdot 10^{-17}$	0,0205	0,167	0,82	0,456

Коефіцієнт кореляції свідчить про наявність зв'язку та впливу визначених факторів на ІР, але його значення не дає змогу стверджувати про адекватну оцінку такої моделі. Для найбільш кращого результату необхідно здійснити регресійний аналіз без урахування параметри, які не впливають на ІР ТЗ (табл. 4).

Таблиця 4

Результати оцінки впливу параметрів на ІР ТЗ для крупніших міст

Показники	Значення
Коефіцієнт множинної кореляції	0,634
Середня помилка апроксимації, %	0,354
Кількість спостережень, од.	89

Отриманий результат моделювання дозволяє стверджувати, що чисельність населення P та відстань до центру міста L мають значний вплив на величину транспортної потужності ТП для великих міст. Оскільки наявність впливу кількості мешканців населеного пункту є важливою, доцільно провести додаткову перевірку для інших груп

поселень. Це дозволить оцінити вплив чисельності населення з точки зору його зменшення, враховуючи найбільш важливі фактори, що впливають на інтенсивність руху (табл. 5).

Таблиця 5

Імовірності критерію оцінки для коефіцієнтів моделей різних груп міст

Групи поселень	Ймовірність критерію		
	a_0	a_1	a_2
Найзначніші (крупніші)	0,01952	0,03117	0,00259
Значніші (крупні)	0,24026	$1,84 \cdot 10^{-5}$	$5,51 \cdot 10^{-5}$
Великі	0,01773	0,50780	$1,41 \cdot 10^{-12}$
Середні	0,00069	0,61849	0,025935
Малі	0,01551	$5,73 \cdot 10^{-5}$	0,00295

Згідно з результатами оцінки значимості параметрів для середніх і великих міст, чисельність населення має менший вплив на інтенсивність руху порівняно з відстанню до міста. Це свідчить про те, що відстань до міста є більш важливим фактором, що визначає величину транспортної потужності ТП на досліджуваних ділянках доріг (табл. 6).

Таблиця 6

Результати оцінки впливу параметрів на N

Групи поселень	Коефіцієнт множинної кореляції	Середня помилка апроксимації, %	Кількість спостережень, од.
Найзначніші (крупніші)	0,6709	0,1174	89
Значніші (крупні)	0,6505	0,2413	111
Великі	0,5971	0,2388	182
Середні	0,5965	0,0238	133
Малі	0,6268	0,0976	198

Для отримання збільшення кореляційного зв'язку необхідно провести розрахунок згідно з запропонованим підходом, використовуючи логарифмічну залежність N' , перетворену без урахування параметрів, які не впливають на інтенсивність руху ТЗ (табл. 7). Це дозволить більш точно оцінити вплив основних факторів на ІР ТЗ, підвищивши кореляційний зв'язок і точність моделювання. За результатами розрахунків спостерігається зменшення впливу чисельності населення для великих та, особливо, середніх міст.

Результати оцінки впливу параметрів на N'

Групи поселень	Коефіцієнт множинної кореляції	Середня помилка апроксимації, %	Кількість спостережень, од.
Найзначніші (крупніші)	0,9669	0,9334	89
Значніші (крупні)	0,9843	0,9684	111
Великі	0,9841	0,9684	182
Середні	0,9916	0,9831	113
Малі	0,9832	0,9664	198

Застосування перетворених значень дозволяє отримати модель, яка демонструє найбільшу тісноту зв'язку між факторами, що впливають на інтенсивність руху транспортного потоку, та їх математичний опис для всіх груп поселень. Цей підхід дає змогу більш точно оцінити значення ІР ТЗ, враховуючи різні фактори, і забезпечити коректне прогнозування інтенсивності руху в залежності від специфіки міста та його розміру. Математичний опис для усіх груп поселень перетвореного значення N' має наступний вигляд:

– крупніші міста

$$N' = \text{Log}_L N = 1,7108 + 0,00004 \cdot P + 22,969 \cdot \frac{1}{L}; \quad (8)$$

– крупні міста

$$N' = \text{Log}_L N = 1,535 + 0,00037 \cdot P + 20,645 \cdot \frac{1}{L}; \quad (9)$$

– великі міста

$$N' = \text{Log}_L N = 1,644 + 0,00023 \cdot P + 20,592 \cdot \frac{1}{L}; \quad (10)$$

– середні міста

$$N' = \text{Log}_L N = 1,624 + 0,00018 \cdot P + 20,768 \cdot \frac{1}{L}; \quad (11)$$

– малі міста

$$N' = \text{Log}_L N = 1,462 + 0,00288 \cdot P + 20,043 \cdot \frac{1}{L}. \quad (12)$$

Результати розрахунків вказують на значно кращий результат між параметрами моделей, що дозволяє зробити висновок про можливість застосування запропонованого підходу для прогнозування ІР. Це підтверджує ефективність використання цього підходу для точнішого оцінювання інтенсивності руху транспортних потоків в залежності від різних факторів, таких як чисельність населення та відстань до центру міста, що має важливе значення для планування та оптимізації транспортної інфраструктури.

Враховуючи, що кожен населений пункт має зону впливу, в межах якої інтенсивність руху автомобілів збільшується при наближенні до цього пункту, необхідно розглядати варіанти залежностей інтенсивності руху залежно від особливостей розташування населених пунктів.

У загальному випадку, коли зони впливу сусідніх населених пунктів не перетинаються, інтенсивність руху може бути окремо визначена для кожної зони, застосовуючи функціональну залежність на основі даних обліку руху. У цьому випадку кожна зона впливу буде мати свій внесок в загальну інтенсивність руху (рис. 10).

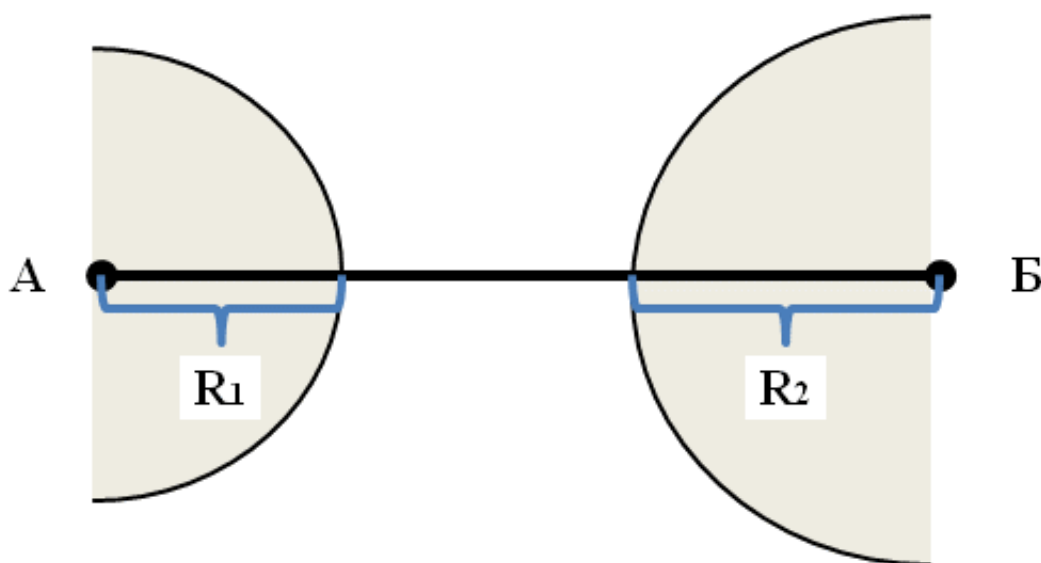


Рис. 10. Загальний випадок розташування зон впливу

Однак, коли зони впливу сусідніх населених пунктів перетинаються, інтенсивності руху на спільних ділянках слід підсумовувати, що дозволяє врахувати комбінований ефект обох пунктів на потік транспорту. Такий підхід дозволяє більш точно моделювати транспортні потоки, зокрема на межах зони впливу.

У разі перетину зон впливу (рис. 11) необхідно враховувати цей комбінований вплив для точнішого визначення інтенсивності руху на відповідних ділянках дороги, що може мати значення при розрахунках для планування та оптимізації дорожнього руху в межах та навколо великих населених пунктів.

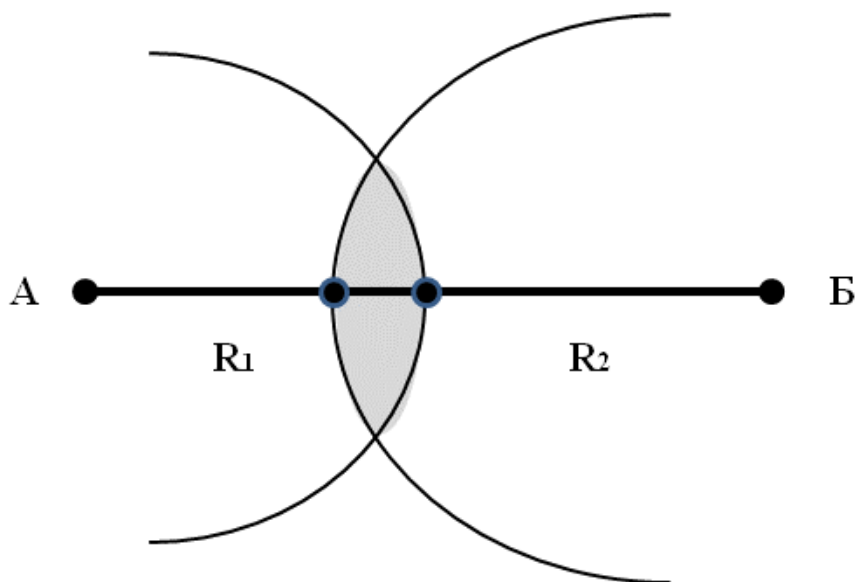


Рис. 11. Випадок перетинання зон впливу сусідніх населених пунктів

Після проведення моделювання та розрахунків інтенсивності руху, необхідно здійснити коригування значень з урахуванням зон впливу населених пунктів. Це важливо для точності прогнозування ІР, оскільки зона впливу кожного населеного пункту може суттєво змінювати показники інтенсивності руху. Особливо це стосується ситуацій, коли є потреба розрахувати ІР між двома кореспондуючими пунктами, де необхідно врахувати, зокрема, чисельність населення, оскільки вона безпосередньо впливає на величину ІР.

Крім того, інтенсивність руху між населеними пунктами також може залежати від адміністративного значення даних пунктів. Це дозволяє врахувати ступінь їх значущості в контексті міжміського сполучення. Для цього можна визначити коефіцієнт зв'язності між двома пунктами, який обчислюється з урахуванням їх адміністративного статусу та підпорядкованості. Коефіцієнт зв'язності між i -тим та j -тим кореспондуючими населеними пунктами може бути визначатись у відповідності з табл. 8, що дозволить адаптувати модель до специфіки кожного населеного пункту.

Значення коефіцієнта зв'язаності в залежності від адміністративного значення населених пунктів

Адміністративне значення першого населеного пункту	Значення коефіцієнту в залежності з прив'язкою до другого адміністративного населеного пункту			
	Великі міста та обласні центри	Районні центри	Малі міста і смт	Села
Великі міста та обласні центри	-	1,0	0,7	0,4
Районні центри	1,0	0,7	0,3	0,3
Малі міста і смт	0,7	0,3	0,1	0,1
Села	0,4	0,1	0,1	0,1

Хоча цей підхід є більш спрощеним, він може суттєво покращити точність розрахунку інтенсивності руху в рамках моделювання IP, дозволяючи отримати більш точні прогностні значення для міжміських транспортних потоків.

Визначення зон впливу населених пунктів можна здійснити за допомогою математичної екстраполяції з використанням рівнянь функцій різних типів, таких як лінійна, логарифмічна, поліноміальна, степенева та експоненціальна функції. Кожен з цих підходів має свої переваги та специфічні застосування залежно від характеру залежностей, які потрібно описати.

Згідно запропонованої методики, для визначення радіусу зони впливу найбільш доцільним є використання ступеневої функції. Ступенева функція дозволяє описати більш складні залежності, які можуть бути характерні для зони впливу, де інтенсивність руху змінюється не лінійно, а за певним ступенем, що може бути обумовлено багатьма факторами, зокрема, характеристиками міста, його економічною активністю, транспортною інфраструктурою тощо.

Відповідно до запропонованої методики визначення радіусу зони впливу доцільно використовувати ступеневу функцію

$$R = a \cdot P^b, \quad (13)$$

де a , b – коефіцієнти регресійної моделі.

При визначенні показників регресійної моделі запропоновано використовувати моделі, які отримані в результаті експериментальних досліджень. Доцільність використання моделей основане на застосуванні залежності саме відстані до міста та фактичного значення ІР, яке є основою для визначення радіусу зони впливу.

Згідно визначеного впливу відстані до населеного пункту на величину ІР ТЗ з використанням логарифмічного перетворення для проведення регресійного аналізу ця функція набуває вигляду

$$\text{Log}_L N = f\left(\frac{1}{L}\right). \quad (14)$$

При такому розгляді залежність $\text{Log}_L N$ виступає показником, який характеризує саме ступінь впливу міста на ІР. Його розгляд стосовно показника тяжкості сполучення відносно міста дає можливість проаналізувати в якому порядку він буде максимальний.

Оцінка проведеного аналізу для різних груп міст (табл. 9) показала, що коефіцієнт кореляції перевищує 0,9, що дає можливість застосування запропонованої моделі для розрахунку радіусу зони впливу для населених пунктів з різною чисельністю населення.

Таблиця 9

Результати оцінки ступеню впливу міст

Групи поселень	Коефіцієнт множинної кореляції	Середня помилка апроксимації, %	Кількість спостережень, од.
Найзначніші (крупніші)	0,98439	0,07981	89
Значніші (крупні)	0,97305	0,08694	111
Великі	0,96143	0,09678	182
Середні	0,95268	0,11652	133
Малі	0,96548	0,09763	198

Таким чином, для міст з різною чисельністю населення, модель показує сильний зв'язок між відстанню до міста та інтенсивністю руху, що дозволяє точно розрахувати зону впливу та оцінити її параметри для планування транспортної інфраструктури. Враховуючи значення коефіцієнта кореляції, така модель є надійною для прогнозування ІР ТЗ в залежності від характеристик населених пунктів і їх розташування на транспортній мережі.

Після перетворення лінійної функції в ступеневу була отримана модель для розрахунку радіусу зони впливу:

– крупніші міста

$$R = 8,216 \cdot P^{0,351}; \quad (15)$$

– крупні міста

$$R = 6,029 \cdot P^{0,377}; \quad (16)$$

– великі міста

$$R = 8,441 \cdot P^{0,282}; \quad (17)$$

– середні міста

$$R = 8,214 \cdot P^{0,265}; \quad (18)$$

– малі міста

$$R = 5,213 \cdot P^{0,372}. \quad (19)$$

Визначення частки маятникового руху при проектуванні автомобільних доріг загального користування є важливим етапом для забезпечення ефективності транспортної інфраструктури. Оскільки довжина зони тяжіння для відповідної групи поселень приймається 100 км, це дозволяє врахувати основні фактори впливу на інтенсивність руху та планування доріг в межах цього радіусу.

Фактори, визначені експериментальними дослідженнями, включаючи відстань до міста та чисельність населення, дійсно мають значний вплив на величину ІР громадського транспорту. Це дає змогу точно моделювати та прогнозувати транспортні потоки, враховуючи специфіку різних категорій міст, їх чисельність і адміністративну підпорядкованість (обласні чи районні центри).

Застосування запропонованої методики для різних груп міст дозволить більш ефективно оцінити та оптимізувати транспортні потоки, сприяючи покращенню транспортної інфраструктури, яка відповідає специфічним потребам кожного населеного пункту.

Як було зазначено згідно теоретичних досліджень для отримання величини ІР перехід до змодельованого значення N можливо за допомогою математичного виразу цієї величини згідно отриманої регресійної моделі враховуючи параметри моделі, які виявились значимими згідно регресійного аналізу. Відповідно до цього для отри-

мання змодельованої величина N для різних груп населених пунктів буде мати наступний вигляд:

– крупніші міста

$$N = e^{(1,7108+0,00004 \cdot P+22,969 \cdot \frac{1}{L}) \cdot L \cdot nL} . \quad (20)$$

– крупні міста

$$N = e^{(1,535+0,00037 \cdot P+20,645 \cdot \frac{1}{L}) \cdot L \cdot nL} . \quad (21)$$

– великі міста

$$N = e^{(1,644+0,00023 \cdot P+20,592 \cdot \frac{1}{L}) \cdot L \cdot nL} . \quad (22)$$

– середні міста

$$N = e^{(1,624+0,00018 \cdot P+20,768 \cdot \frac{1}{L}) \cdot L \cdot nL} . \quad (23)$$

– малі міста

$$N = e^{(1,462+0,00288 \cdot P+20,043 \cdot \frac{1}{L}) \cdot L \cdot nL} . \quad (24)$$

Максимальне значення розрахованої ІР складає 23697 авт./доб. зафіксована інтенсивність складає 21174 авт./доб., що при розрахунку відхилення цих значень складає 11 %. Дана ділянка розташована на відстані 5 км від Києва, що пояснює максимальну величину ІР. В табл. 10 представлені максимальні та середні значення розрахункових даних для різних поселень.

Таблиця 10

Результати моделювання інтенсивності руху

Групи поселень	Величина N по моделі, авт./доб.		
	Максимальна	Середня	Мінімальна
Найзначніші (крупніші)	23697	10828	6589
Значніші (крупні)	20957	9035	4165
Великі	14783	6245	4724
Середні	9182	5617	4924
Малі	8151	4293	2070

Максимальні відхилення, які перевищують 20 %, можуть бути пояснені тим, що фактичні дані для окремих ділянок не завжди від-

повідують реальному стану, зокрема на завантажених ділянках, де пропускна здатність доріг менша за потік транспортних засобів. Це є обмеженням моделювання, яке базується лише на чисельності населення, оскільки такі ситуації не можуть бути враховані без врахування інших чинників.

Для більш точного моделювання необхідно враховувати додаткові параметри, такі як об'єкти тяжіння для транспортних потоків, що можуть бути визначені на рівні місцевих органів управління з використанням детальнішої інформації про інфраструктуру та розвиток територій.

Незважаючи на значні відхилення на окремих ділянках, загальна тенденція зростання інтенсивності руху по мірі наближення до міста зберігається для різних категорій доріг, на яких розташовані міста з різною чисельністю населення. Це підтверджує дієвість запропонованої методики для прогнозування ІР, хоча для покращення точності модель повинна бути розширена з урахуванням більш детальної інформації про інфраструктуру.

Приклад розподілу ІР по основним категоріям доріг (міжнародним, національним та регіональним) представлений на рис. 12–17, що демонструє залежність інтенсивності руху від типу дороги та її взаємозв'язку з категорією транспортних засобів.

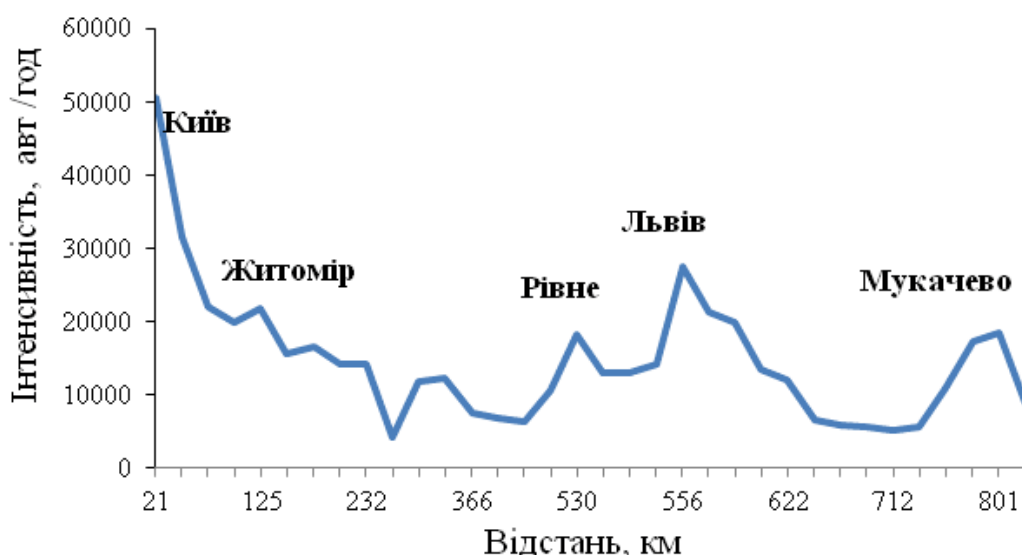


Рис. 12. Інтенсивність руху по моделі траса М-06

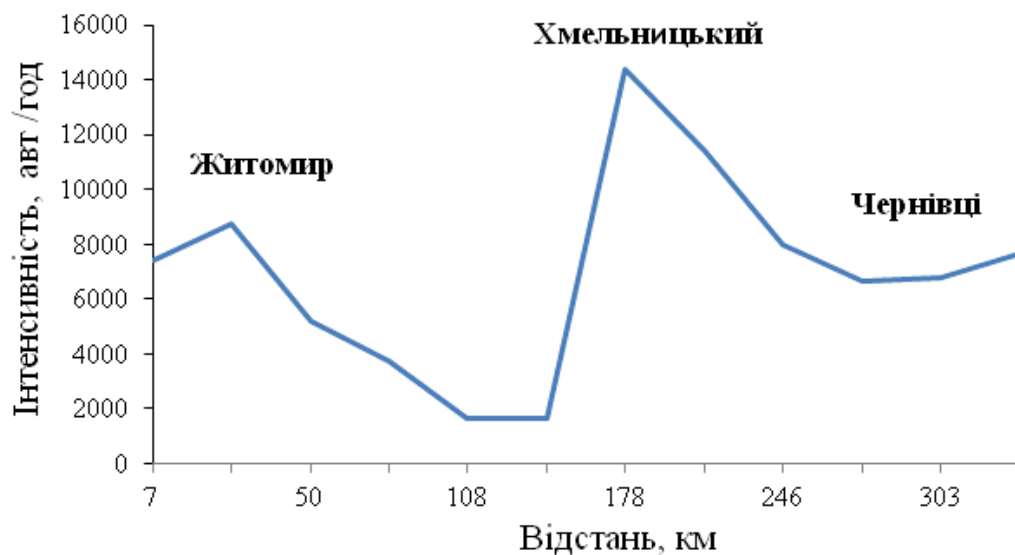


Рис. 13. Інтенсивність руху по моделі траса Н-03

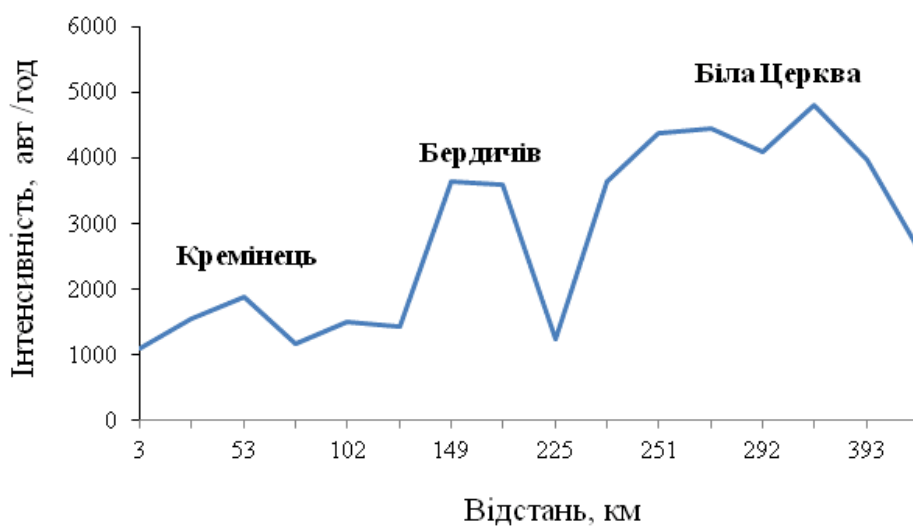


Рис. 14. Інтенсивність руху по моделі траса Р-32

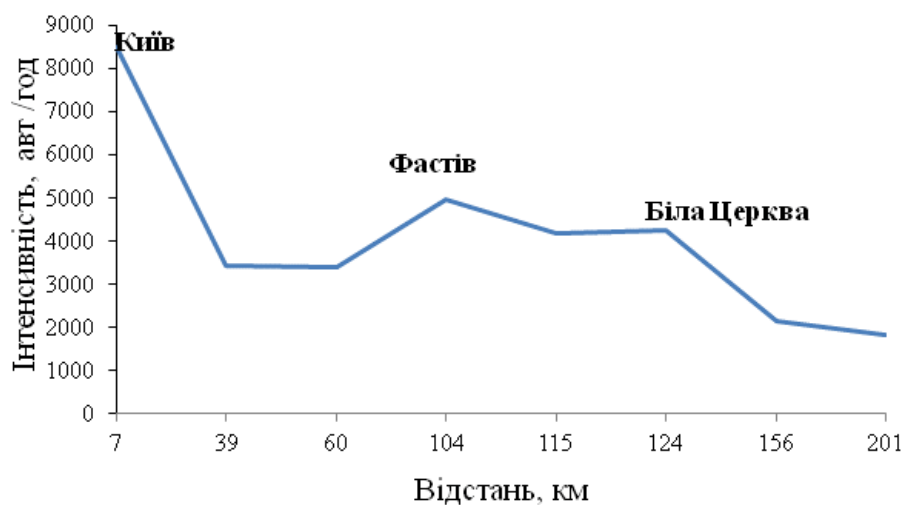


Рис. 15. Інтенсивність руху по моделі траса Р-04

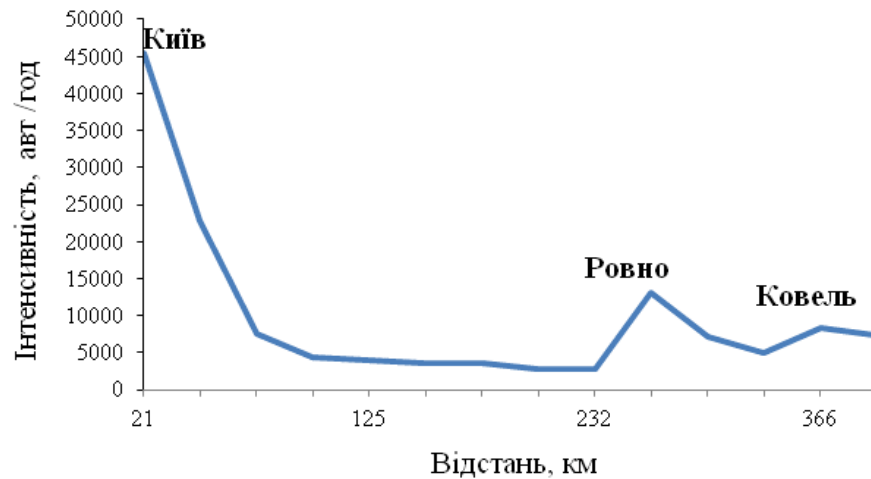


Рис. 16. Інтенсивність руху по моделі траса М-07

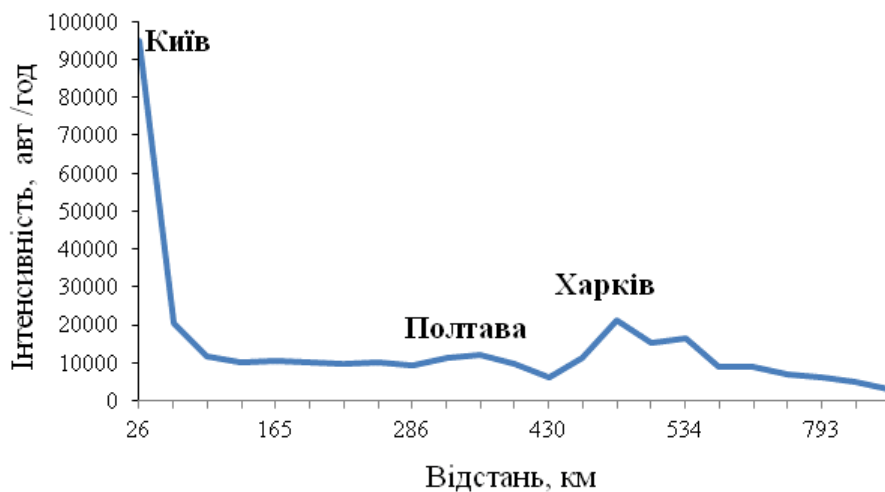


Рис. 17. Інтенсивність руху по моделі траса М-03

Відповідно до запропонованої методики можливо отримати моделі ІР для різних категорій транспортних засобів, які були також отримані при фіксуванні транспортних потоків на мережі міжнародних, національних та регіональних доріг України.

Згідно розрахунків отримані моделі для різних категорій транспортних засобів:

– вантажні автомобілі

$$N' = \text{Log}_L N = 0,98 + 12,55 \cdot P + 18,48 \cdot \frac{1}{L}; \quad (25)$$

– легкові автомобілі

$$N' = \text{Log}_L N = 1,334 + 11,21 \cdot P + 19,79 \cdot \frac{1}{L}; \quad (26)$$

– автобуси

$$N' = \text{Log}_L N = 0,98 + 9,59 \cdot P + 12,55 \cdot \frac{1}{L}. \quad (27)$$

За наведеною методикою були розраховані прогнознi значення ІР для відповідних категорій ТЗ (табл. 11).

Таблиця 11

Результати оцінки впливу параметрів L та P для різних категорій ТЗ

Показники	Значення		
	вантажівки	легкові	автобуси
Коефіцієнт множинної кореляції	0,96	0,95	0,92
Середня помилка апроксимації, %	0,34	0,36	0,45
Кількість спостережень, од.	713	713	710

На підставі отриманих моделей були визначені частки відповідних категорій ТЗ на конкретних ділянках автомобільних доріг загального користування в складі ІР залежно від відстані до населеного пункту (рис. 18).

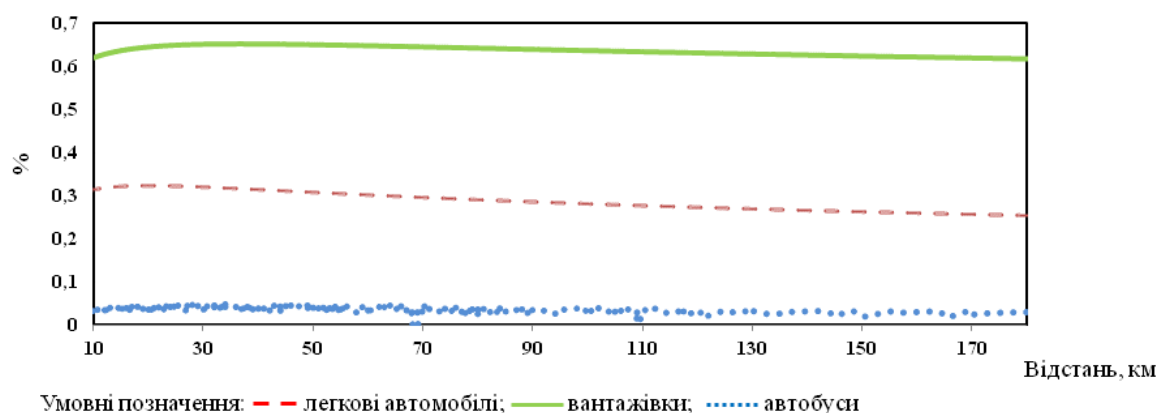


Рис. 18. Розподіл складу транспортного потоку

Наступним кроком було визначення відхилення між часткою фактичного значення ІР для категорій ТЗ та згідно розрахованих по моделі. Максимальне відхилення значень частки ТЗ від фактичних значень для громадського транспорту складає 0,6 %, для індивідуального транспорту – 0,4 %, для вантажного – 2,4 %.

Для оцінки ефективності розрахованих даних також був розрахований коефіцієнт варіації (табл. 12).

Статистична характеристика складу ТЗ

Показник	Частка категорії ТЗ		
	автобуси	легкові	вантажівки
Мінімум	0,000	0,584	0,252
Середнє	0,035	0,637	0,306
Максимум	0,049	0,651	0,351
Коефіцієнт варіації	0,196	0,027	0,057

Значення коефіцієнта варіації для всіх типів ТЗ не перевищує 20 %, що свідчить про низький рівень варіативності та підтверджує стабільність отриманих моделей. Це означає, що відхилення від середнього значення інтенсивності руху є незначним, що в свою чергу підтверджує точність запропонованих моделей.

Загальний розподіл складу транспортних потоків, що був отриманий у результаті моделювання, відповідає фактичним значенням ІР транспортних потоків, що також підтверджує ефективність запропонованого підходу. Моделі ІР для різних категорій ТЗ відображають тенденцію зростання інтенсивності транспортних потоків при наближенні до населеного пункту, що погоджується з гіпотезою про вплив міста та таких факторів, як відстань до міста та чисельність населення. Це дозволяє зробити висновок про правильність розподілу транспортного потоку між різними категоріями ТЗ в залежності від характеру поселення.

Запропонований підхід для моделювання інтенсивності руху ТЗ з урахуванням відстані до міста та чисельності населення як основних факторів впливу показує суттєві результати в прогнозуванні транспортних потоків. Оцінка цих факторів і їх вплив на ІР дозволяє створити ефективну модель, яка враховує не лише фізичні характеристики дороги, але й особливості соціально-економічної ситуації в містах.

Розгляд відстані до міста та чисельності населення як факторів, що характеризують тяжкість сполучення між містом і ділянкою дороги, показав значний зв'язок між цими параметрами та інтенсивністю руху. Найбільш точний зв'язок спостерігається при логарифмічному перетворенні відстані, що забезпечує адекватне врахування впливу міста на транспортний потік.

Прогнозні значення для різних категорій транспортних засобів показують відповідність фактичним даним, з незначними відхиленнями для громадського (0,6 %), індивідуального (0,4 %) та вантажно-

го (2,4 %) транспорту. Це свідчить про високий рівень точності запропонованої методики моделювання інтенсивності руху.

Список літератури до підрозділу 2.2

1. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі : навчальний посібник. К.: Знання України, 2008. 175 с.
2. Лановий О.Т. Теоретичні основи та практичні методи забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг: дис. ... докт.техн. наук: 05.22.01 / Лановий Олександр Тимофійович. Київ: НТУ, 2016. 399 с.
3. Проектування автомобільних доріг : підручник. У 2 ч. / О. А. Білятинський, В. И. Заворицький, В. П. Старовойда, Я. В. Хомяк. К.: Вища школа, 1997. 518 с.
4. Вікович І.А. Теорія руху транспортних засобів : підручник / Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 672 с.
5. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 91 с.
6. Потійчук О.Б., Піліпака Л.М. Транспортні розв'язки: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2020. 263 с.
7. Кашканов А. А., Кужель В. П. Організація дорожнього руху : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 125 с.
8. Методичні рекомендації з визначення існуючої та прогнозування перспективної інтенсивності руху : МР А.2.1-218-02070915-729:2008. Київ: НТУ, 2008. 25 с.
9. Методика економічних вишукувань для проектування автомобільних доріг: М 218-05416892-409-2004. Київ: Укрдіпродор, 2004. 34 с.
10. Розроблення методики прогнозування автотранспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування державного значення та розроблення вимог до даних, що використовуються при прогнозуванні, порядку їх збирання і обробки, вимоги до вихідних даних прогнозів для занесення до Єдиної інформаційної геобаз даних автомобільних доріг України: Звіт про ДКР (проміжний) / Державне агентство автомобільних доріг України, ХНАДУ; № держ. реєстрації 0114U004631. Харків, 2015. 99 с.
11. Літнарівич Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу : навчальний посібник. Рівне: МЕРУ, 2011. 140 с.

12. PTV Visum. *PTV Planung Transport Verkehr GmbH*: веб-сайт. URL: <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-visum>.
13. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування. Проект ДСТУ. Офіційний веб-сайт. URL: <https://www.tk307.in.ua/...content/.../projekt-DSTU-po-Intensivnosti>.
14. Майборода Р.Є. Регресія: Лінійні моделі : навчальний посібник / К.: ВПЦ «Київський університет», 2007. 296 с.
15. Горбачов П.Ф., Кочина А.А. Вплив поїздок у приміському сполученні на інтенсивність руху на автомобільних дорогах загального користування. *Вісник ХНАДУ*. 2016. № 72. С. 83–87.
16. Draper N. R., Smith H. *Applied Regression Analysis / 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons, 1998. 736 p.
17. Hocking R. R. *Methods and Application of Linear Models: Regression and Analysis of Variance / 3rd Edition*. Ishpeming: John Wiley & Sons, 2013. 720 p.

Наукове видання

**ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ:
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ПЛАНУВАННЯ,
ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА АНАЛІЗУ**

Колективна монографія

Любий Євген Володимирович, Свічинська Ольга Володимирівна,
Токмиленко Тетяна Томівна, Чижик Віталій Михайлович,
Горбачов Петро Федорович, Свічинський Станіслав Валерійович,
Кочина Анастасія Анатоліївна

ISBN 978-617-7886-79-1. DOI: 10.61718/tsl2025m1

Видання українською мовою
Авторські аркуші – 11,0
Видавець СГ НТМ «Новий курс» (наукова установа)
+380970440309
Сайт: www.newroute.org.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції: ДК № 8013 від 22.11.2023.

Зареєстровано у Global Register of Publishers. Ідентифікатор видавця 7886.

Зареєстровано у Crossref. Власний префікс 10.61718