

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

**А.А. Кочина,
С.В. Свічинський,
О.В. Макарічев**

**ФОРМУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ
У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ
НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Монографія

Харків
ХНАДУ
2021

Затверджено до видання Вченою Радою ХНАДУ, Дозвіл № 36/21/4.10 від 06.07.21

Р е ц е н з е н т и :

І.С. Наглюк, д.т.н., професор, завідувач кафедри організації і безпеки дорожнього руху
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет);

В.А. Войтов, д.т.н., професор, завідувач кафедри транспортних систем і логістики
(Харківського національного технічного університету
сільського господарства ім. П. Василенка);

Ю.О. Давідіч, д.т.н., професор, професор кафедри транспортних системи і логістики
(Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова)

Колектив авторів:

Кочина А.А., к.т.н., старший викладач кафедри транспортних систем і логістики
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет);

Свічинський С.В., к.т.н., доцент кафедри транспортних систем і логістики
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет);

Макарічев О.В., д.ф.-м.н., професор, кафедри транспортних технологій і технічного сервісу
(Національний університет водного господарства та природокористування)

Кочина А.А.

К 17 Формування пасажиропотоків у приміському сполученні на автомобільному транспорті: монографія / А.А. Кочина, С.В. Свічинський, О.В. Макарічев. – Харків : ХНАДУ, 2021. – 128 с.

ISBN 978-966-303-774-5

Представлені результати теоретичних та експериментальних досліджень формування пасажиропотоків у приміському сполученні та їх використання для моделювання попиту на перевезення громадським транспортом для міських агломерацій.

Для інженерно-технічних робітників, вчених та аспірантів, діяльність яких пов'язана з транспортним моделюванням та плануванням роботи громадського транспорту.

Іл. 37. Табл. 16. Бібліогр. 142 назви.

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований формирования пассажиропотоков в пригородном сообщении и их использования для моделирования спроса на перевозки общественным транспортом для городских агломераций.

Для инженерно-технических работников, ученых и аспирантов, деятельность которых связана с транспортным моделированием и планированием работы общественного транспорта.

Ил. 37. Табл. 16. Библиограф. 142 назв.

УДК 656.072

ISBN 978-966-303-774-5

© Кочина А.А., Свічинський С.В., Макарічев О.В., 2021

© ХНАДУ, 2021

ВСТУП

По мірі розвитку соціально-економічної сфери, транспортної інфраструктури й системи розселення збільшуються взаємовплив та взаємозв'язок міста з його оточенням, зростає дальність трудових і культурно-побутових поїздок, виробничих та інших зв'язків. У сучасних умовах місто та його оточення доцільно розглядати як багатофункціональну соціально-економічну систему, яка складається з адміністративних районів, прилеглих до центральної ділової та культурної частини поселення. Кількість пересувань мешканців приміської зони до міста залежить від багатьох факторів, основними з яких є: характер системи розселення населення, розташування місць праці в зоні впливу міста-центру і його оточення; рівень розвитку транспортної інфраструктури взаємопов'язаної з системою розселення та багато інших. У свою чергу основною характеристикою пересувань є попит на послуги транспорту загального користування, який є основним постачальником транспортних послуг в Україні.

Закономірності формування пересувань також є результатом реалізації потреб населення в умовах заданої транспортної пропозиції та проявляються в розподілі дальності пересувань мешканців приміської зони. Ураховуючи особливості формування пересувань та фактори, які впливають на їх кількість у приміському сполученні, актуальною є розробка моделі потреб населення в пересуваннях, що враховує існуючі закономірності пересувань. При визначенні потреб у пересуванні необхідно враховувати, що місто, як основний пункт тяжіння, суттєво впливає на кількість пересувань для мешканців приміської зони.

Більшість існуючих підходів і методів визначення потреб у пересуваннях у приміському сполученні не враховують імовірнісний характер формування пересувань та вплив міста, в напрямку якого здійснюються пересування, і його характеристик, та обмежують зону впливу міста межами дії приміського сполучення. Оцінити вплив міста на кількість пересувань у приміському сполученні можливо при визначенні закономірностей у формуванні інтенсивності руху (ІР) громадського транспорту (ГТ) в залежності від факторів, які характеризують населені пункти, що утворюють агломерацію.

Визначення закономірностей просторового розподілу пересувань міського населення з точки зору виникнення нових об'єктів тя-

жіння в напрямі від центральної частини до околиці міст створює основу для припущення існування таких закономірностей і за територією міста. У цьому випадку закономірності на території міста та приміського сполучення повинні мати спільний характер, але виникає задача визначення тієї частини цих спільних закономірностей, яка буде описувати закономірності просторового розподілу пересувань у приміському сполученні.

Монографія присвячена вирішенню науково-прикладної задачі визначення потреб у перевезеннях пасажирів ГТ на основі встановлених закономірностей розподілу відстаней пересувань у приміському сполученні. Перший розділ монографії присвячений аналізу факторів, які впливають на величину пасажиропотоку в приміському сполученні, та існуючих підходів до визначення потреб у пересуваннях на території, що оточує місто, вивченню сучасних моделей розрахунку матриці пасажирських кореспонденцій (МПК).

У другому розділі сформовані теоретичні основи визначення впливу характеристик населених пунктів на ІР транспортних потоків (ТП) у приміському сполученні, виникнення закономірностей у характеристиках транспортної мережі (ТМ) ГТ на основі просторового розташування інфраструктури ГТ та надано теоретичне обґрунтування можливості використання закономірностей розподілу відстані поїздок у приміському сполученні, які є продовженням закономірностей на території міста, при розрахунку МПК. Припущення про загальний характер закономірностей розподілу пересувань для мешканців міста та приміської зони є основною гіпотезою досліджень. Підтвердження основної гіпотези досліджень надає можливість визначати закономірності у пересуваннях мешканців приміської зони, спираючись на міські закономірності.

У третьому розділі проведені експериментальні дослідження впливу населених пунктів на ІР у приміському сполученні, закономірностей розташування зупиночних пунктів (ЗП) на території міста та навколо нього та закономірностей у відстанях пересувань навколо обласного центру, який є центром міської агломерації.

У четвертому розділі розроблена методика визначення МПК на основі закономірностей у відстанях поїздок пасажирів з території, що оточує місто, здійснено її практичну реалізацію на прикладі м. Харкова і Харківської області та надано рекомендації щодо застосування розробленої методики на практиці.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МОДЕЛЮВАННЯ ПОПИТУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ПАСАЖИРІВ У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ

1.1 Сучасний стан системи перевезень пасажирів у приміському сполученні в Україні

Робота транспортної системи країни залежить від багатьох факторів, які визначаються територіальними особливостями країни, соціально-економічними показниками, якістю організації технологічного процесу, наявністю різних видів транспорту та інше. Однією з підсистем транспортної системи країни є пасажирська транспортна система. Пасажирська транспортна система України складається з різних видів транспорту загального користування. Згідно статистичних даних [1], основними видами транспорту, які здійснюють перевезення пасажирів, є залізничний та автомобільний транспорт, при цьому обсяги перевезення на автомобільному транспорті значно більші, ніж на залізничному. Обсяг перевезення (відправлення) пасажирів для транспорту загального користування, зокрема залізничного та автомобільного (автобусів), складає відповідно 0,39 млн. пас. і 2,02 млн. пас. Це може бути пояснене тим, що вагома інтенсивність перевезень на автомобільному транспорті здійснюється в межах міста, а залізничний транспорт обслуговує великі обсяги за межами міста в приміському та міжміському сполученнях.

На сьогодні чисельність постійного населення України складає в містах та селищах міського типу 69 % і практично третина населення – понад 31 % – проживають у сільській місцевості [1]. Причому кількість мешканців, які проживають в різних регіонах України в сільській місцевості коливається від 19,4 % (Харківська область) до 63,3 % (Закарпатська область). Як наслідок – приміські перевезення займають друге місце за масовістю (більше 14 % загальних обсягів) після міських перевезень [2, 3]. Тому вдосконалення системи перевезення пасажирів у приміському сполученні є дуже актуальною задачею.

Нормативно-правова база у сфері надання послуг пасажирських перевезень в Україні регулюється низкою законів, документів і постанов [4-13]. Відповідно до [4] приміський автобусний маршрут з'єд-

нує населені пункти і його протяжність не повинна перевищувати 50 км. Але на практиці не завжди виконується дана умова.

У сучасних умовах усе частіше спостерігається тенденція, коли частина мешканців міста надає перевагу проживанню за межею міста, у так званих передмістях, тобто на прилеглих територіях до основного міста. Приміська зона формується під впливом процесу «субурбанізації» – процес росту та розвитку приміської зони великих міст [14], у результаті чого формуються міські агломерації – взаємозалежні групи поселень (насамперед міські), об'єднані різними видами зв'язків (трудові, виробничі, рекреаційні, інфраструктурні та ін.) у динамічні системи. Завдяки цьому починається більш швидкий розвиток передмість (насамперед демографічний) у порівнянні з центральним містом [15]. Передмістя починають розвиватися за рахунок центрального міста: відбувається інтенсивне переселення міських жителів з центрального міста в приміську зону, перенесення туди промислових, соціальних та інших об'єктів функціонального призначення. У свою чергу більшою мірою населення із приміських населених пунктів намагається працевлаштуватись та отримати освіту відповідного рівня в місті, тим самим викликаючи щоденні маятникові поїздки з дому на роботу чи на навчання [16]. Тобто між містом та його оточенням здійснюється постійна взаємодія, яка реалізується через їх взаємозв'язки. Одним з важливих чинників цієї взаємодії є переміщення населення, такі переміщення носять як доцентровий, так і відцентровий характер.

Процес субурбанізації є подальшим етапом розвитку процесу урбанізації [14 - 16], а необхідною умовою для обох цих процесів є розвиток транспортної системи. Особливої уваги в цьому розвитку потребує ефективне управління пасажирською транспортною системою, яке повинно базуватись на визначенні потреб населення в транспортних пересуваннях.

Зараз виділяють 23 найбільш великих агломерацій в Україні, які об'єднані не тільки територіально, а мають економічні, культурно-побутові та соціальні зв'язки. Для моноцентричних агломерацій [17] характерна маятникова міграція населення, тобто щоденні поїздки на роботу та навчання. Ці поїздки повинні здійснюватись не менш ніж десятою частиною населення з населеного пункту проживання до центру агломерації та назад. Тільки в цьому випадку можливо говорити про існування постійних зв'язків між містом та його оточенням.

1 – м. Харків
2 – приміська зона

1 – м. Харків
2 – території з високим рівнем агломерації
3 – території з середнім рівнем агломерації

1 – м. Харків
2 – території Харківської
групової системи
населених місць

6

З цього прикладу розгляд дії приміського сполучення на території приміської зони може бути розширений до меж, визначених згідно обраних критеріїв для міських агломерації. Не викликає сумнів, що на розмір та межі міських агломерацій впливає місто, як основний пункт тяжіння. Тому питання визначення впливу міста на кількість пересувань у межах існуючої агломерації можливо віднести до питань, які визначають особливості формування потреб у пересуваннях у зоні дії приміського сполучення, яке забезпечує постійні зв'язки для пересування мешканців населених пунктів, що оточують місто. Особливої уваги заслуговує [4, 9] поняття міжобласних та внут-

рішньообласних маршрутів, які відносяться згідно термінів визначених на законодавчому рівні. Виділення цих понять пов'язано з організацією пасажирських перевезень органами виконавчої влади та органами самоврядування. До внутрішньообласних маршрутів відносяться маршрути, що не виходять за межі території області, що надає можливість розглядати даний вид сполучення на території, що оточує обласні центри. У цьому випадку приміські маршрути також можуть обслуговувати обласний центр в зоні дії приміського сполучення. Тобто обласний центр буде центром тяжіння для приміських та внутрішньообласних маршрутів, які його обслуговують.

З іншого боку, при здійсненні переміщень у приміському сполученні для пасажирів постійно виникає задача вибору відповідного виду транспорту. Така задача зводиться до вибору між залізничним, автомобільним, а також власним автомобільним транспортом, іноді автомобілями-таксі з міських стоянок або за передчасним замовленням. При цьому основними показниками при виборі виду транспорту є вартість поїздки, час пересування, а також надійність і зручність розкладу [20]. Перелічені показники можуть виступати, як оціночні показники ефективності пасажирської транспортної системи (ТС).

Приміське сполучення в сучасних умовах згідно [21-27] має ряд особливостей: у містах з чисельністю населення понад 1 000 тис. осіб від 50 % до 60 % загальних приміських перевезень виконує залізничний транспорт; у малих, середніх і великих містах переважна кількість пересувань у приміському сполученні здійснюється автомобільним транспортом загального користування; до основних видів пересувань у приміському сполученні належать трудові, ділові, культурно-побутові, а також рекреаційні поїздки; кількість пересувань у приміському сполученні характеризуються нерівномірністю за сезонами року (у літній період вони зростають).

Порівняно з міським сполученням приміські автобусні маршрути відзначаються [22, 27–30] великою нерівномірністю пасажирських перевезень і пасажиропотоків за різними напрямками та днями тижня, але величина пасажиропотоку значно менша, при цьому величина середньої відстань поїдки більша, щільність дислокації зупиночних пунктів менша, а розмір інтервалу руху більший.

Також приміське сполучення відзначається великою нерівномірністю пасажиропотоків за різними напрямками руху, вранці більша кількість пасажирів прямує в напрямку до міста, у зворотному на-

прямку пасажиропотік практично відсутній. У вечірній час більшість пасажирів повертається з міста й автобус завантажується у зворотному напрямку. Стосовно рекреаційних поїздок характерною рисою вихідних днів є масовий потік пасажирів, який прямує з міста до зон відпочинку й автобуси завантажуються в одному напрямку вранці. У вечірній період пасажиропотік прямує у зворотному напрямку й автобуси завантажуються також в одному напрямку.

Важливим поняттям при здійсненні пересувань у приміському сполученні є транспортна доступність. Визначення транспортної доступності в приміському сполученні ґрунтується на основі повноти охоплення населених пунктів приміської зони мережею автобусних маршрутів [25].

У процесі організації приміських автобусних перевезень згідно [25] варто брати до уваги розподіл міст і селищ міського типу за чисельністю населення та наближенням до міста, середню чисельність населення в містах і регіонах за групами, структуру розподілу населення за чисельністю. Потрібно зважати на розподіл переміщень приміського населення на трудові й культурно-побутові, а також інші види переміщень.

Науковці стверджують, що наразі спостерігається нагальна потреба в конкретних методиках, що дають змогу кількісно ув'язати попит на перевезення в приміському сполученні з пропозицією транспортних послуг, оцінити вплив на нього різних груп факторів. Вказані методики необхідні для теоретичного опису та вирішення практичних завдань управління пасажирською транспортною системою (ТС) на рівні транспортних підприємств, державних органів міських і обласних адміністрацій. Вони уможливають виявлення ключових факторів, від яких залежить ефективність та якість функціонування ТС [9, 31].

1.2 Аналіз існуючих підходів до визначення попиту на перевезення пасажирів у приміському сполученні

Ефективне управління пасажирською транспортною системою повинно базуватись на коректному описі потреб населення в транспортних пересуваннях. У свою чергу, підходи до моделювання попиту на послуги транспорту загального користування, який є основним постачальником транспортних послуг у регіонах України, залежить

від шляхів реалізації попиту як основної характеристики пересувань [30]. Закономірності та умови формування пересувань також є результатом реалізації потреб у пересуваннях для забезпечення матеріальними ресурсами, інформацією, здійснення побутових потреб та ін., що виконується в рамках заданої транспортної пропозиції, так званої транспортної доступності [31]. Тобто якщо розглядати специфіку послуг пасажирського транспорту, здебільшого вони визначають особливості попиту на них, водночас процес надання транспортних послуг пасажирам є основою формування пасажиропотоків [24]. Пасажиропотоки, зі свого боку, є наслідком задоволення попиту населення на транспортні пересування.

Джерелом визначення величини пасажиропотоку є транспортна рухомість населення [28-35]. Серед факторів, які впливають на величину транспортної рухомості в приміському сполученні [35-40], виділяють від соціально-культурного рівня жителів, просторово-часових характеристик зон проживання та роботи до конкретних історичних умов, що впливають на формування, зростання або зниження показника рухомості населення. Водночас на формування попиту населення впливають транспортна доступність та характеристики транспортної системи [41-48]. Також важливим фактором, який впливає на попит населення, є рівень автомобілізації населення, який залежить від так званого соціально-культурного або соціально-економічного розвитку населення. На соціальний та економічний рівень населення впливає розмір доходу населення або матеріальний добробут, розмір національного доходу, тарифи (вартість) проїзду [29].

Результати аналізу літературних джерел свідчать, що на величину попиту впливає безліч факторів як внутрішнього, так і зовнішнього характеру. Якщо розглядати особливості приміського сполучення, то серед основних показників, які впливають на попит, можливо виділити чотири групи, рис 1.2.

Перша група, у якій основним показником, що визначає величину попиту в пересуваннях є транспортна рухомість населення. Однією із головних ознак класифікації є мета пересування, яка в приміському сполученні, крім постійних маятникових переміщень має, постійні побутові і культурні переміщення в місто у разі відсутності побутових об'єктів, які розташовані у приміській зоні. Також особливе місце займають поїздки на відпочинок та садові ділянки

мешканців міста, які відносяться до рекреаційних переміщень. Такий розподіл мети поїздок визначає просторові-часові характеристики зон проживання та роботи. Окремо можливо розглядати соціально - культурний рівень населення, якщо є можливість визначити та оцінити цей показник.



Рис. 1.2. Формування попиту в приміському сполученні

Друга група залежить від характеру та змісту системи розселення мешканців приміської зони. У ній насамперед повинні враховуватися характеристики міста, які можуть впливати на кількість пересувань та просторове розташування населених пунктів відносно міста. В окрему групу можливо виділити дані та показники, які характеризують рівень розвитку транспортної інфраструктури, і визначають так звані організаційні фактори та створюють транспортну пропозицію. Враховуючи, що частина поїздок здійснюється на індивідуаль-

ному транспорті, оцінити кількість переміщень, які здійснюються на ГТ можливо, врахувавши рівень автомобілізації населення.

Оцінити всі фактори можливо лише при розгляді окремого міста або декількох міст. При побудові транспортної моделі значних об'єктів, наприклад таких як національні моделі, визначити для кожного міста його точні параметри, які не є частиною статистичних спостережень, - дуже складна задача.

Існуючі підходи та методи дослідження закономірностей формування попиту на перевезення в приміському сполученні зазвичай базуються на дослідженні процесів розселення, просторової самоорганізації населення та щільності транспортних зв'язків.

Модель потреби сільського населення в пасажирських перевезеннях у роботах [35, 49, 50], враховує групи факторів, які характеризують соціально-економічні, організаційні та територіальні особливості перевезень пасажирів у сільській місцевості. Модель розраховується окремо для трудових переміщень до центру району (1.1) або до центру населеного пункту (села) (1.2), і культурно-побутових переміщень також відповідно в різних напрямках здійснення пересувань залежно від об'єктів тяжіння згідно (1.3) та (1.4):

$$ТП_T = f(\Gamma, S_p, n, H, N, N_u, P_c, N_p, l_{cp}, d, k, C), \quad (1.1)$$

$$ТП_T = f(N_x, S_x, n, H, l_{cp}, W, C), \quad (1.2)$$

$$ТП_{кб} = f(N_c, n, S_p, l_{cp}, d, M, P, A, K_u, H, C), \quad (1.3)$$

$$ТП_{кб} = f(N_x, n, H, l_{cp}, A, C), \quad (1.4)$$

де Γ – питома вага містоутвореної групи населення в центрі району, %;

S_p – площа території району, км²;

n – середня чисельність населення пунктів, осіб;

H – щільність населення, осіб/100км²;

N – чисельність населення району (без центра району), осіб;

N_u – загальна чисельність населення в районі, тис. осіб;

P_c – щільність сільського населення, осіб/1 км²;

N_p – чисельність населення районного центру, тис. осіб;

l_{cp} – середня відстань переміщення від центру населеного пункту до центру району, км;

d – щільність автомобільних доріг, км/км²;
 k – коефіцієнт відношення загальної площини к площини ріллі км²/ км²;
 C – соціальний індекс;
 N_x – чисельність містоутворюючої групи населення , осіб;
 S_x – площа господарства, га;
 W – коефіцієнт відношення загальної площі до площі сільгоспу-гідь, км²/ км².
 N_c – чисельність сільського населення району, тис. осіб л;
 M – щільність маршрутної мережі громадського транспорту, км/км²;
 P – щільність транспортних засобів громадського транспорту на мережі, од./(км мережі);
 A – рівень автомобілізації, од./1 тис. осіб.;
 K_u – рівень забезпеченості сільського населення установами куль-турно-побутового призначення, %;

Моделі (1.1) – (1.4) узгоджуються з експериментальними даними, що підтверджує перевірка за F -критерієм, а коефіцієнти кореляції моделей прагнуть до одиниці, що свідчить про тісний зв'язок показників. Але здійснити набір перелічених факторів у реальних умовах практично не можливо, та при такому підході до визначення потреб не враховується імовірнісний характер формування пересувань.

Підхід, який базується на визначенні перспективної транспортної рухомості з урахуванням сукупної можливості населення на транспортні послуги, чисельність населення розраховується на основі демографічного зросту та на основі його визначається перспективний обсяг перевезених пасажирів [35, 51, 52]

$$TP_p = TP_{зв} + TP_{зв}(K_{zn} + K_{ВВП}), \quad (1.5)$$

де TP_p – транспортна рухомість розрахункового періоду;

$TP_{зв}$ – транспортна рухомість звітного періоду;

K_{zn} – коефіцієнт зміни транспортної рухомості за рахунок зростання або падіння середньої заробітної плати;

$K_{ВВП}$ – коефіцієнт зміни транспортної рухомості за рахунок зростання або падіння валового внутрішнього продукту.

Перевагами застосування (1.5) є те, що враховуються економічні показники, але підхід визначає кількісну оцінку транспортної рухомості та не враховує закономірності зміни її в залежності від інших факторів.

У роботі [53] формування попиту на пасажирські перевезення також базується на дослідженні процесів розселення та просторової самоорганізації населення. За дослідженнями можливо виділити три зони тяжіння відносно до міста, яка враховує трудові зв'язки. Перша зона до 20 км, характеризується стабільністю зв'язків протягом тривалого періоду, друга зона - від 20 до 30 км характеризується нестійкими трудовими зв'язками у часі, і третя, так звана периферійна зона, носить випадковий характер трудових зв'язків. Методика [53] обмежується віддаленістю транспортних ділянок від обласного центру до 20 км, яка вважається зоною організації та значної активності приміського сполучення.

Дослідження просторового розподілу переміщень на території, що оточує місто в приміському сполученні, у роботі [3] базується на розгляданні процесів розселення сільського населення відносно обласного чи районного центру. Потенціал транспортних послуг визначається на основі зони обслуговування агрегованого транспортного вузла (1.6) за рахунок визначення центрів зародження і закінчення пересування

$$\sum Q = \sum_{i=1}^m F_i \cdot h_{Fi} \cdot N_{Ti} \cdot d_{Hi}, \quad (1.6)$$

де m – кількість напрямків (маршрутів) виїзду пасажирів, од;

F_i – площа i -го району обслуговування, км²;

h_{Fi} – щільність населення i -го району обслуговування, осіб/км²;

N_{Ti} – транспортна рухомість в i -му районі обслуговування;

d_{Hi} – частка перевезень, що здійснюються в напрямку dn .

Закономірності розселення та визначення параметрів щільності населення на території області на основі досліджень базуються на тому, що чисельність населення по населених пунктах на визначеній площі, яка обмежується віддаленістю від обласного центру до 50 км, підлягає опису за показниковим законом розподілу. Але в подальшому здійснюється об'єднання пунктів залежно від так званої ієрархічності системи, яка визначається середнім максимальним радіусом об-

слуговування території, що суттєво знижує точність розрахунків. Розглянуті закономірності розподілу населення на території (1.7), засновані на характеристиці розміщення населеного пункту відносно деякого центру тільки за допомогою так званої координати x , яка далеко не повністю визначає просторовий розподіл переміщень

$$h_f(x) = \sum_{i=1}^k h_i \frac{b_i}{2} \cdot \exp \left[- \left| \frac{x - l_i}{w_i} \right| \right], \quad (1.7)$$

де k – кількість населених пунктів на маршруті;

h_i – щільність населення в i -му населеному пункті, км^2 ;

b_i – коефіцієнт, який враховує охоплення i -ї ділянки маршруту сполучення;

l_i – віддаленість населеного пункту від деякого центру;

w_i – калібрувальний коефіцієнт, що визначає ширину впливу населеного пункту;

x – координата, в якій визначається щільність населення.

Визначення потреб міського населення в пересуваннях у роботі [54] ґрунтується на застосуванні функції розселення, загальний вид якої для громадського транспорту формується на основі розташування ЗП на міській території. При цьому процес виникнення нових об'єктів тяжіння в напрямку від центральної частини до околиці міст визначає закономірності розселення населення територією міста. Для визначення функції розселення на основі просторових характеристик транспортної мережі громадського транспорту (1.8) визначається взаємозв'язок між розміщенням ЗП на території міста, довжинами перегонів та відстанями між парами ЗП

$$w = f(l_{ij}); l_{ij} = f(l_k); l_k = f(X; Y), \quad (1.8)$$

де w – функція розселення населення;

l_{ij} – відстань між ЗП i та j , км ;

l_k – фактична довжина k -го перегону, км ;

X, Y – горизонтальні координати ЗП на території міста.

Існування таких закономірностей підтверджено в роботі [54] для різних категорій міст, на основі відстаней від «центрального» ЗП до всіх інших зупиночних пунктів, що розташовані на території міста. У роботі на основі теоретичних та експериментальних досліджень

для звичайних умов розташування ЗП та місцевості встановлено, що розташування ЗП на території міст може бути добре описане на основі двовірного вектору координат $(X;Y)$. У результаті експериментальних досліджень встановлено нормальний розподіл кожної з координат окремо, що підтверджує існування закономірностей просторових характеристик інфраструктури ГТ. Підтвердженням двовірної нормальності розсіювання ЗП також послужила можливість опису розподілу відстаней від центру міста до всіх ЗП за допомогою закону Релея. Враховуючи, що встановлені закономірності розглядались з точки зору появи нових ЗП на околиці міст, що є межею між містом і приміською зоною, існування цих закономірностей може розповсюджуватись і в приміському сполученні. Але автор не ставив перед собою задачі розгляду даних закономірностей на території, що оточує міста, тому подібна задача залишається невирішеною. Встановлені закономірності розселення населення описані гама-розподілом на основі закономірностей у відстані пересування на прикладі м. Харкова та визначенні потреби міського населення в перевезеннях з урахуванням функції розселення.

У приміському сполученні, за умови визначення закономірностей у просторових характеристиках інфраструктури ГТ можливо зробити припущення застосування гама-розподілу при загальному опису закономірностей у відстанях поїздок на території міста та за його межами. У цьому випадку виникає задача визначення тієї частини гама-розподілу, яка буде описувати відстані пересувань у приміському сполученні й визначення відповідності існуючим розподілам з точки зору розгляду здійснення пересування як випадкової величини, яка характеризується відстанню між ЗП.

Особливої уваги заслуговує методика визначення ІР в міжміському сполученні, які враховують характеристики населених пунктів. У роботах [55-57] метод прогнозування ІР засновано на встановленні закономірності формування транспортних потоків залежно від чисельності мешканців населених пунктів та їх адміністративної значимості, яка визначає мобільність населення, відстані між населеними пунктами, рівня автомобілізації, експлуатаційних показників вантажних автомобілів і автобусів та технічного стану ділянок автодоріг. Але всі перераховані показники визначаються як середні або табличні (еталонні), що суттєво знижує точність прогнозування ІР за відсутністю фактичних значень, отримати об'єктивну оцінку яких далеко

не завжди можливо. Застосування підходів у прогнозуванні ІР з урахуванням перелічених факторів може стати основою для визначення закономірностей формування ІР ГТ поблизу населених пунктів, що дає можливість стверджувати, що місто суттєво впливає і на інтенсивність пересувань навколо міста, і може бути застосовано для прогнозування попиту в приміському сполученні.

У зарубіжній літературі крім існуючих загальних підходів, розглядаються закономірності розселення на основі розподілу дальності поїздок міського населення [58].

Переходячи до закономірностей розселення приміського населення, можна навести обробку даних щодо часу поїздок мешканців регіону (агломерації) «Міста-близнюки» (Twin Cities Area), штат Міннесота, США, що були знайдені в роботі [59]. Значення зазначеного часу були отримані як супутній результат у дослідженні прийняття рішень респондентами з різним рівнем доходу при виборі шляху прямування в умовах визначеності та невизначеності параметрів останнього. Результати обстежень, проведені в різний час у містах штатів Флорида [60] та Техас [61], США, вказали на схожість побудованих на їх основі розподілів транспортних трудових пересувань за дальністю.

У роботі [62] дослідження переміщень у регіоні Балтимор - Вашингтон (2007-2008 р) при використанні Логіт - моделі, яка описує ймовірність здійснення пересування залежно від відношення між доходами та витратами на житло використовує для розрахунків корисність цього відношення до моделі. Далі на основі результатів переміщень для регіону Балтимор - Вашингтон було проаналізовано час на поїздку на роботу та додому, тобто використання трудових переміщення з обмеженням часу.

У результаті опитування респондентів за обмеженням часу поїздки та розподілу частот відстані поїздки інтерпольовані. Спостережувана величина відстані поїздки з розподілом частот у хвилинах для трудових переміщень представляє гама-функцію.

Гама-функція далі була відкалібрована для відповідного середнього часу поїздки. Результати відповідності гама-розподілу відстані поїздки в цій роботі співпадають з наведеним розподілом у роботі [54], який теоретично обґрунтований з точки зору появи нових об'єктів тяжіння на околиці міст та експериментально підтверджений, що є підґрунтям досліджень згідно методики [54].

Враховуючи розглянуті фактори, які впливають на попит мешканців приміської зони та підходів до визначення попиту серед багатьох факторів, можливо виділити наступні групи:

- характер системи розселення населення та розташування місць зародження пересування, наприклад, населені пункти в приміській зоні;
- рівень розвитку транспортної інфраструктури, взаємопов'язаної з системою розселення;
- вплив міста залежно від параметрів, які його характеризують, наприклад, таких як чисельність населення, площа міста, роль у системі міжнародних, державних і регіональних, соціально-економічних, культурно-історичних та інших зв'язків.

1.3 Аналіз сучасних моделей та методів розрахунку матриці пасажирських кореспонденцій

Складання моделі попиту засноване на визначенні джерела (місця) і мети транспортного переміщення, формування кореспонденцій між джерелами (місцями), тобто представляє собою матрицю пасажирських кореспонденцій. Але в загальному випадку в сучасних умовах можливо виділити два основних підходи до визначення попиту, рис. 1.3.

Перший передбачає проведення обстежень, які направлені на отримання інформації про поточний рівень задоволення попиту та про закономірності і особливості формування попиту. Проведення натурних обстежень, наприклад, табличним методом надає інформацію про пасажиропотік, ступінь наповнення транспортних засобів і кількість поїздок. Анкетування і звітно-статистичні дані дають інформацію про рухомість (закономірності пересування різних груп населення в залежності від мети пересування), закономірності розселення відносно місць трудової діяльності, відвідуваність культурно-побутових установ, зміни місць роботи та житла (зміни закономірностей розселення) та бюджету часу (можливі закономірності тяжіння населення). Проведення суцільного повноцінного обстеження, наприклад, табличним методом дає відносно достовірну інформацію, але призводить до великих витрат різних ресурсів, тобто є трудомістким. Існуюча транспортна звітність не завжди дає інформацію про розподілення поїздок в залежності від мети [63].



Рис. 1.3. Основні підходи до визначенню попиту у приміському сполученні

Другий підхід ґрунтується на використанні різних моделей для моделювання та прогнозування попиту, якій визначає динаміку, тенденції та закономірності розвитку попиту. Такий підхід потребує значно менших витрат праці, однак не завжди дозволяє здобути достатньо точні результати і в деяких випадках приводить до спрощення економічних процесів. До нього можна віднести статистичний, синтетичний та ймовірнісний підходи, рис. 1.4. У підходах до розрахунку МК використовують моделі, які засновані на статистичному аналізі даних про фактичні кореспонденції та методи, які засновуються на апріорних логічних гіпотезах [54].

Серед статистичних методів можливо виділити: метод коефіцієнтів росту, детройський метод, метод Фратара [30, 58, 64]. Згідно з цими методами отримання МПК здійснюється екстраполяцією МК та базується на звітних даних про виконані поїздки за попередній період. Найбільш простим серед них є метод єдиного коефіцієнта росту, який застосовується до всього об'єкту дослідження та, відповідно, до кожної клітинки МК

$$h'_{ij} = k \cdot h_{ij}, \quad (1.9)$$

де h_{ij} – існуюча кореспонденція між двома районами, які розглядаються;

k – коефіцієнт росту пасажирообігу для досліджуваної області в цілому.

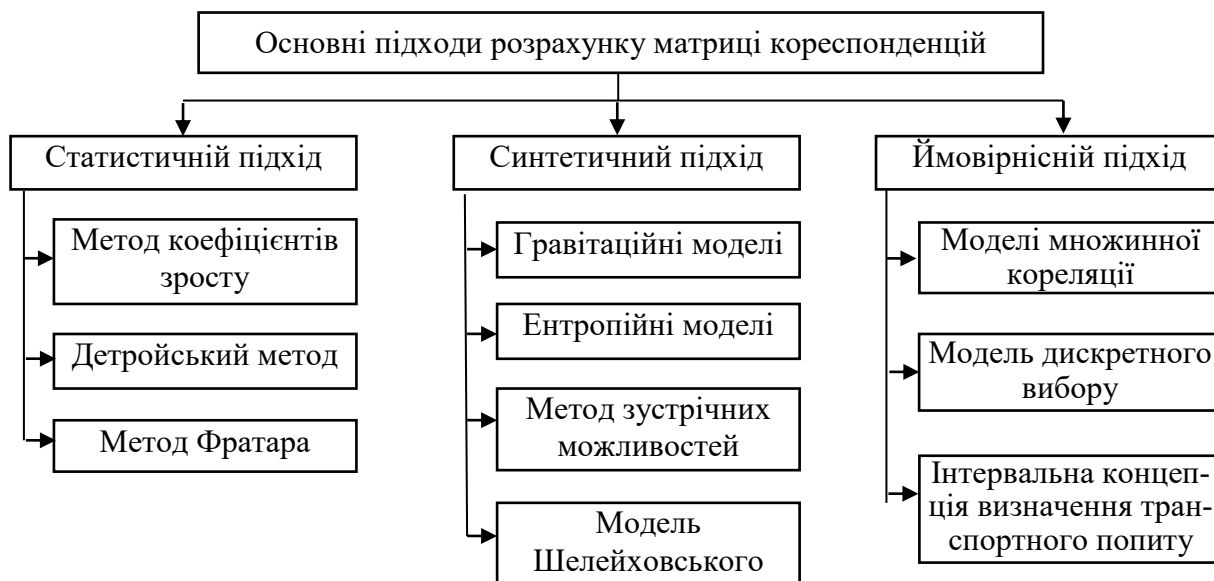


Рис. 1.4. Класифікація основних підходів розрахунку МК

Простота даної моделі є основною її перевагою та недоліком. Вона може бути використана для грубих оцінок динаміки зміни пересувань, однак виконаний прогноз може характеризуватися дуже великою помилкою.

Екстраполяція МПК за допомогою коефіцієнту росту, яка надає можливість врахування зміни пересувань окремо в районах відправлення та прибуття, враховує модель середнього арифметичного коефіцієнту росту (1.10) та Детройський метод (1.11), який є моделлю так званого середнього арифметичного коефіцієнту росту

$$h'_{ij} = \frac{k_i + k_j}{2} \cdot h_{ij}, \quad (1.10)$$

$$h'_{ij} = \frac{k_i + k_j}{k} \cdot h_{ij}, \quad (1.11)$$

де k_i , k_j – темпи росту пасажирообігу відповідно в районі відправлення і прибуття.

Простота розрахунків за даними методами призводить до некоректного представлення реальних кореспонденцій, що проявляється в значних відхиленнях від фактичних, у зв'язку з чим не можливо про-

ведення адекватного оцінювання роботи маршрутної мережі (ММ) ГТ та якості обслуговування пасажирів.

Найбільш прийнятним методом екстраполяції пересувань в рамках даної групи є метод Фратара, який передбачає не тільки облік динаміки змін обсягів пересування між парами транспортних районів, а й проведення ітераційних розрахунків по параметру, що дозволяє виконати умову збалансованості розрахункової матриці кореспонденцій за місткостями відправлень і прибуттів [58, 65], застосування якого базується на використанні окремих коефіцієнтів росту для кожного району досліджуваної області

$$h'_{ij} = h_{ij} \cdot k_i \cdot k_j \cdot \frac{L_i + L_j}{2} \quad (1.12)$$

де L_i , L_j – ітераційний коефіцієнти моделі для районів i та j або «місцевий фактор», який враховує вплив на зріст пасажирообігу між районами темпів зросту інших районів.

Перевагою методів, що відносяться до даного підходу, є їх зрозумілість та простота застосування. Основним недоліком статистичного підходу є необхідність проведення натурних спостережень, складання фактичної матриці кореспонденцій та моделювання тільки зміни темпів росту або зменшення кореспонденцій.

До наступної групи методів отримання МПК відносяться різноманітні синтетичні моделі, побудовані на апріорних гіпотезах формування попиту на пересування МПТ. До них відносяться моделі розрахунку величин пасажирських кореспонденцій на основі другого закону термодинаміки і закону гравітації. Це ентропійні моделі та гравітаційні моделі [66-72].

Ентропійна модель розрахунку кореспонденцій заснована на описі величини кореспонденції основним параметром якої є величина середніх витрат часу на пересування між парою транспортних районів [72-79]. Визначення МК згідно цієї моделі полягає в максимізації критерію ентропії системи S

$$S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij} \ln \frac{1}{h_{ij}} \rightarrow \max \quad (1.13)$$

де S – ентропія системи;

m , n – кількість районів прибуття та відправлення, од.;

h_{ij} – значення кореспонденції між районом відправлення i та районом прибуття j , пас.

Дані моделі отримали широке застосування за рахунок відносно невеликої трудомісткості розрахунків та зрозумілості критерію оптимізації – мінімізація витрат часу на поїздки [77, 79]. Метод максимізації ентропії по суті, приписує рівні ймовірності всім станам складної системи, що не виключаються апріорною інформацією. Вихідною моделлю є так звана гравітаційна модель [47, 73, 78-84], яка має найбільше визнання та розповсюдження в рамках даного підходу. Гравітаційна модель заснована на припущенні про аналогію поведінки пасажирів при здійсненні поїздок в ТС із законом всесвітнього тяжіння, згідно з яким сила притягання двох тіл прямо пропорційна їх вазі та зворотно пропорційна квадрату відстані між ними. У випадку визначення кореспонденцій тілами є ТР, а їх масою – місткості по прибуттю та відправленню пасажирів [66, 73, 81, 85-87]:

$$h_{ij} = k \cdot \frac{S_i \cdot P_j}{C_{ij}^2}, \quad (1.14)$$

де h_{ij} – кореспонденція між парою ТР i та j , пас;

S_i – повне число відправлень з i -го району;

P_j – повне число прибуттів у j -й район;

C_{ij} – функція тяжіння (витрати на пересування пасажирів з i -го в j -й район);

k – калібрувальний коефіцієнт.

Різновидом гравітаційної моделі є отриманий на її основі метод розрахунку кореспонденцій з використанням функції опору EVA, запропонованої Д. Лозе [88]. Даний метод побудований з огляду на три етапи формування кореспонденцій «Створення – Розподіл – Поділ», що в перекладі утворюють німецьку аббревіатуру EVA: «Erzeugung – Verteilung – Aufteilung».

До недоліків використання гравітаційних моделей, по-перше, можна віднести використання лише відстані або часу прямуювання між ТР як складності сполучення між ними, що є сумнівною аналогією закону Ньютона з поведінкою населення при здійсненні поїздок, необхідністю калібрування моделей що, по суті, є «підгонкою» роз-

рахункових даних і не може вважатися цілком виправданим, а також для визначення калібрувальних коефіцієнтів моделей необхідно проводити великий обсяг натурних спостережень за пересуваннями населення.

Також до синтетичних моделей розрахунку МК відноситься метод зустрічних можливостей [58], започаткований С. Стоуффером та розвинений М. Шнайдером. Відмінність методу в тому, що чим більшу відстань долає пасажир під час здійснення поїздки на своєму шляху, тим більшим є можливості задовольнити свою потребу в пересуванні по мірі віддалення від пункту відправлення. Тобто, розглядаються імовірності закінчення пересування в альтернативних пунктах призначення, розташованих на шляху прямування та здатних задовольнити потребу в пересуванні

$$h_{ij}^m = D_i \frac{[\exp(-px_{m-1}) \cdot \exp(-px_m)]}{[1 - \exp(-px_O)]}, \quad (1.15)$$

де h_{ij}^m – кількість пересувань з району i до району j , на шляху прямування між якими існує m альтернативних пунктів – можливостей закінчення пересування;

p – імовірність того, що потреба в пересуванні буде задоволена єдиною можливим пунктом призначення (єдиною можливістю);

x_{m-1}, x_m – накопичена кількість альтернативних пунктів закінчення пересувань до пункту m ;

O – загальна кількість альтернативних пунктів закінчення пересувань.

Основними недоліками методу зустрічних можливостей є припущення про однорідність розподілу альтернативних пунктів закінчення пересувань по досліджуваній області та використання відстані як фактору, що визначає кореспонденції [89, 90].

Особливої уваги заслуговує модель, в основу котрої покладені виявлені Г.В. Шелейховським закономірності розселення населення, яку також можливо розглядати в межах синтетичного підходу до моделювання кореспонденцій

$$P_{j(t_1, t_2)} = A_j \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{T_{\max}} \ln \frac{T_{\max}}{t_n} dt_n, \quad (1.16)$$

де $\Pi_{j(t_1, t_2)}$ – потік пасажирів із зони, що знаходиться між ізохронами t_1 і t_2 , у зону j , пас.;

A_j – місткість j -ї зони (об'єкту тяжіння) з прибуття, пас.

Недоліком моделей, зазначених при синтетичному підході, є недостатньо обґрунтоване використання як складності сполучення лише одного транспортного фактору – дальності пересування пасажирів (вираженій через відстань або час пересування) [88-94] при розрахунку МПК, які в приміському сполученні не можуть застосовуватись як головний фактор. Також ці моделі не дозволяють повністю врахувати імовірнісний, багатфакторний характер зв'язків між містом і населеними пунктами, необхідно відзначити занадто великі відхилення результатів розрахунків кореспонденцій за даними моделями від реальних значень згідно [95, 96], тоді як імовірнісний характер попиту на транспортні послуги допускає похибку розрахункових даних не більше 20-25 % [97].

До класу імовірнісних моделей можна віднести моделі множинної кореляції [30]. Сутність даних моделей полягає у встановленні факторів, що визначають виникнення потреб у пересуваннях, та їх впливу на формування пасажиропотоків через визначення коефіцієнтів у кореляційному рівнянні, що визначає кількість пересувань h_{ij} :

$$h_{ij} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p, \quad (1.17)$$

де a_p – емпіричні коефіцієнти, що встановлюються на основі натурних обстежень пересувань міського населення;

x_p – незалежні фактори, які визначають формування пасажиропотоків.

З точки зору математичного моделювання, це не складний метод і результати застосування даного підходу розглянуто в [35, 49, 50] для сільського населення для визначення кількості пересувань, але громіздкість розрахунків для кореспонденцій велика. Розрахунок значень кореспонденцій у моделях цих типів здійснюється на основі імовірності вибору пасажиром (індивідуумом) певного шляху пересування з усіх для нього можливих та прийнятних [74, 98, 99].

У роботах [100-103] представлені різні види модифікованих підходів до розрахунку МПК в рамках гравітаційної моделі, але да-

ним підходам залишилися властиві недоліки синтетичних методів. Аналіз факторів формування транспортних потреб представлений в [104] немає конкретних пропозицій щодо формування МПК. Новий підхід у роботі [105] заснований на використанні матриць маршрутних кореспонденцій з їх наступним перетворенням у міжрайонні кореспонденції, що дозволяє визначати попит на пересування населення малих міст. Визначенню МПК на основі результатів табличного обстеження пасажиропотоків також присвячена робота [106], але обґрунтованість застосованої в ній моделі розрахунку кореспонденцій можна поставити під сумнів.

Інтервальна концепція моделювання МПК [54, 91, 93, 105] кардинальним чином відрізняється від всіх інших підходів з точки зору відхилення між розрахованими МПК та експериментальними даними. Побудова моделей заснована на гіпотезі, що пасажирська кореспонденція є випадковою величиною. Основними параметрами даної функції виступають місткості транспортних районів щодо відправлення та прибуття. Так як величина кореспонденції випадкова, кількість варіантів МПК при незмінних місткостях транспортних районів буде більше одиниці. Кожна з матриць такого переліку представляє один з можливих станів транспортного попиту. Діапазон їх зміни знаходиться в межах, котрим відповідають стани попиту з мінімальною та максимальною транспортною роботою, що виконується в процесі пересування пасажирів. При цьому вводиться оціночний показник стану попиту – величина транспортної роботи МПТ представлена як різниця в транспортній роботі по реалізації МПК

$$\Delta W = \sum_{i=1}^{N_{TP}} \sum_{j=1}^{N_{TP}} h_{ij} \cdot l_{ij} - \sum_{i=1}^{N_{TP}} \sum_{j=1}^{N_{TP}} h'_{ij} \cdot l_{ij}, \quad (1.18)$$

де h_{ij} – значення кореспонденції між ТР i та j у базовій МК, пас.;

l_{ij} – відстань між районами i та j , км;

h'_{ij} – значення кореспонденції між ТР i та j у експериментальній МК, пас.

Іншим показником є відхилення значень кореспонденцій

$$\Delta H = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{TP}} \sum_{j=1}^{N_{TP}} (h_{ij} - h'_{ij})^2}. \quad (1.19)$$

У результаті отримання показників ΔPK і ΔH можливо оцінити межі інтервалу, у якому знаходяться достовірні МПК. У результаті таких розрахунків є широкий діапазон зміни станів МК, що є недоліком даної концепції, який можливо ліквідувати за рахунок визначення шляхів звуження зазначеного діапазону.

Огляд сучасних підходів до розрахунку МПК показав, що переважна більшість моделей не враховує імовірнісного характеру формування пересувань населення між об'єктами тяжіння та дає точкову оцінку МК. Серед існуючих методів розрахунку МПК випадковий характер розподілу пересувань враховує інтервальна концепція. Її основною перевагою є можливість використання декількох варіантів МПК для оцінки сценаріїв розвитку транспортних систем. Використання даної концепції також дає можливість визначення зон впливу міста, які використовуються в ряді підходів при визначенні закономірностей просторового розподілу переміщень як залежність їх інтенсивності від дальності переміщення для приміського сполучення.

Висновки

У сучасних умовах функціонування приміського сполучення в межах 50 км не завжди враховуються постійні зв'язки між містом та його оточенням, які формують маятникову міграцію населення в напрямку міста. Враховуючи, що місто є центром тяжіння в межах існуючої агломерації, при визначенні потреб у пересуваннях необхідно не виключати з розгляду населені пункти, не зважаючи на те, що вони можуть бути на відстані, більшій за 50 км.

Аналіз факторів, які визначають попит на пересування в приміському сполученні з токи зору реалізації потреб населення в умовах заданої транспортної пропозиції показав, що серед основних чинників, які впливають на його формування, є характер і зміст системи розселення та рівень розвитку транспортної інфраструктури.

Більшість існуючих підходів і методів визначення потреб у пересуваннях у приміському сполученні не враховують імовірнісний характер формування пересувань та вплив міста, у напрямку якого здійснюються пересування і його характеристик, та обмежують зону впливу міста межами дії приміського сполучення. Оцінити вплив міста на кількість пересувань у приміському сполученні можливо за

умови визначення закономірностей ІР громадського транспорту залежно від факторів, які характеризують населені пункти, що складають агломерацію.

Визначення закономірностей просторового розподілу пересувань міського населення з точки зору виникнення нових об'єктів тягіння в напрямку від центральної частини до околиці міст створює основу для припущення існування таких закономірностей і за територією міста. У цьому випадку закономірності на території міста та за його межами в приміському сполученні повинні мати спільний характер, але виникає задача визначення тієї частини, цих спільних закономірностей, яка буде описувати закономірності просторового розподілу пересувань у приміському сполученні.

При отриманні МПК в більшості існуючих моделей розрахунку використовується етап калібрування кореспонденцій під виконання тих чи інших обмежень, що піддає сумніву достовірність результатів розрахунків. Використання лише транспортних факторів майже у всіх моделях розрахунку МПК не враховує випадкового, багатфакторного характеру формування пасажиропотоків. Найбільш придатною для застосування в приміському сполученні є інтервальна концепція моделювання потреб у послугах для пасажирського транспорту, що забезпечує достовірну оцінку результатів транспортного моделювання.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОПИТУ У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Дослідження закономірностей формування попиту на перевезення у приміському сполученні на автотранспортні послуги та його потенціалу зазвичай базується на дослідженні процесів розселення та просторової самоорганізації населення, щільності транспортних зв'язків, місць зародження і закінчення пересувань. Модель потреб населення в пересуваннях повинна, перш за все базуватись на закономірностях формування потреб міста та його оточення в транспортних пересуваннях, які визначаються впливом міста та його характеристик на інтенсивність транспортних зв'язків у приміському сполученні. У якості характеристик транспортної пропозиції доцільно дослідити закономірності в характеристиках ТМ ГТ, які є похідними від просторового розташування ЗП та задають закономірності у відстанях пересувань у приміському сполученні. При цьому доцільно розглядати закономірності в характеристиках ТМ ГТ, які є продовженням закономірностей на території міста. Це дозволить визначити МПК у приміському сполученні та шляхи використання останньої при моделюванні потреб у перевезеннях.

2.1 Формалізація процесу отримання закономірностей формування пасажиропотоків у приміському сполученні

Потреба в пересуваннях визначається чисельними факторами як внутрішнього, так і зовнішнього характеру, основними з яких є: кількість мешканців населеного пункту та його статус у різних економічних, культурно-історичних і ін. сферах; характер і зміст системи розселення населення і місць праці в зоні впливу міста – центру і його оточення; рівень розвитку транспортної інфраструктури взаємопов'язаної системи розселення; природно - географічні особливості району розселення; рівень автомобілізації населення та іншими факторами.

Встановити взаємозв'язок між переліченими факторами й потребою в пересуваннях є дуже складною задачею. Оцінити ступінь економічних та соціальних факторів, які характеризують населені пункти практично не можливо, інші показники потребують багато

статистичної інформації, яку важко отримати і ступень достовірності якої визиває сумніви.

Оцінити вплив міста та його характеристик на частоту здійснення пересувань можливо на основі статистичних даних інтенсивності транспортних зв'язків. Одним з показників, який характеризує інтенсивність транспортних зв'язків, є ІР ТП. Встановити взаємозв'язок між ІР ТП та, наприклад, кількістю мешканців населених пунктів, можливо за умови використання даних для різних груп міст. Необхідною умовою для встановлення взаємозв'язку між ІР ТП та містом також повинні бути дані ІР ТП по мережі доріг різних категорій, до яких повинні відноситись не тільки міжнародні та національні автомобільні дороги загального користування, а й регіональні дороги, які певною мірою характеризують приміське сполучення.

Важливе значення має характеристика ділянки визначення ІР, яка повинна мати точні дані про розташування місця заміру ІР відносно населеного пункту, а саме відстань від межі міста або адміністративного чи історичного центру міста. При цьому віддаленість від міста не повинна обмежуватись 50 км, для того щоб визначити саме вплив приміського сполучення, який є частиною міжміського в загальній величині ТП. Також необхідно враховувати, що умови виникнення різних елементів транспортного потоку суттєво відрізняються один від одного. Вантажний транспорт відрізняється від пасажирського власне об'єктом перевезення, для якого характерною є велика різноманітність найменувань вантажів. Серед пасажирського транспорту виділяються такі його види як легкові автомобілі та автобуси. Поїздки на першому виді можуть вважатися у великій ступені випадковими, другі виконують поїздки в основному на регулярній основі. Власними умовами виникнення характеризуються й всі інші елементи транспортного потоку, але всі складові транспортного потоку формуються учасниками транспортного ринку та, відповідно, можуть бути вивчені за допомогою методів математичної статистики.

Припущення про загальний характер закономірностей розподілу пересувань для мешканців міста та приміської зони є основною гіпотезою дослідження. При її підтвердженні закономірності в пересуваннях мешканців приміської зони мають визначатися, спираючись на міські закономірності.

Одним із найбільш значних факторів, який характеризує можливість реалізації потреб більшої частини населення в перевезеннях,

є існуюча інфраструктура ГТ. До одних з основних характеристик громадського транспорту, які визначають просторове розташування об'єктів транспортної пропозиції, відносяться ЗП. Можливо припустити, що розміщення ЗП на приміській території має закономірності, які визначаються щільністю розташування ЗП за допомогою координат X та Y в прямокутній системі координат.

Для визначення закономірностей у розташуванні ЗП на основі координат, які характеризують просторове розташування, можливо розглядати відносно обласного центру, який зазвичай є найбільшим центром тяжіння для жителів приміської території. Основною характеристикою обласного центру повинна бути точка на території, яка умовно визначає центр тяжіння, у якості якої можливо розглядати адміністративний або історичний центр міста.

При визначенні закономірностей у розташуванні ЗП бажано розглянути міста з різною чисельністю населення, оскільки це створює можливість стверджувати, що не залежно від цієї характеристики населеного пункту, існує вплив міста та взаємозв'язок у розташуванні ЗП. Також бажано розглядати території навколо обласного центру, які мають різні площі та конфігурацію, які можуть бути ще одним підтвердженням стійкого зв'язку між розміщенням ЗП навколо міста, як центру міської агломерації. Межа міської агломерації, враховуючи постійність транспортних зв'язків, не повинна бути тільки до 50 км. Враховуючи особливості формування меж міських агломерацій, доцільно розглядати територію навколо обласного центру, яка характеризується межами області, на якій функціонує приміське на міжміське в рамках внутрішньообласного сполучення.

Враховуючи припущення про загальний характер розподілу пересувань для мешканців міста та приміської зони, при визначенні особливостей формування пасажиропотоків ГТ у приміському сполученні, необхідно визначити взаємозв'язок між розміщенням ЗП на території міста та навколо нього. Слід розглядати ЗП на території міста та його оточення, що створює можливість для кількісної характеристики просторового розподілу переміщень у приміському сполученні.

Встановити кількісні характеристики просторового розподілу переміщень можливо на основі визначення закономірностей у відстанях пересування на території, що оточує місто, враховуючи їх спільність із закономірностями на території міста. Задача встановлення за-

кономірностей у відстанях пересування повинна бути заснована на визначенні тієї частини існуючого розподілу цієї величини на міський території, яка характеризує пересування вже за межами міста. У цьому випадку, виникає необхідність визначення закономірностей у відстанях пересувань у приміському сполученні, тобто за межами міста, які можуть бути продовженням існуючих закономірностей на міській території, але мають інший розподіл цієї величини.

Оскільки поїздки в приміському сполученні частково здійснюються територією міста, при визначенні величини відстані поїздки треба враховувати тільки відстань за його межами, що дає змогу саме у встановленні закономірностей у розподілі пересувань у приміському сполученні.

Визначення закономірностей розподілу величини відстані пересувань за межами міста створює основу для моделювання потреб у поїздках громадським транспортом у приміському сполученні з її врахуванням. У загальному випадку закономірності розподілу фактичних відстаней пересування можна розглядати як відображення реалізованого транспортного попиту.

Наявність параметрів розподілу відстаней поїздок населення дозволить визначити шукані МПК, які призводитимуть до отримання зазначеного або максимально наближеного фактичного розподілу відстаней пересувань. Відшукування таких станів МПК повинне базуватись на встановленні значень кореспонденцій, що будуть реалізовуватись на визначену відстань з матриці відстаней і в загальній сукупності породять фактичний розподіл відстаней поїздок у приміському сполученні.

На основі цього можна встановити порядок заповнення МПК. Фактичний розподіл відстаней поїздок дозволить визначити відсоткове співвідношення кількості мешканців, дальності пересувань яких відносяться до встановлених інтервалів відстаней пересувань у приміському сполученні. Визначати кількість інтервалів, за якими будуть групуватися відстані пересувань, можна безпосередньо при оцінці узгодження емпіричного розподілу цих відстаней з теоретичним розподілом. Також емпіричний розподіл цих відстаней дає можливість визначення ширини інтервалів.

Використання інтервальної концепції визначення потреб у пересуваннях у приміському сполученні дозволяє врахувати ймовірнісний характер транспортних зв'язків та позбавитись недоліків точко-

вої оцінки МПК. Перевагою застосування такого підходу є вдосконаленням інтервальної концепції, яке досягається за рахунок встановлення найбільш імовірних станів МПК відповідно до фактичного розподілу відстаней пересувань та реалізації концепції не тільки в містах, а й в приміському сполученні.

Усі вище наведені твердження дозволили визначити основну мету дослідження, яка полягає в удосконаленні методики визначення попиту на пересування автомобільним транспортом загального користування в приміському сполученні на основі встановлених закономірностей формування пасажиропотоків. При встановленні закономірностей формування пасажиропотоків слід враховувати вплив міста на частоту здійснення пересувань, які визначаються відповідно пересуваннями в напрямку міста та формують транспортну систему міських агломерацій.

У сучасних умовах збільшується взаємовплив міста з його оточенням, який пов'язаний з розвитком соціально-економічної сфери, системи розселення й транспортної інфраструктури. Визначення перспективного значення ІР пасажирського та вантажного транспорту на АД загального користування є дуже актуальною задачею, оскільки на основі цієї інформації розробляються техніко-економічні обґрунтування та проекти будівництва та реконструкції АД, формуються проекти організації дорожнього руху.

Точність прогнозування інтенсивності ТП за допомогою моделей міжміського сполучення значно знижується поблизу великих міст [107].

Це пов'язано з особливостями формування вантажних і пасажирських потоків на підходах до великих міст, величина яких зростає в міру наближення до центру міста. Зростання величини транспортних потоків може пояснюватись наявністю так званих зон впливу [55], розмір яких залежить від багатьох факторів.

Інтенсивність ТП є випадковим за своєю сутністю показником, схильним до значних коливань протягом часу. Врахування ІР можливо за різними періодами часу, від внутрішньогодинних до річних. Рациональним періодом прогнозування є мінімальний період, що забезпечує достатню сталість ІР. Таким періодом у роботі повинна вважатись доба. Порівняння добової ІР для різних днів тижня та місяців року можливо на основі відомих коефіцієнтів нерівномірності ТП [55, 108].

Коливання інтенсивності ТП на АД загального користування не можуть бути пояснені лише розвитком мережі автомобільних доріг та зростанням рівня автомобілізації населення України. Можливо припустити, що на величину ТП суттєво впливає розташування ділянки магістралі відносно міста та той факт, що частка кожного типу ТЗ суттєво коливається залежно від ділянки мережі, що обумовлено тією роллю, яку відіграє конкретна ділянка в мережі АД загального користування.

З урахуванням цього необхідно формалізувати закономірності впливу міст на ІР у приміському сполученні на 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.

Обґрунтування залежності величини ТП від близькості ділянки до центру міста проводилось у роботі [107] на основі перетворення відстані та власне інтенсивності, яка може розглядатися лише відносно середнього потоку на тих ділянках відповідної траси, які не відчувають впливу місцевого руху. Описові спроможності моделі виявились занадто низькими, коефіцієнт детермінації склав лише 38,2 %, що виключає можливість прогнозування інтенсивності ТП за її допомогою.

Основним фактором і практично єдиним показником, що впливає на величину ІР як вантажного так і пасажирського транспорту, особливо для маятникового руху, який складає основну частку величини ІР у приміському сполученні [107], є відстань до населеного пункту. При цьому відстань можливо розглядати в якості показника, котрий характеризує населений пункт відносно точки в центральній частині міста, яка виступає точкою тяжіння для ТП. У якості центру міста слід розглядати адміністративний або історичний центр. Другою точкою, між якими визначається відстань, повинна виступати точка, у якій визначається величина ІР на основі натурних спостережень.

Закономірності формування величини ІР залежно від відстані повинні бути ґрунтовані на пошуку такої залежності між відстанню та фактичним значенням цього показника, який приведе до тісного ко-

реляційного зв'язку між двома цими величинами. Відповідно до цього, вплив приміського сполучення на ІР обумовлюється розташуванням ділянки автомагістралі, не залежно від її державного значення, відносно міста, яка характеризується віддаленістю L , км від міста. Другим показником, який є основною характеристикою міст, яка не викликає сумнівів, запропоновано розглядати чисельності населення міста P , тис. осіб. Тобто залежність ІР ТП N , авт./доб. від запропонованих показників

$$N = f(L; P). \quad (2.1)$$

Залежність між існуючою ІР та відстанню L , якщо розглядати закономірності показникової функції [108], можливо представити у вигляді логарифмічного перетворення ІР за основою

$$N' = \text{Log}_L N, \quad (2.2)$$

де N' – перетворення добової ІР ТЗ на ділянці АД загального користування залежно від відстані L ;

N – фактичне значення ІР ТЗ, авт./доб.

Обґрунтування логарифмічного перетворення існуючої N від L полягає в існуванні залежності між цими показниками, яка може бути описана як

$$N = L^{\frac{1}{L}} = e^{\frac{1}{L} \text{Ln} L}. \quad (2.3)$$

Залежність (2.3) описує взаємозв'язок між ІР та віддаленістю від міста ділянки визначення її, при цьому враховує показниковий характер зміни величини ІР від відстані.

Якщо в результаті експериментальних досліджень буде доведено існування тісного кореляційного зв'язку між N' та відстанню до центру міста L , тоді залежність (2.2) буде основою стверджувати, що відстань L до міста є показником, який підтверджує вплив міста на ІР в приміському сполученні та стане основою для проведення регресійного аналізу між цими показниками. Незалежним показником при цьому повинна виступати L оскільки в міру наближення до міста величина ТП зростає.

Наступний фактор, який впливає на величину N' згідно (2.1), є чисельність населення P , осіб, який згідно [55, 56] впливає на величину ІР ТП в залежності від так званого радіусу зони впливу населеного пункту R , км з використанням функції

$$R = 2,088 \cdot P^{0,367} \quad (2.4)$$

Використання даного показника обумовлюється саме тим, що значення P може не лінійно впливати на значення ІР ТП, а значно збільшувати зону впливу зі зростанням кількості мешканців населених пунктів [55].

Тоді оцінити вплив міста згідно параметрів, які характеризують населені пункти, можливо після логарифмічного перетворення фактичної ІР залежно від відстані, і залежність (2.2) набуває наступного вигляду:

$$N' = \text{Log}_L N = f\left(\frac{1}{L}, P\right). \quad (2.5)$$

Загальний вигляд моделі визначення N' на основі регресійного аналізу має вигляд:

$$N' = \text{Log}_L N = a + b \cdot \frac{1}{L} + c \cdot R = a + b \cdot \frac{1}{L} + c \cdot (2,088 \cdot P^{0,367}), \quad (2.6)$$

де a, b, c – коефіцієнти регресії.

Згідно (2.6) прогнозне значення ІР залежно від відстані та чисельності населення міста та обґрунтування показникового характеру цієї величини (2.3) може бути визначено

$$N = e^{\left(a + \frac{b}{L} + 2,088 \cdot c \cdot P^{0,367}\right) \text{Ln} L}. \quad (2.7)$$

Якщо статистичні характеристики отриманих моделей для різних категорій ТЗ виявляться достатньо високими, це надасть змогу для прогнозування ІР громадського транспорту поблизу міст, а саме в приміському сполученні. Отримані моделі нададуть змогу відображати тенденцію зростання ІР вантажних та пасажирських потоків при наближенні ділянки автомобільної дороги до населених пунктів

та дозволять визначити питомий зміст ТП різних категорій ТЗ у приміському сполученні.

Підтвердження впливу міста на ІР громадського транспорту дає змогу стверджувати, що ІР у приміському сполученні залежить від віддаленості від міста пунктів тяжіння таких як, наприклад, населені пункти, які розташовані в приміській зоні та на території, яка не обмежує зону дії приміського сполучення. Розповсюдження за межі приміського сполучення може бути обґрунтоване впливом міста на інтенсивність транспортних зв'язків, який є обласним центром, у напрямку якого існують постійні пересування мешканців області. Оцінка параметрів моделі також дає змогу визначення закономірностей у відстанях пересування за територією навколо міста.

При визначенні особливостей формування пасажиропотоків у приміському сполученні, якщо розглядати цей показник з точки зору реалізації потреб в пересуваннях, що виконується в рамках заданої транспортної пропозиції [54], запропоновано розглядати розподіл транспортного попиту на території, що оточує місто залежно від існуючої інфраструктури громадського транспорту ГТ. У якості об'єкту існуючої інфраструктури ГТ використовується ТМ ГТ, яка є похідною від просторового розташування ЗП на території міста та його оточення, що у свою чергу характеризує просторовий розподіл переміщень у приміському сполученні.

Для визначення закономірностей просторового розподілу інфраструктури ГТ у приміському сполученні необхідно визначити взаємозв'язок між розміщенням ЗП на території міста та навколо нього:

$$L_j = f(X'_j; Y'_j), X'_j = f(X_j; X_{\text{ц}}), Y'_j = f(Y_j; Y_{\text{ц}}), \quad (2.8)$$

де L_j – відстань за повітряною лінією між j -м ЗП і центром міста, км;

X'_j, Y'_j – відхилення горизонтальних координат j -го ЗП від горизонтальних координат "центрального" ЗП на території міста;

$X_{\text{ц}}, Y_{\text{ц}}$ – горизонтальні координати "центрального" ЗП на території міста;

X_j, Y_j – горизонтальні координати j -го ЗП;

Наступним кроком необхідно визначити кількісні характеристики просторового розподілу переміщень на основі визначення зако-

номірностей у відстанях пересування на території, що оточує місто, враховуючи їх спільність із закономірностями на території міста. Закономірності просторового розподілу переміщень на території приміської зони базуються на визначенні переміщень, які виконуються в межах певної відстані:

$$d_L = f(l_p), \quad (2.9)$$

де d_L – функція зміни частоти переміщень в залежності від відстані;

l_p – відстань пересування в приміському сполученні, або на території, що оточує місто, км.

Визначення закономірностей розподілу величини l_p створює основу для визначення потреб у поїздках громадським транспортом у приміському сполученні, які відбивають розподіл відстаней, на котрі реалізовані всі приміські пасажирські кореспонденції. Формування кореспонденцій між джерелами (місцями) транспортних переміщень представляє матрицю пасажирських кореспонденцій. Приймаючи до уваги, що значення в клітинках МПК являють собою частоту здійснення пересувань на певну відстань та користуючись поняттями статистичної ймовірності деякої події і повної групи подій, наступним кроком повинно стати ймовірніше виникнення певної кореспонденції залежно від визначеного теоретичним та експериментальним шляхом виду закону розподілу величини l_p .

2.2 Теоретичні основи виникнення закономірностей у характеристиках приміського громадського транспорту

Однією з основних характеристик громадського маршрутного транспорту і базується на них, яка залежить від визначення місць зародження і закінчення пересування є просторове розташування ЗП, яке є основою для виникнення закономірностей просторового розподілу переміщень пасажирів на визначеній території.

Можливо припустити, що закономірності територіального розташування інфраструктури громадського транспорту на території, що оточує міста, є продовженням міських закономірностей. Тому доцільно дослідити характеристики транспортної мережі громадського транспорту, які є похідними від просторового розташування ЗП і ви-

значають закономірності у відстанях пересувань також і в околицях міст. Вплив міста на інтенсивність пересувань між ним та іншими населеними пунктами можливо приймати в межах не тільки приміської зони, а розглядати межі адміністративної області, тобто містом у даному випадку може виступати обласний центр.

Встановлення закономірностей просторового розташування ЗП на території має проводитися на основі двомірного вектору координат $(X; Y)$. Для звичайних умов розташування обласного центру та однорідної місцевості, за аналогією з міською територією [54] логічно припустити, що розкид координат ЗП на території міста та навколо обласного центру (міста) буде приблизно нормальним. Якщо припустити, що просторове розташування або розсіювання ЗП на території міста та навколо нього розподілені за нормальним законом і незалежні в кожному з двох взаємно перпендикулярних напрямків, тоді дане розсіювання ЗП відносно початку прямокутної системи координат можливо розглядати як відхилення від початку прямокутної системи координат. У якості початку прямокутної системи координат повинна виступати точка на території центру міста, від якої починається розширення території обласного центру. У якості центральної точки також доцільно розглядати адміністративний або історичний центр міста як і в випадку з ІР ТЗ. Відхилення з двох взаємно перпендикулярних напрямків, розглядати як відхилення координат (X, Y) , які відображають просторові характеристики інфраструктури громадського транспорту.

Перевірка придатності одномірного нормального розподілу для опису координати X та координати Y окремо повинно виконуватись після центрування кожної координати згідно залежності (2.10) та (2.11):

$$X'_j = X_j - X_{\text{ц}}, \quad (2.10)$$

де X_j – абсциса j -го ЗП;

$X_{\text{ц}}$ – абсциса «центрального» ЗП.

$$Y'_j = Y_j - Y_{\text{ц}}, \quad (2.11)$$

де Y_j – ордината j -го ЗП;

$Y_{\text{ц}}$ – ордината «центрального» ЗП.

Щільність одномірного розподілу для кожної координати [109] визначається залежністю:

$$f(X'_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_X} \cdot e^{-\frac{(X'_i - \mu_X)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.12)$$

де σ_X – середньоквадратичне відхилення X ;

μ_X – математичне очікування X .

$$f(Y'_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_Y} \cdot e^{-\frac{(Y'_i - \mu_Y)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.13)$$

де σ_Y – середньоквадратичне відхилення Y ;

μ_Y – математичне очікування Y .

Підтвердження закономірностей розподілу координат на території міста та його оточення дає змогу стверджувати про доцільність використання просторових характеристик інфраструктури ГТ та дає змогу за допомогою засобів теорії ймовірності та математичної статистики визначати закономірності у відстанях пересування мешканців приміської зони залежно від віддаленості ЗП від міста (обласного центру).

Віддаленість ЗП буде визначати відстань за повітряною лінією між кожною зупинкою ГТ і центром міста:

$$L_j = \sqrt{L_{Xj}^2 + L_{Yj}^2}, \quad (2.14)$$

де L_j – відстань (відхилення) за повітряною лінією від j -го ЗП до центру міста (початку прямокутної системи координат), км;

L_{Xj} – відстань (відхилення) за повітряною лінією абсциси j -го ЗП до центру міста (початку прямокутної системи координат) км;

L_{Yj} – відстань (відхилення) за повітряною лінією ординати j -го ЗП до центру міста (початку прямокутної системи координат) км.

У випадку, якщо L_{Xj} та L_{Yj} незалежні гаусові величини, які мають нормальний розподіл з нульовим очікуванням і однаковими дис-

персіями σ_L^2 , щільність ймовірностей для L_j буде визначатись, як:

$$f(L_j, \sigma_L) = \frac{L_j}{\sigma_L^2} e^{-\frac{L_j^2}{2\sigma_L^2}} \quad (L_j > 0, \sigma_L > 0) \quad , \quad (2.15)$$

де L_j – відстань за повітряною лінією між j -м ЗП і центром міста, км;
 σ_L – параметр розподілу Релея стосовно відстаней L_j [54, 110].

Залежність (2.15) відповідає щільності розподілу Релея, максимум цієї функції відповідає стандартному відхиленню та вона несиметрична відносно цього значення. Несиметричність цієї функції дає можливість врахувати саме ЗП на території міста та за його межами. таких як область та їх відхилення від центру тяжіння.

Функція розподілу відстаней за повітряною лінією між кожною зупинкою ГТ і центром міста, яка відповідає розподілу Релея, визначається:

$$F(L_j) = 1 - e^{-\frac{L_j^2}{2\sigma_L^2}} \quad (L_j > 0), \quad (2.16)$$

Застосування розподілу Релея для опису закономірностей L_j навколо міста (обласного центру) може бути підтвердженням снування спільних закономірностей у розташуванні ЗП на території міста та навколо нього.

При визначенні закономірності просторового розташування інфраструктури ГТ у приміському сполученні, якщо припустити, що щільність розташування ЗП навколо обласного центру має двомірний нормальний розподіл. В цьому випадку, параметр розподілу σ , який буде однаковим по всіх напрямках з центром в точці O , яка має координати $(0;0)$ рис.2.1, тоді щільність розподілу ймовірностей розташування ЗП на радіальному перегоні набуває вигляд:

$$f(X, Y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{X^2 + Y^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.17)$$

де X, Y – координати ЗП;

σ – параметр кругового нормального розподілу.

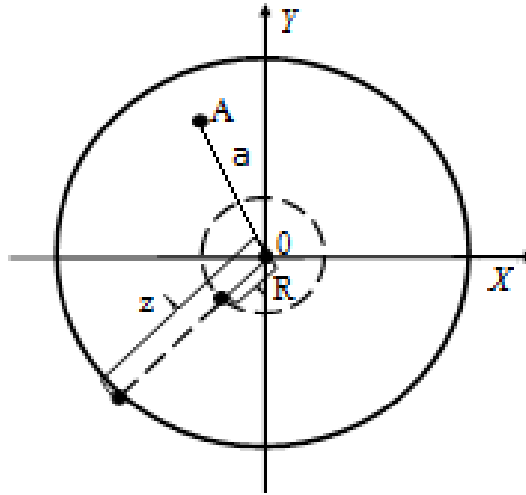


Рис. 2.1. Схема розташування ЗП при круговому нормальному розподілу

Це так званий круговий нормальний розподіл з параметром σ^2 з центром у точці O , тобто точка з нульовими координатами характеризує центр міста, який є точкою тяжіння для мешканців міста та його оточення, а також розглядати з точками, які розташовані на межі міста та області рис.2.1, при цьому вони обмежують відповідно територію міста та області (приміського сполучення).

Якщо розглянути ці дві точки на одному радіусі [111] на відстані $0 < R < z$ від центру O імовірність попадання в кільце точки A (ЗП на території навколо міста), яке створюється цими двома точками і центром O дорівнює:

$$P\{R \leq a \leq z\} = \iint_{R^2 \leq X^2 + Y^2 \leq z^2} \frac{1}{2\pi \cdot \sigma^2} \cdot e^{-\frac{X^2 + Y^2}{2\sigma^2}} dXdY, \quad (2.18)$$

де A – ЗП з координатами $(X; Y)$,

R – мінімальна відстань по повітряній лінії від центру O на території, що оточує обласний центр (місто), км;

z – максимальна відстань по повітряній лінії від центру O на території, що оточує обласний центр (місто), км;

a – відстань від центру до A (ЗП), км.

Після перейти в цьому подвійному інтегралі до полярних координат $(r; \varphi)$ у новій системі координат за формулами:

$$\begin{cases} X = r \cdot \cos \varphi, r \geq 0 \\ Y = r \cdot \sin \varphi, 0 \leq \varphi < 2\pi \end{cases} \quad (2.19)$$

Тоді визначник матриці Якобі (2.19) для залежності (2.18) дорівнює r та $dXdY$ можливо замінити $rd\varphi dr$:

$$|y| = \det \begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial x}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial y}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial \varphi} \end{pmatrix} = \det \begin{pmatrix} \cos \varphi & -r \sin \varphi \\ \sin \varphi & r \cos \varphi \end{pmatrix} = r. \quad (2.20)$$

Після цього задаємо область інтегрування $D = \{(X, Y) : R^2 \leq X^2 + Y^2 \leq z^2\}$ в новій системі координат за допомогою нерівностей $D = \{(r, \varphi) : 0 \leq \varphi < 2\pi, R \leq r \leq z\}$ і тоді шукана ймовірність зводиться до повторного інтегралу в новій системі координат:

$$\begin{aligned} P\{R \leq a \leq z\} &= \int_0^{2\pi} d\varphi \int_R^z \frac{r \cdot e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}}{2\pi \cdot \sigma^2} dr = \\ &= \left| \begin{array}{l} t = \frac{r^2}{2\sigma^2} \\ dt = \frac{r}{\sigma^2} dr \\ \frac{R^2}{2\sigma^2} \leq t \leq \frac{z^2}{2\sigma^2} \end{array} \right| = \int_{\frac{R^2}{2\sigma^2}}^{\frac{z^2}{2\sigma^2}} e^{-t} dt = -e^{-t} \left| \begin{array}{l} \frac{z^2}{2\sigma^2} \\ \frac{R^2}{2\sigma^2} \end{array} \right| = \\ &= e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Щільність розподілу точки A або ЗП, які розташовані на території навколо обласного центру на радіусі OA за умови, що вона розташована на відстані більш ніж R від центру, знаходиться шляхом диференціювання по z ймовірності (2.21):

$$q(z) = C \cdot \frac{d}{dz} P\{R \leq a \leq z\} = C \cdot \frac{z}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2.22)$$

де C – константа, яка визначається з умови нормування $\int_R^{+\infty} q(z) dz = 1$,
тобто:

$$\begin{aligned} C &= \left(\int_R^{+\infty} \frac{z}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma^2}\right) dz \right)^{-1} = \\ &= \left(\left(-e^{-t} \right) \Big|_{\frac{R^2}{2\sigma^2}}^{+\infty} \right)^{-1} = e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}, \end{aligned} \quad (2.23)$$

Звідси щільність розподілу відстані між ЗП рис.2.2, які розташовані на території навколо міста (обласного центру) і центром O дорівнює:

$$q(z) = \begin{cases} 0, & z < R \\ \frac{z}{\sigma^2} \exp\left\{-\frac{z^2 - R^2}{2\sigma^2}\right\}, & z \geq R \end{cases} \quad (2.24)$$

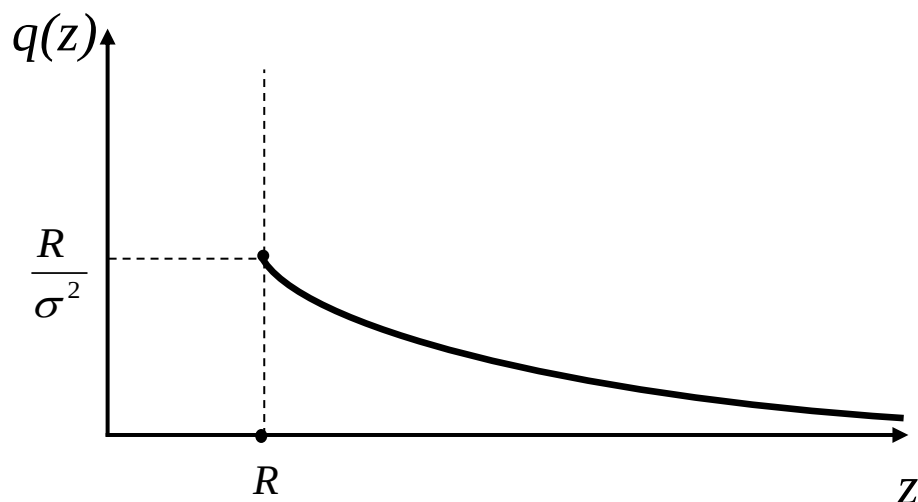


Рис. 2.2. Графічне подання щільності розподілу відстані a

Точка екстремуму, якщо вона є, визначається з умови, що $q'(z) = 0$:

$$\frac{1}{\sigma^2} - \frac{z}{\sigma^2} \cdot \frac{z}{\sigma^2} = 0. \quad (2.25)$$

Тобто згідно з (2.25), якщо $z^2 = \sigma^2$ та $z = \sigma$ при $R > \sigma$, максимум імовірності досягається при $z = R$ рис. 2.3, яка зображена заштрихованою областю. Виходячи з цього, можливо зробити висновок, що цей розподіл є нормованим подовженням (хвостом) розподілу Релея.

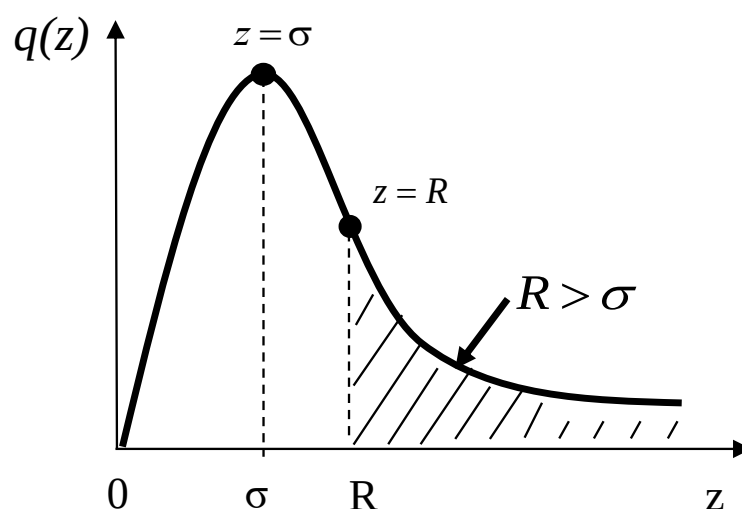


Рис. 2.3. Графічне відображення розподілу $q(z)$

Таким чином, можливо зробити припущення, що розподіл відстані від центральної точки 0 до ЗП, які розташовані як на території міста, так і навколо міста, має описуватись розподілом Релея, що на основі експериментальних досліджень підтвердить гіпотезу про розповсюдження закономірностей на території міста в приміському сполученні (на території області). Оскільки закономірності у відстанях між ЗП навколо міста та центром мають відповідати нормованому подовженню розподілу Релея важливо визначити ймовірність розподілу для даного виду сполучення.

Знайдемо ймовірність того, що $\{a > z | a \geq R\}$, тобто для випадку коли ЗП розташовані навколо обласного центру (міста) на території приміської зони або області, це має бути умовна ймовірність:

$$\begin{aligned}
P\{a > z | a \geq R\} &= 1 - P\{a \leq z | a \geq R\} = \\
&= 1 - \frac{P\{R \leq a \leq z\}}{P\{a \geq R\}} = 1 - \frac{\exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) - \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma^2}\right)}{\exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right)} = \quad (2.26) \\
&= \exp\left\{-\frac{z^2 - R^2}{2\sigma^2}\right\}.
\end{aligned}$$

та при $z \geq R$ визначаємо відповідну ймовірність:

$$P\{Z > z | Z \geq R\} = e^{-\frac{z^2 - R^2}{2\sigma^2}}. \quad (2.27)$$

Виходячи з (2.27), можливо стверджувати, що ймовірність розподілу відстані по повітряній лінії між ЗП, які знаходяться на території міста та навколо нього (на території області) та «центрального» ЗП мають, відповідати розподілу Релея [112], при цьому відстань між «центрального» ЗП та ЗП, які розташовані на території поза містом, будуть подовженням нормованого розподілу Релея.

2.3 Формування теоретичних основ виникнення закономірностей у відстанях пересування в приміському сполученні

Підтвердження двовірності розподілу координат $(X; Y)$ ЗП та визначення закономірностей у відстанях між ЗП, які розташовані на території міста і його оточення, дозволить стверджувати, що на відстань пересування суттєво впливає інфраструктура громадського транспорту та існують закономірності у відстанях між ЗП, якщо вони розглядаються сумісно і на території міста, і приміської зони, або на території області відносно центру міста. Тобто, якщо відомі закономірності у відстанях пересування територією міста, то з урахуванням умовності меж міської території можливо стверджувати, що за межами міста закономірності у відстані пересувань можуть бути продовженням аналогічних міських закономірностей. У зв'язку з цим, основною гіпотезою є існування закономірностей у відстанях пересу-

вання в приміському сполученні з тієї точки зору, що вони є продовженням закономірностей у пересуваннях на території міста.

Відстань пересування пасажирів взагалі представляє собою достатньо специфічну випадкову величину. На перший погляд вона неперервна, однак насправді є дискретною завдяки кінцевій кількості точок тяжіння на будь-якій обмеженій території [54]. На її основі, як функції розподілу випадкової величини, визначається функція розселення на розглянутій території. Користувачі громадського транспорту, що виконують поїздки з домівок до місць прикладання праці або культурно-побутові до об'єктів тяжіння, є найбільш придатним об'єктом дослідження цього показника. По-перше, вони є найбільшою за обсягами та найстабільнішою частиною ринку перевезень, по-друге, – надають можливості експериментальної перевірки статистичних гіпотез відносно виду випадкових величин на основі координат місць тяжіння, якими в даному випадку є ЗП громадського транспорту. Такий підхід може стати основою для території, що оточує місто в приміському сполученні, якщо експериментальні дослідження залежності (2.16) також будуть підтверджені. При цьому закономірності розподілу величини відстані пересування може бути доданком або подовженням закономірностей на території міста. У цьому випадку для опису розподілу відстані пересування l_p у міському сполученні може бути придатний гама-розподіл [54]:

$$f(l_p) = \frac{n^\lambda l_p^{\lambda-1} e^{-n l_p}}{\Gamma(\lambda)} \quad (l_p > 0, \beta > 0, \alpha > 0), \quad (2.28)$$

де n – параметр масштабу;

λ – параметр форми [54, 110, 113-119].

Якщо припустити, що випадкова величина відстані пересування в міському та приміському сполученні має гама-розподіл, то відстань пересування в приміському сполученні (за межами міста) l_p^{np} представляє собою лише частину загального гама-розподілу відстаней, яка буде мати свої закономірності.

Ще одним підтвердженням використання даних закономірностей для поїздок у приміському сполученні є те, що їх частина здійснюється на території міста з використанням існуючої вулично-дорожньої мережі (ВДМ) та існування закономірностей у характери-

стиках маршрутного транспорту на території міста не може викликати сумнівів [54]. Але дальність цих пересувань істотно відрізняється, що в першу чергу залежить від площі території та щільності транспортної мережі на території поза містом. У цьому випадку відстань пересування в приміському сполученні l_p^{np} можливо визначити як величину з складових на території міста та поза ним:

$$l_p^{np} = \sum_{k=1}^m l_{km} + \sum_{k=1}^z l_{kz}, \quad (2.29)$$

де m – кількість перегонів між ЗП, які розташовані на території міста, од;

z – кількість перегонів між ЗП в напрямку пересування в приміському сполученні, од.

l_{km}, l_{kz} – довжина k -го перегону відповідно в міському та приміському сполученні, км.

Друга складова у виразі 2.29 визначає саме пересування за межами міста, і саме її закономірності необхідно визначити. Якщо припустити згідно 2.29, що випадкова величина відстані пересування l_p має гама-розподіл з параметрами розподілу (n, λ) , то l_p^{np} також має параметри гама-розподілу, якщо розглядається сумісно з відстанню перевезення на території міста. Але розподіл самої величини l_p^{np} може бути іншим, як згадувалось раніше.

Можливо припустити, що l_p є незалежною випадковою величиною X , поява якої залежить дійсно від пересувань між початковим та кінцевим ЗП. У цьому випадку можна стверджувати, що появу пересування на території міста на відстань l_p^M можливо віднести до найпростішого потоку з параметром λ [19]. Якщо впорядкувати здійснення пересування на відповідну відстань $l_{p1}^M, l_{p2}^M, \dots, l_{pn}^M$, то вони є порядковими статистиками [117,118] $l_{p1}^M = x_1, l_{p2}^M = x_2, \dots, l_{pn}^M = x_n$ випадкової величини X , яка розподілена на відрізку від 0 до x при цьому $\{x = x_1 + x_2 + \dots + x_n > x\}$ послідовність настання кожної i -ї події на цьому відрізку, якщо розглянути кожну подію окремо $\{x_1 > x\} + \{x_1 < x, x_1 + x_2 > x\} + \dots + \{x_1 + \dots + x_{n-1} < x, x_1 + \dots + x_{n-1} + x_n > x\}$

ймовірність настання події буде визначатись наступним чином:

$$P\{X > x\} = P_0(x) + P_1(x) + P_i(x) + \dots + P_{n-1}(x). \quad (2.30)$$

Імовірність i -ї події, поява котрої залежить від пересування між кінцевими ЗП, з точки зору появи пересування на певну відстань настання якої відповідає розподілу Пуассона [120]

$$P_i(x) = \frac{(\lambda x)^i}{i!} e^{-\lambda x}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (2.31)$$

де λ – параметр розподілу Пуассона.

При $i = 0$, тобто жодної події не було, залежність (2.31) після перетворення визначається як

$$P_0(X > x) = \frac{(\lambda x)^0}{0!} e^{-\lambda x} = e^{-\lambda x} \quad (2.32)$$

Тоді залежність (2.30) для пересувань на території міста з урахуванням залежності (2.31) та (2.32) набуває наступного вигляду

$$\begin{aligned} P\{l_p > l_p^M\} &= e^{-\lambda l_p^M} + \lambda l_p^M e^{-\lambda l_p^M} + \frac{(\lambda l_p^M)^2}{2!} e^{-\lambda l_p^M} + \dots \\ &+ \frac{(\lambda l_p^M)^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda l_p^M} = e^{-\lambda l_p^M} \cdot P_{n-1}(\lambda l_p^M) \end{aligned} \quad (2.33)$$

де λ – параметр форми гама-розподілу;

n – параметр масштабу гама-розподілу;

l_p – відстань поїздки, км;

l_p^M – відстань поїздки в межах міста, км.

Пересування за межі міста, тобто на відстань пересування в приміському сполученні l_p^{np} , можливо розглядати як частину величини l_p , яка відповідно буде більшою, ніж відстані пересування на території міста l_p^M . За умови, що $l_p^M > 0$, $l_p^{np} > 0$, імовірність буде визначатись згідно (2.33)

$$\begin{aligned}
P\{l_p > l_p^M + l_p^{np}\} &= e^{-\lambda(l_p^M + l_p^{np})} + \lambda(l_p^M + l_p^{np})e^{-\lambda(l_p^M + l_p^{np})} + \\
&+ \frac{[\lambda(l_p^M + l_p^{np})]^2}{2!}e^{-\lambda(l_p^M + l_p^{np})} + \dots + \frac{[\lambda(l_p^M + l_p^{np})]^{n-1}}{(n-1)!}e^{-\lambda(l_p^M + l_p^{np})}, \quad (2.34) \\
&= e^{-\lambda(l_p^M + l_p^{np})} \cdot P_{n-1}[\lambda(l_p^M + l_p^{np})]
\end{aligned}$$

Умовна ймовірність величини l_p^{np} , тобто відстані поїздки у при-
міському сполученні L_p^{np}

$$\begin{aligned}
P\{l_p > l_p^M + l_p^{np} | l_p > l_p^M\} &= \frac{P\{l_p > l_p^M + l_p^{np}, l_p > l_p^M\}}{P\{l_p > l_p^M\}} = \\
&= \frac{P\{l_p > l_p^M + l_p^{np}\}}{P\{l_p > l_p^M\}} = P\{L_p^{np} > l_p^{np}\} \quad (2.35)
\end{aligned}$$

де L_p^{np} – випадкова величина, розподіл якої є продовженням – «хвостом» – розподілу випадкової величини l_p^M .

$$L_p^{np} = \{l_p - l_p^M | l_p > l_p^M\}. \quad (2.36)$$

Звідси функція розподілу величини L_p^{np}

$$P\{L_p^{np} \leq l_p^{np}\} = 1 - P\{L_p^{np} > l_p^{np}\}. \quad (2.37)$$

Згідно залежності 2.36, яка є умовною ймовірністю, підставимо значення $P\{l_p > l_p^M + l_p^{np}\}$ по залежності 2.34 та значення $P\{l_p > l_p^M\}$ по залежності 2.33 для визначення функції розподілу величини $P\{L_p^{np} > l_p^{np}\}$

$$\begin{aligned}
P\{L_p^{np} > l_p^{np}\} &= \\
&= \frac{e^{-\lambda(l_p^M + l_p^{np})} \left[1 + \lambda(l_p^M + l_p^{np}) + \frac{(\lambda(l_p^M + l_p^{np}))^2}{2!} + \dots + \frac{(\lambda(l_p^M + l_p^{np}))^{n-1}}{(n-1)!} \right]}{e^{-\lambda l_p^M} \left[1 + \lambda l_p^M + \frac{(\lambda l_p^M)^2}{2!} + \dots + \frac{(\lambda l_p^M)^{n-1}}{(n-1)!} \right]} = \\
&= e^{-\lambda l_p^{np}} \cdot \frac{Q_{n-1}(l_p^M + l_p^{np})}{Q_{n-1}(l_p^M)}
\end{aligned} \tag{2.38}$$

де Q_{n-1} - багаточлен $(n - 1)$ -го ступеня

$$Q_{n-1} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(\lambda l_p^M)^i}{i!}. \tag{2.39}$$

Залежність 2.39 визначає часткову суму ступеневого ряду для $e^{-\lambda l_p^M}$ до ступеню $(n - 1)$. Згідно залежності 2.37 та 2.38 функція розподілу величини L_p^{np}

$$F_{L_p^{np}}(l_p^{np}) = 1 - e^{-\lambda l_p^{np}} \cdot \frac{Q_{n-1}(l_p^M + l_p^{np})}{Q_{n-1}(l_p^M)}. \tag{2.40}$$

Коли відношення поліномів $\frac{Q_{n-1}(\lambda(l_p^M + l_p^{np}))}{Q_{n-1}(\lambda l_p^M)}$ із залежності

(2.40) практично дорівнює одиниці, у нашому випадку залежність (2.35) набуває наступного вигляду

$$P\{L_{p1}^{np} > l_p^M + l_p^{np} \mid L_{p1}^{np} > l_p^M\} = \frac{e^{-\lambda(l_p^M + l_p^{np})}}{e^{-\lambda l_p^M}} = e^{-\lambda l_p^{np}}. \tag{2.41}$$

Тобто, якщо розглядати розподіл величини відстані переміщення за межі міста, вона буде мати показниковий розподіл за умови, що він є частиною розподілу величини відстані поїздки як території-

єю міста, так і за його межі. Отриманий теоретичний результат відносно показникового розподілу відстаней приміських пересувань потребує відповідної експериментальної перевірки. Оскільки поїздки в приміському сполученні здійснюються частково (починається на території міста), при визначенні величини l_p^{np} треба враховувати тільки відстань за межами, тобто згідно з гіпотезою дослідження було встановлено, що її розподіл повинен бути показниковим з параметром зсуву:

$$F(l'_p) = 1 - e^{-\lambda l'_p}, \quad l'_p = L_p^{np} - l_{\min} \geq 0 \quad (2.42)$$

де λ – параметр показникового розподілу;

L_p^{np} – відстань поїдки в приміському сполученні між кінцевими ЗП, км;

$l_{\min}$ – мінімальна частина відстань поїдки у приміському сполученні, яка долається на території міста, км;

l'_p – частина відстані поїдки у приміському сполученні, яка долається за межами міста, км.

2.4 Теоретичні передумови використання закономірностей розподілу відстані поїздок у приміському сполученні при розрахунку МПК

Визначення закономірностей розподілу величини l'_p створює основу для визначення потреб у поїздках громадським транспортом у приміському сполученні, яка відбиває розподіл відстаней, на котрі реалізовані всі приміські пасажирські кореспонденції. Як було визначено формування кореспонденцій між джерелом (місцями) транспортних переміщень представляє МПК.

Набір відстаней пересувань населення в приміському сполученні, розподіл яких задає частоту здійснення пересування в рамках заданого інтервалу віддаленості від міста, можна сформулювати, наступним чином:

- формування МПК повинно базуватись на основі пересувань мешканців населених пунктів у приміському сполученні окремо в напрямку до міста в ранковий період та з міста у вечірній період;

- матриця відстаней між населеними пунктами в приміському сполученні, які представляють ТР (при цьому може бути здійснено об'єднання ЗП, які розташовані на території населеного пункту) та МПК, повинні мати однакові розмірності;

- значення в клітинці матриці відстаней являє собою дальність переміщення між пунктами відправлення та прибуття пасажирів, а відповідне значення в МПК (розташоване на перетині тих самих рядка та стовпчика матриці) – кількість пересувань на дану відстань.

Таким чином здійснюється трансформація матриці відстаней через призму МПК, що в результаті породжує відповідний розподіл відстаней пересування в приміському сполученні населення територію навколо міста. Причому попит на пересування враховує переміщення в напрямку міста в ранковий період та окремо для переміщень у зворотному напрямку.

Виходить, що щільність показникового розподілу згідно (2.42) буде визначати, наскільки часто трапляються шляхи пересування певної відстані населення приміської зони за відстанню пересування між певними місцями роботи, навчання, побутових потреб, відпочинку та проживання за умови МПК, у якій всі діагональні елементи рівні нулю (внутрішньорайонні кореспонденції в даному дослідженні не розглядаються), а позадіагональні – одиниці:

$$H = \{h_{ij}\} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad i, j = 1, 2, \dots, m. \quad (2.43)$$

У практиці розрахунків матриць пасажирських кореспонденцій, залежно від функціональних зв'язків міста та приміської зони, така ситуація можлива лише в теоретично. На практиці вона не трапляється, і тому відповідність фактичному розподілу відстані поїздок згідно (2.42) залежить від способу (стратегії) заповнення МПК.

Взявши до уваги, що значення в клітинках МПК являють собою частоту здійснення пересувань на певну відстань та користуючись поняттями статистичної ймовірності деякої події і повної групи подій, ймовірність виникнення певної кореспонденції може бути записана наступним чином:

$$p(h_{ij}) = \frac{h_{ij}}{H}, \quad H = \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^m h_{ij}. \quad (2.44)$$

Емпірична ймовірність здійснення пересування h_{ij} на певну відстань $l'_{p_{ij}}$ визначається як

$$P_{emn}^{(h_{ij})} \{l'_{p_{ij}} \in \Delta\} = \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^m \frac{h_{ij}}{H} I_{\{l'_{p_{ij}} \in \Delta\}}, \quad (2.45)$$

де $I_{\{l'_{p_{ij}} \in \Delta\}}$ – індикатор події, котра полягає в тому, що відстань пересування $l'_{p_{ij}}$ буде належати деякому інтервалу Δ .

Тобто вираз (2.45) є ймовірнісною сумішшю індикаторів подій $I_{\{l'_{p_{ij}} \in \Delta\}}$. Оскільки відстані $l'_{p_{ij}}$ гіпотетично можуть бути описані показниковим розподілом, то за наявності ймовірності здійснення пересування на певну відстань, яка належить інтервалу Δ та матриці відстаней між об'єктами тяжіння (ЗП, ТР) на основі інтервальної концепції визначення потреб у пересуваннях, можливо визначити такі стани МПК, які відповідають показниковому розподілу $l'_{p_{ij}}$. Слід звернути увагу на те, що за умови відсутності кореспонденції h_{ij} на відстань $l'_{p_{ij}}$ не буде здійснено жодного пересування і відповідна складова (чи декілька складових) суми (2.45) буде дорівнювати 0, така ситуація для МПК у приміському сполученні може бути характерна для пересувань між населеними пунктами, де відсутня потреба в пересуванні порівнянна з потребою в пересуваннях до міста; і таких значень у МПК у приміському сполученні може бути набагато більше, ніж в міському сполученні. Оскільки відстані $l'_{p_{ij}}$ здогадно можуть бути описані показниковим розподілом, можна висунути гіпотезу про те, що теоретична ймовірність здійснення h_{ij} поїздок на відстань $l'_{p_{ij}}$ в загальному випадку також буде визначатися щільністю показникового розподілу [54, 121]. Це створює можливість визначення таких станів МПК, які відповідають закономірностям розподілу відстаней пе-

ресувань у заданому інтервалі. Можливими станами МПК будуть всі ті, які спричиняють виникнення показникового розподілу відстаней поїздок, що можуть бути наближені кривою щільності показникового розподілу.

Станів МПК, які відповідають закономірностям розподілу відстаней, які описуються щільністю показникового розподілу, теоретично може бути безліч. Це зумовлюється кількістю об'єктів транспортного тяжіння в приміському сполученні, що в моделях ТС зазвичай об'єднуються у ТР, яких навіть для невеликих міст та їх оточення може бути досить багато та залежить від потрібної точності (необхідного рівня деталізації) моделі. Кількість всіх можливих варіантів переміщень людей між цими об'єктами (що описуються відповідними станами МПК) є надзвичайно великою та стрімко зростає з ростом розмірності матриці [121, 122]. Такий спосіб визначення МПК можна застосовувати за умови відсутності фактичної інформації щодо розподілу поїздок у приміському сполученні.

Підтвердження теоретичних положень, які вищевикладені, потребують експериментальної перевірки, результати якої дозволять встановити можливість розрахунку МПК на основі закономірностей розподілу відстаней поїздок у приміському сполученні. Також підтвердження викладених теоретичних основ означатиме, що відповідність показникового розподілу відстаней поїздок у приміському сполученні є частиною гама-розподілу, який описує закономірності розподілу відстаней поїздок як на території міста, так і за його межами, а це, у свою чергу, значить, що закономірності які застосовані на території міста мають продовження і за його межами та за умови відомого розподілу відстаней поїздок населення в приміському сполученні можливим є відшукування тих станів МПК, які породжують ці закономірності. Доцільним буде застосування інтервальної концепції визначення потреб у послугах ГТ у приміському сполученні як такої, що враховує ймовірнісний характер транспортних зв'язків населення та позбавлена недоліку точкової оцінки МПК.

Застосування інтервальної концепції на прикладі приміського сполучення також дає змогу визначення певних меж впливу міста на інтенсивність пересувань у приміській зоні залежної від віддаленості населених пунктів від міста. Сформовані МПК зроблять можливим інтервальну оцінку будь-яких показників, пов'язаних з реалізацією потреб у перевезеннях та відповідно якістю транспортного обслуго-

вування населення автомобільним транспортом загального користування в приміському сполученні.

Висновки

Встановлено, що точність прогнозування інтенсивності транспортних потоків за допомогою моделей міжміського сполучення значно знижується поблизу великих міст. Це може бути пояснено особливостями формування вантажних та пасажирських потоків на підходах до великих міст. Серед факторів, які суттєво впливають на ІР у приміському сполученні, пропонується розглядати віддаленість ділянки автомагістралі від міста та чисельності населення міста, які характеризують вплив міста на ІР. Залежність між існуючою ІР та відстанню ділянки автомагістралі до центру міста, якщо розглядати закономірності показникової функції, запропоновано представити у вигляді логарифмічного перетворення ІР з використанням відстані між центром міста й ділянкою визначення ІР за основою.

При визначенні особливостей формування пасажиропотоків у приміському сполученні, якщо розглядати цей показник з точки зору реалізації потреб в пересуваннях, що реалізується в рамках заданої транспортної пропозиції, доцільно розглядати розподіл транспортного попиту на території, що оточує місто залежно від існуючої інфраструктури ГТ. Для цього необхідно визначити взаємозв'язок між розміщенням ЗП на території міста та навколо нього та закономірності у відстанях пересувань мешканців приміської зони.

Взаємне розташування ЗП характеризує розподіл просторових координат ЗП, який повинен відповідати двомірному нормальному розподілу на міській території та навколо неї, що може бути твердженням існування спільних закономірностей на відповідних територіях. Дане твердження можна перевірити із застосуванням розподілу Релея стосовно опису закономірностей у відстанях між центром розсіювання та кожною ЗП на території міста та приміської зони.

Теоретичне дослідження застосування розподілу Релея для опису відстаней між центром розсіювання й процесом появи ЗП на радіальному перегоні на території міста та навколо обласного центру дає змогу стверджувати, що закономірності у відстанях між ЗП на території області повинні відповідати нормованому подовженню розподілу Релея.

Теоретичне дослідження відстаней пересування в приміському сполученні вказало на те, що закономірності даної величини повинні відповідати показниковому розподілу з параметром зсуву на мінімальну довжину поїздки в приміському сполученні за умови, що цей розподіл є продовженням гама-розподілу на міській території.

Знання характеру закономірностей розподілу відстаней пересування в приміському сполученні та матриці відстаней між об'єктами тяжіння створює основу для визначення потреб у пересуваннях у приміському сполученні, оскільки можливим є відшукування таких станів МПК, які породжують дані закономірності. Застосування методики визначення потреб у рамках інтервальної концепції дозволить врахувати ймовірнісний характер пересувань та встановити так звані межі зон впливу міста на пересування в приміському сполученні.

З ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТРЕБ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ

З метою підтвердження розроблених теоретичних основ щодо закономірностей формування пасажиропотоків у приміському сполученні потрібно використовувати емпіричний матеріал, який відноситься до міст різних категорій, які характеризуються різними параметрами стосовно чисельності населення та конфігурації території навколо міста, мають не тільки домінуючий громадський автомобільний транспорт в обслуговуванні пасажирів. Це дасть можливість ретельно перевірити правильність міркувань щодо впливу міст на інтенсивність пересувань у приміському сполученні та виникнення закономірностей, які є частиною або подовженням закономірностей на території міста.

3.1 Оцінка впливу населених пунктів на інтенсивність руху у приміському сполученні

Для отримання об'єктивної інформації про ІР ТП необхідні знання про її фактичні значення за видами ТЗ. Ці дані були надані Держаним агентством автомобільних доріг України під час моделювання ІР ТП на мережі міжнародних, національних та регіональних автомобільних доріг загального користування. До складу транспортних потоків увійшло 9 категорій ТЗ: легкові, вантажні легкі, вантажні середні, вантажні важкі, автобуси середні, автобуси важкі, тягачі, автопоїзди, мотоцикли та інші [107]. Остання категорія «мотоцикли та інші ТЗ» складає лише 1,6 % всього ТП, що з точки зору середньо- та довгострокового прогнозування є дуже мало значущою величиною, тому в подальшому вона не враховується.

Перші 8 категорій ТЗ були об'єднані у три узагальнені категорії: легкові автомобілі, вантажівки та автобуси.

З даних обстежень основну масу ТП складають легкові автомобілі – 63,2 %, вантажівки – 32,6 % і лише 4,2 % – автобуси. Але в деяких випадках на окремих ділянках спостерігається такий склад транспортних потоків, який суттєво відрізняється від наведених середніх величин. Подібні коливання обумовлені власною роллю, яку відіграє кожна конкретна ділянка в мережі АД загального користування,

що вимагає ретельної оцінки цієї ролі при детальному розгляді структури транспортних потоків. Слід пам'ятати, що всі значення ІР є лише конкретною реалізацією відповідної випадкової величини, тому й частка складових ТП є випадковим значенням. При цьому різні статистичні моделі для кожного виду транспорту автоматично будуть приводити до перерозподілу складу ТП при зміні незалежних факторів моделі.

Вплив поїздок у приміському сполученні на ІР на автомобільних дорогах загального користування на території України гарно ілюструє картограма добової ІР рис. 3.1, [107].

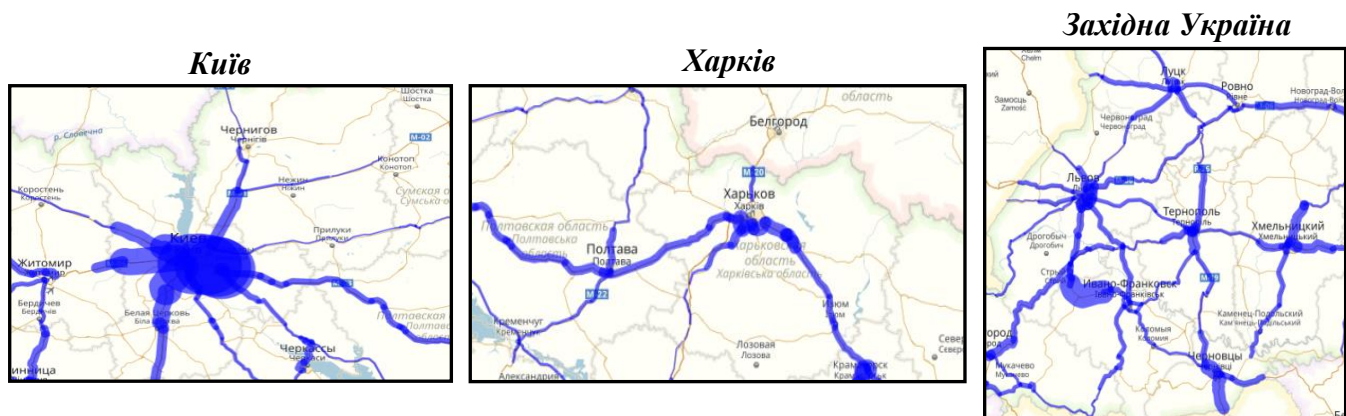


Рис. 3.1. Картограма ІР на автомобільних дорогах загального користування України поблизу міст з різною чисельністю населення

Можна спостерігати різкі скачки інтенсивності руху біля міст, в основному великих, що є обласними центрами. Коливання інтенсивності можна спостерігати й окремо за різними категоріями автомобільних доріг, і на підходах до населених пунктів різної чисельності населення рис. 3.2, [107]. Саме такі різкі скачки ІР можуть пояснюватись впливом міст з різною чисельністю населення.

Як було припущено в другому розділі, на величину транспортного потоку впливає відстань до центру найближчого міста. Задля цього було здійснено об'єднання значень ІР на всіх категоріях доріг, яке призводить до дуже широкого розкиду значень інтенсивності для різних складів ТП залежно від відстані до найближчого населеного пункту. При цьому розглядались ділянки на мережі міжнародних, національних та регіональних доріг загального користування. До розгляду брались ділянки поблизу населених пунктів районного та обласного значення з чисельністю населення більш 7 тис. осіб. При цьому

зона впливу населеного пункту не обмежувалась зоною дії приміського сполучення, оскільки до уваги брались різні види сполучень та категорії ТЗ. У результаті було отримано 713 значень ІР ТЗ різних категорій для 81 населеного пункту на території України. При цьому загальна ІР ТЗ складала не менш 500 од./доб.

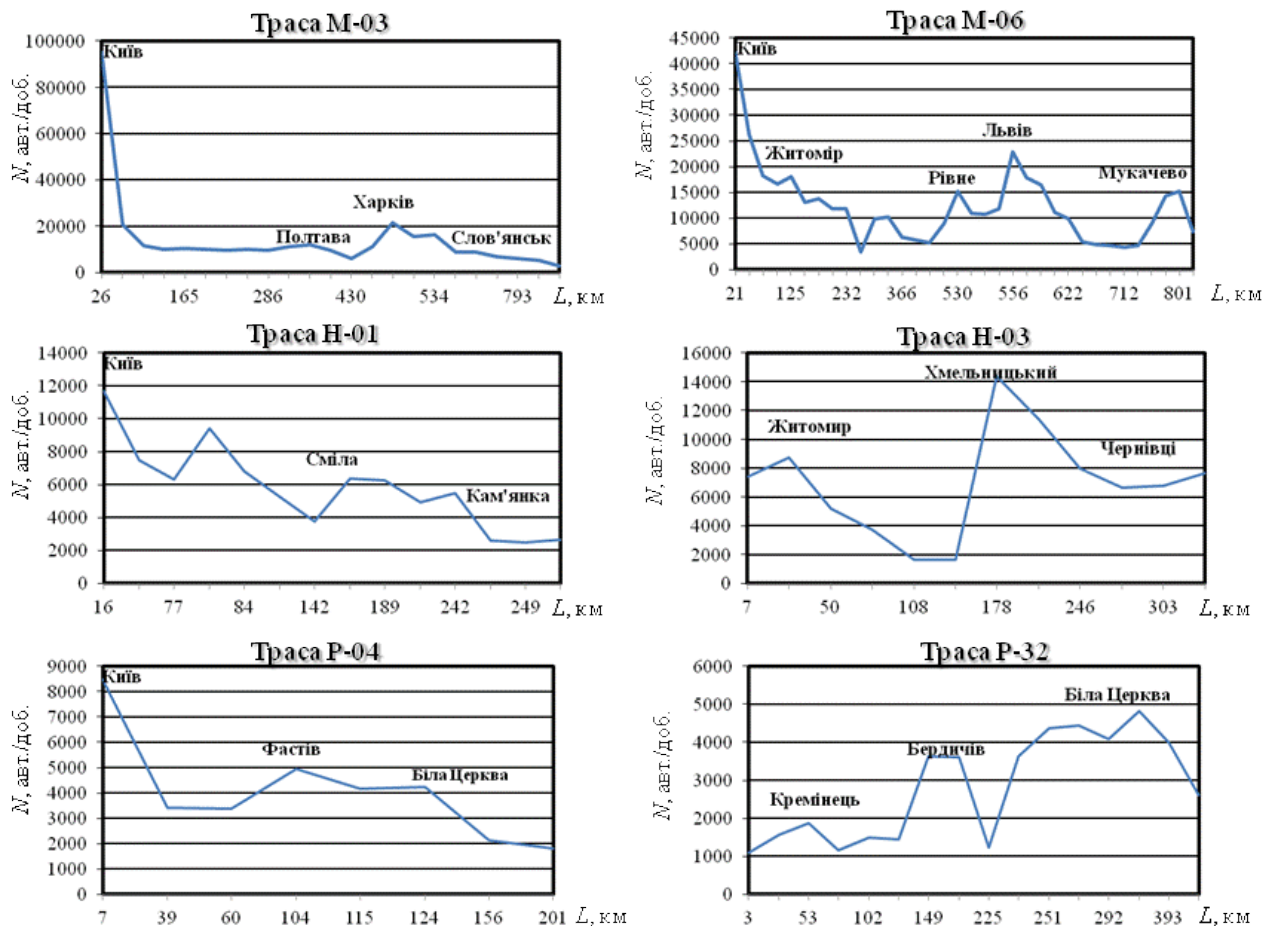


Рис. 3.2. Коливання ІР на автомобільних дорогах різних категорій

При розгляді величини загальної ІР ТЗ і окремо ІР для кожної категорії ТЗ рис. 3.3 – 3.6 залежно від відстані до центру міста можна побачити деяку кореляційну залежність, але кореляційне поле є не дуже щільним і слабо спрямованим. При цьому коефіцієнт лінійної кореляції складає для громадського транспорту – 0,21, для вантажного транспорту – 0,22, для індивідуального транспорту – 0,29, що говорить про наявність певного зв'язку між цими показниками, але характер цього зв'язку слабкий.

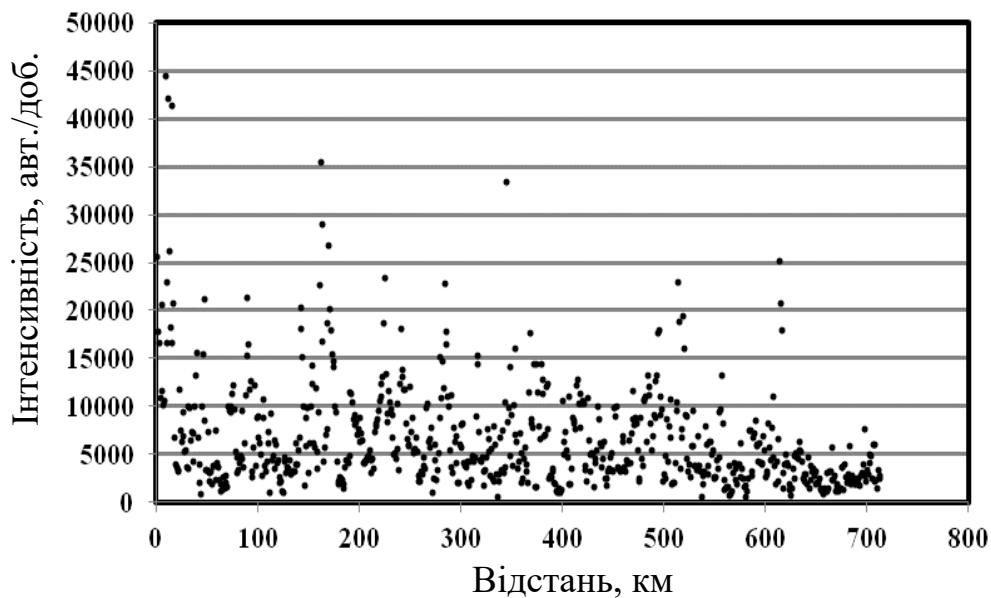


Рис. 3.3. Розподіл загальної ІР в залежності від відстані до центру міста

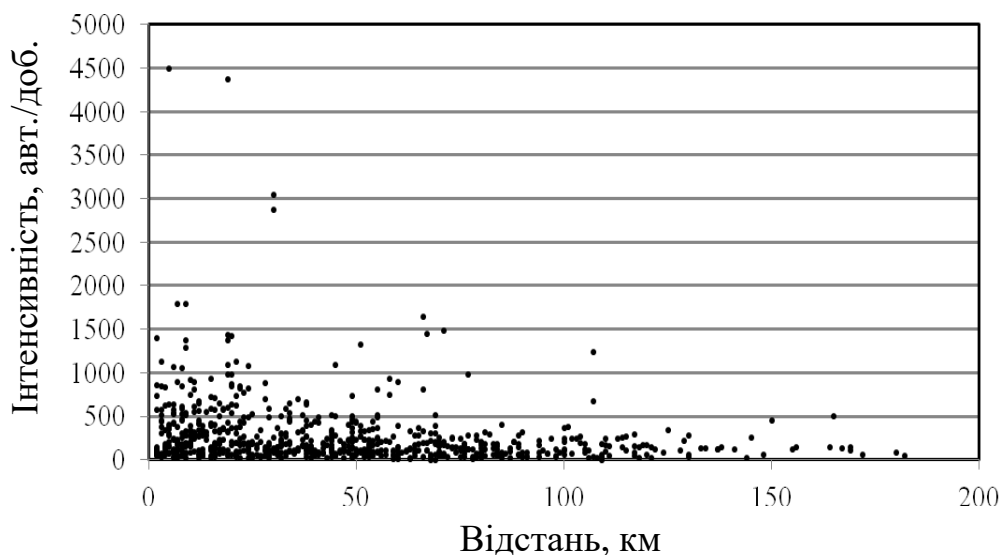


Рис. 3.4. Розподіл ІР ГТ в залежності від відстані до центру міста

На підставі залежності 2.2 було виконано перетворення ІР для різних категорій транспорту залежно від відстані до центру міста, що привело до яскраво вираженої гіперболічної залежності між даними величинами, рис.3.7 – 3.9. У цьому випадку коефіцієнт лінійної кореляції для ГТ склав – 0,57, для вантажного транспорту – 0,56, для індивідуального транспорту – 0,54. Це підтверджує взаємозв'язок між цими величинами і не спростовує гіпотезу про вплив відстані до на-

селеного пункту на ІР як вантажного і індивідуального транспорту, так і на ІР громадського транспорту.

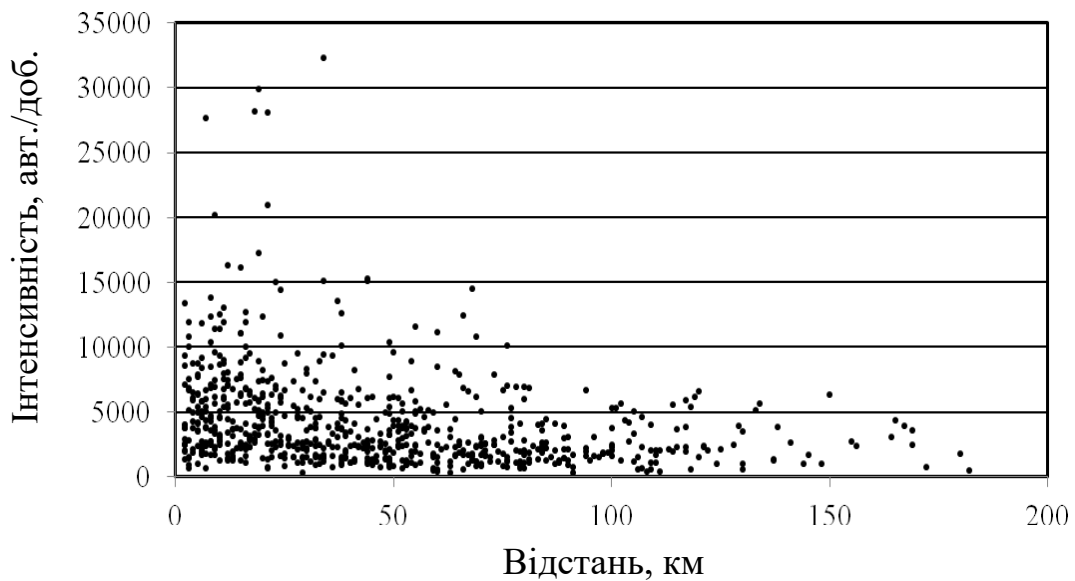


Рис. 3.5. Розподіл ІР індивідуального транспорту в залежності від відстані до центру міста

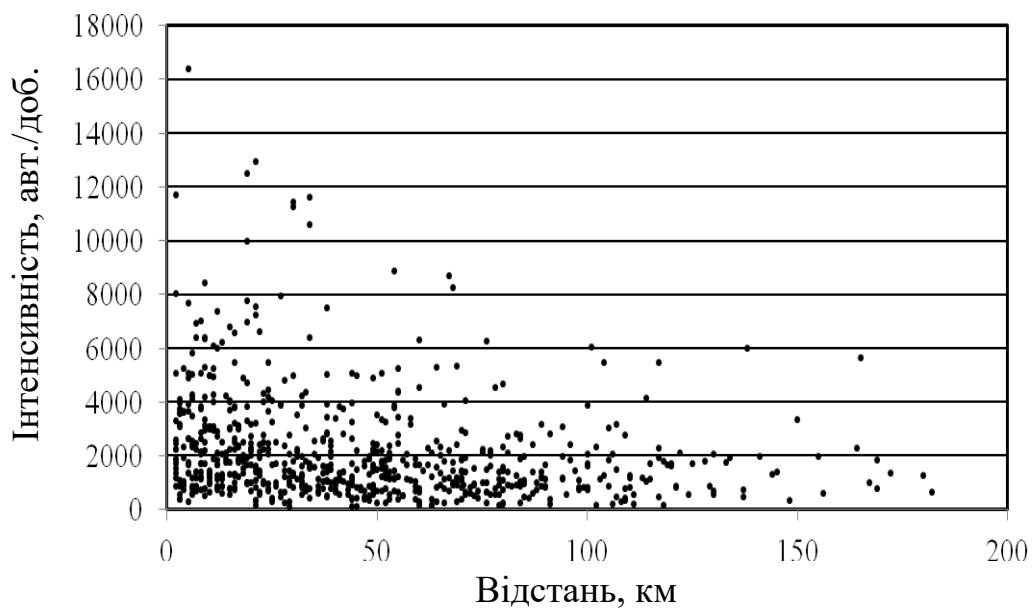


Рис. 3.6. Розподіл ІР вантажного транспорту в залежності від відстані до центру міста

На підставі запропонованої в підрозділі 2.4 залежності були отримані регресійні моделі 3.1 – 3.3 перетвореної інтенсивності транспортних потоків від відстані між місцем її фіксації та центром міста, а також від чисельності населення міста для різних категорій ТЗ.

$$N'_e = \text{Log}_L N_e = 1,169 + 18,48 \cdot \frac{1}{L} + 0,031 \cdot P^{0,367}, \quad (3.1)$$

$$N'_l = \text{Log}_L N_l = 1,334 + 19,79 \cdot \frac{1}{L} + 0,031 \cdot P^{0,367}, \quad (3.2)$$

$$N'_a = \text{Log}_L N_a = 0,829 + 12,59 \cdot \frac{1}{L} + 0,023 \cdot P^{0,367}, \quad (3.3)$$

де P – чисельність населення міста або населеного пункту, у зоні впливу якого розташоване місце фіксації ІР, тис. осіб;

L – відстань від центру міста до ділянки фіксації ІР, км;

N_e, N_l, N_a – ІР вантажних, легкових автомобілів та автобусів відповідно, од./добу;

N'_e, N'_l, N'_a – перетворення ІР вантажних, легкових автомобілів та автобусів відповідно в залежності від L .

Залежність між відстанню та N' для загальної ІР ТП представлені на рис.3.7.

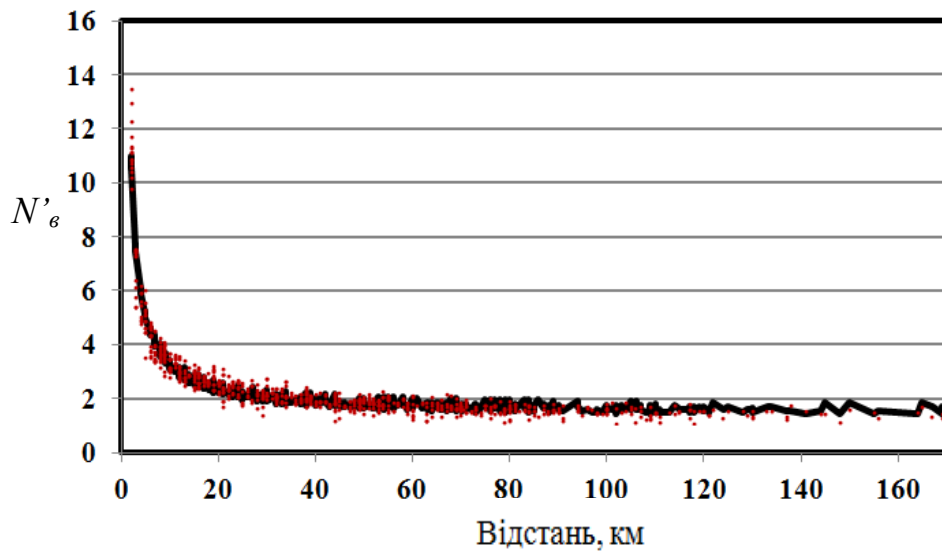
Залежність між відстанню та N' для вантажного транспорту згідно 3.1 представлена на рис. 3.8. Треба зазначити, що тіснота зв'язку між цими величинами зросла в порівнянні з рисунком 3.6 і щільність значно зменшилась відносно значення перетворенної ІР даної категорії ТЗ. Залежність згідно моделі не має практично розкиду значень до відстані 60 км, потім спостерігаються не значні відхилення по мірі віддаленості від міста.

Згідно рис.3.8 також можнос стверджувати, що існує тісний зв'язок між цими величинами в порівнянні з рис. 3.5 і щільність його має такіж самі тенденції по мірі віддаленості від міста.

Для індивідуального транспорту залежність між відстанню та N' згідно 3.2 представлена на рис.3.9.

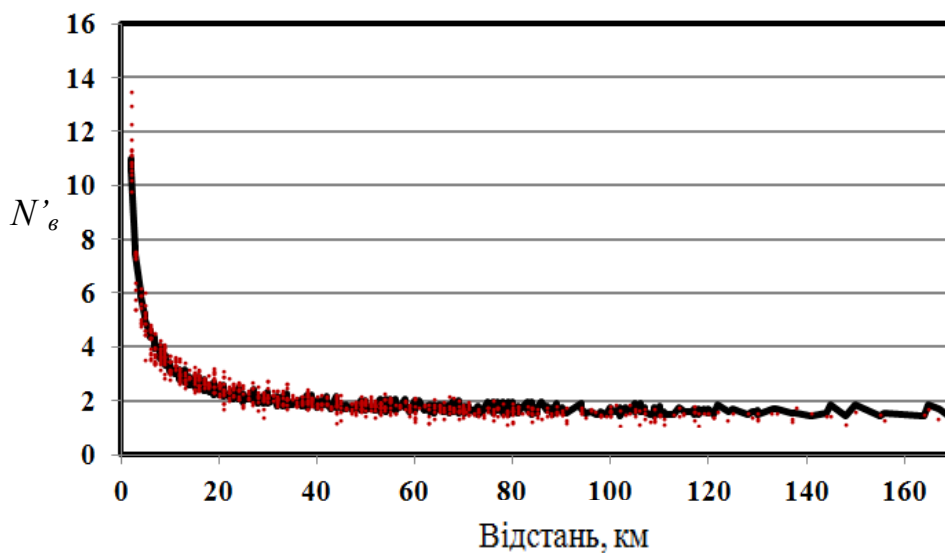
Для громадського транспорту залежність між відстанню та N' згідно 3.3 наведено на рис.3.10. Візуально розкид значень більш ніж для ватажного та інівідульного транспорту, що може пояснюваттсь існуючими умовами організації приміських маршрутів та особливостями формування пасажиропотоків для кожного міста. Але взагалом в порівнянні з рис. 3.4 також вказує про існування більш тісного зв'я-

зоку і щільність його має такіж самі тенденції по мірі віддаленності від міста



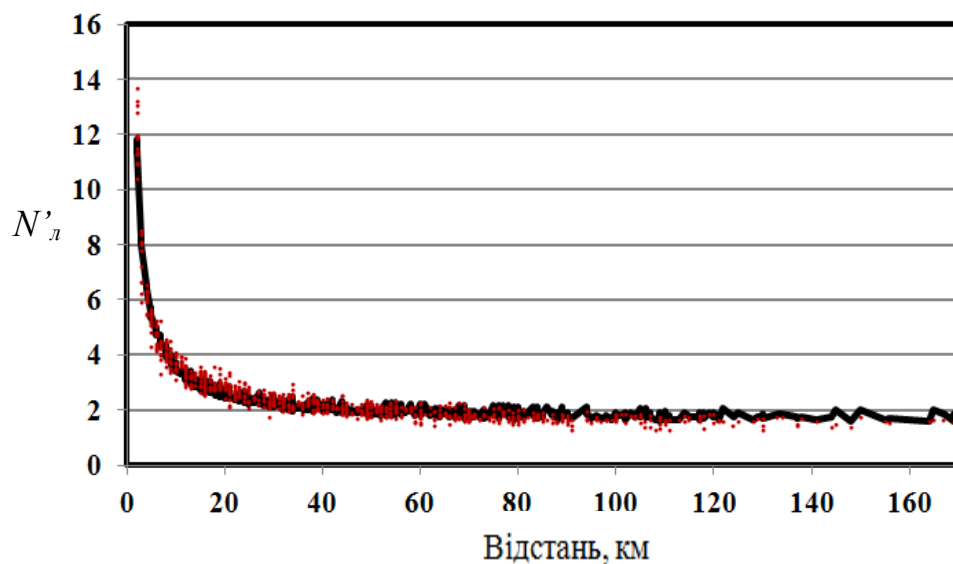
Умовні позначення: • — перетворення ІР ТП в залежності від відстані;
 — — перетворення ІР ТП по моделі.

Рис. 3.7. Залежність величини ІР ТП від L



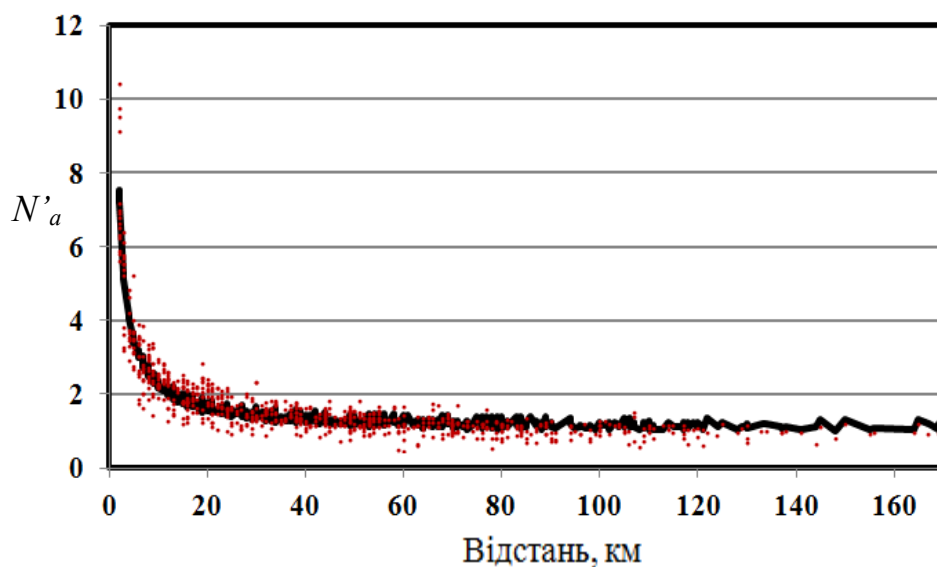
Умовні позначення: • — перетворення ІР ТП в залежності від відстані;
 — — перетворення ІР ТП по моделі.

Рис. 3.8. Залежність величини ІР вантажного транспорту від L



Умовні позначення: • – перетворення ІР ТП в залежності від відстані;
 — – перетворення ІР ТП по моделі.

Рис. 3.9. Залежність ІР індивідуального транспорту від L



Умовні позначення: • – перетворення ІР ТП в залежності від відстані;
 — – перетворення ІР ТП по моделі.

Рис. 3.10. Залежність величини ІР ГТ транспорту від L

Далі була проведена оцінка статистичної значимості моделей з використанням критерію Фішера [123], які надані в табл. 3.1. Статистичні характеристики моделей є дуже високими, що підтверджує

вплив відстані від ділянки магістралі до центру міста та чисельності населення на ІР ТП. Для пасажирського транспорту показники по моделі трохи менші ніж для вантажного та індивідуального, але їх значення також підтвержує значний вплив міста. на ІР ГТ.

Коефіцієнт кореляції перевищує 90 %, що свідчить про можливість використання моделі для прогнозування інтенсивності ТП для пасажирського та вантажного транспортного попиту в цілому в приміському сполученні. Це підтверджується високою інформаційною спроможністю моделі. Статистичні характеристики моделей представлені в таблицях 3.2 – 3.4.

Таблиця 3.1

Результати оцінки впливу параметрів L та P на ІР ТЗ

Показники	Значення		
	вантажівки	легкові	автобуси
Критерій Фішера:			
- табличний	1,98	1,98	1,98
- розрахунковий	8227,34	11137,17	2541,42
Коефіцієнт множинної кореляції	0,98	0,98	0,94
Середня помилка апроксимації, %	0,34	0,31	0,42
Кількість спостережень, од.	713	713	710

Таблиця 3.2

**Статистична характеристика коефіцієнтів моделі
для вантажного транспорту**

Статистична характеристика залежності	Константа	Коефіцієнт при факторі	
		L , км	P , тис. осіб
Значення коефіцієнту	1,169	18,48	0,031
Стандартна похибка коефіцієнту	0,033	0,144	0,001
Критерій Стюдента:	35,87	128,92	9,82
Ймовірність критерію	$1,43 \cdot 10^{-161}$	0	$2,047 \cdot 10^{-21}$

Згідно залежності 2.7 були визначені прогнозні значення ІР для кожної категорії ТЗ та 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.3.11.

Таблиця 3.3

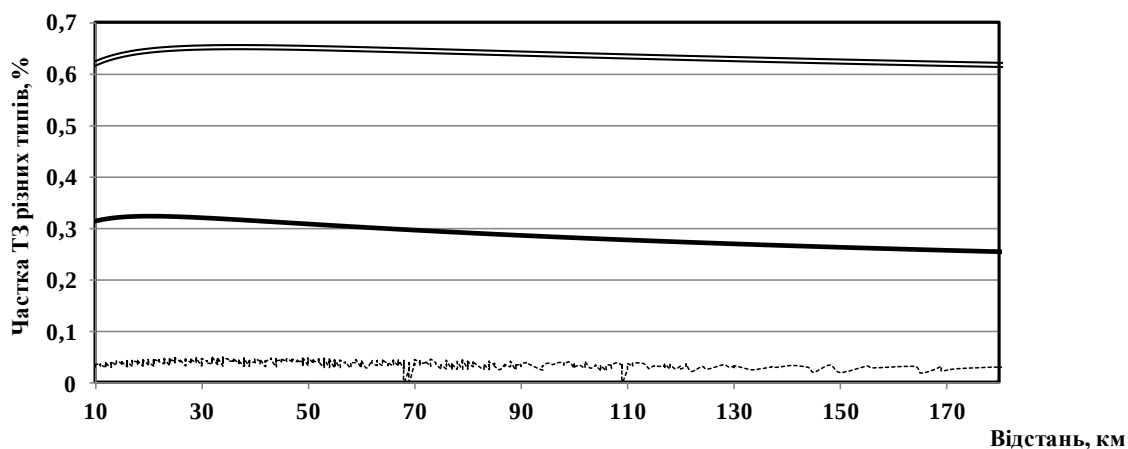
**Статистична характеристика коефіцієнтів моделі
для індивідуального транспорту**

Статистична характеристика залежності	Константа	Коефіцієнт при факторі	
		<i>L</i> , км	<i>P</i> , тис. осіб
Значення коефіцієнту	1,334	19,79	0,031
Стандартна похибка коефіцієнту	0,029	0,132	0,001
Критерій Стюдента	44,48	149,16	10,46
Ймовірність критерію	$1,69 \cdot 10^{-207}$	0	$2,37 \cdot 10^{-24}$

Таблиця 3.4

**Статистична характеристика коефіцієнтів моделі
для громадського транспорту**

Статистична характеристика залежності	Константа	Коефіцієнт при факторі	
		<i>L</i> , км	<i>P</i> , тис. осіб
Значення коефіцієнту	0,829	12,59	0,023
Стандартна похибка коефіцієнту	0,04	0,176	0,002
Критерій Стюдента:	20,648	71,267	5,713
Ймовірність критерію	$1,74 \cdot 10^{-74}$	0	$1,63 \cdot 10^{-08}$



Умовні позначення: — легкові автомобілі; — вантажівки; автобуси

**Рис. 3.11. Залежність прогнозової ІР відповідної категорії ТЗ
від відстані до міста**

Значення коефіцієнту варіації для всіх типів ТЗ менш 20 %, що свідчить про незначну міру відхилення від середнього значення та говорить про стабільність моделей. Максимальне відхилення середніх значень частки ТЗ від фактичних значень для громадського транспорту складає 0,6 %, для індивідуального транспорту – 0,4 %, для

вантажного – 2,4 %, що забезпечує можливість врахування змін у складі транспортних потоків.

Загальний розподіл складу ТП відповідає фактичним значенням ІР ТП. Загальний розподіл складу транспортних потоків відповідає фактичним значенням ІР транспортних потоків. Характеристики прогнозних значень складових ТП наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Статистична характеристика складу ТП

Показник	Тип транспортного засобу		
	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

Отримані моделі ІР для різних видів транспорту відображають тенденцію зростання інтенсивності ТП при наближенні ділянки АД до населеного пункту і підтверджують гіпотезу про вплив міста і таких параметрів як відстань і кількість мешканців населених пунктів на величину транспортних пересувань населення і підприємств міста і його оточення, які можуть бути основою для визначення обсягів пересувань на громадському транспорті в приміському сполученні.

Визначені фактори, які впливають на величину ІР громадського транспорту, свідчать про доцільність використання характеристик інфраструктури ГТ при визначенні закономірностей формування пасажиропотоків, а саме віддаленість об'єктів тяжіння від міста. Застосування запропонованої методики доцільно розглядати для міст різної категорії, які мають різну чисельність населення та підпорядкованість (обласний та районний центр). Запропонована модель (3.3) для громадського транспорту може використовуватись для визначення потенційної кількості мешканців населених пунктів, які здійснюють пересування в напрямку міста.

3.2 Дослідження закономірностей просторового розташування ЗП на території міста та його оточення

Згідно з викладеним у підрозділі 2.2, закон розподілу вектору $(X; Y)$ можна визначити, здійснивши перевірки придатності розподілу

Релея для опису відстаней за повітряною лінією від центру міста до всіх ЗП, які розташовані навколо міста (обласного центру) і дані закономірності повинні бути продовженням закономірностей у відстанях між ЗП, які розташовані на території міста [54]. Якщо такі перевірки дадуть позитивний результат, то розподіл $(X;Y)$ можна буде вважати двомірним нормальним або близьким до нього [110, 116, 117].

Для перевірки відповідності даного розподілу спочатку необхідно визначити координати для кожного ЗП в межах міста та його оточення та координату центральної точки відповідного міста. Для перевірки відповідності розподілу координат даному розподілу було розглянуто міста за різними групами відповідно чисельності населення, з чисельністю населення понад 1000 тис. осіб та від 100 тис. осіб до 1000 тис. осіб [12]. Характеристики ТМ було отримано для чотирьох міст України. А саме для міста Харкова, який належить до найкрупніших (найзначніших) міст, місто Львова, який належить до групи крупних (значних) міст, місто Рівне, яке належить до групи великих міст та міста Ужгорода, яке знаходиться поблизу державного кордону та належить до групи середніх міст. Малі міста, до яких належить міста обласного чи районного значення не розглядались у зв'язку з тим, що не можливо віднести їх до міських агломерацій. Характеристики міст за чисельністю населення представлено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Чисельність населення українських міст, охоплених дослідженням

Місто	Чисельність населення станом на 2019 р., тис. чол.
Харків	1446,107
Львів	721,878
Рівно	256,216
Ужгород	115,059

Харків – друге місто за чисельністю населення в Україні, яке є науковим центром країни та центром Харківської області. Харківська агломерація – моноцентрична міська агломерація на території Харківської області, що сформувалася навколо міста Харкова. Населення агломерації - близько 1,73 млн. осіб [124], що робить її другою за величиною агломерацією України. Площа приміської зони Харкова

становить 10,8 тис.км², у приміській зоні знаходиться 8 міст і 37 селищ міського типу, її максимальний радіус становить 45 км [18].

Характеристики ТМ міста Харкова були отримані в результаті госпдоговірної та наукової роботи співробітників кафедри транспортних систем і логістики та кафедри транспортних технологій ХНАДУ, а також студентів факультету транспортних систем. Згідно цієї роботи була розроблена модель ТС ГТ, у програмному пакеті VISUM німецької компанії PTV Planung Transport Verkehr AG [99]. У Харківській області дані ТМ були отримані на підставі характеристик автобусних маршрутів у приміському та внутрішньообласному сполученні на основі наданих ПАТ «Харківське підприємство автобусних станцій» та електронного ресурсу "Харьков транспортный" [125].

Загальна кількість маршрутів на території Харківської області складає 77 одиниць, 45 з яких є приміськими маршрутами і 32 внутрішньообласними.

Розташування ЗП на території області здійснюється визначенням координат ЗП за допомогою процедури геокодування [126], розташування ЗП на території міста визначено в роботі [54]. Загальна кількість ЗП на території міста та області складає 936 одиниць, з них 495 – зупинки громадського транспорту розташовані на території міста та 441 зупинки розташовані на території області.

Приклад розсіювання ЗП для міста Харкова та Харківської області наведений на рис. 3.12. Треба зазначити, що щільність розсіювання ЗП на території міста та області суттєво відрізняється. При цьому кількість ЗП на території міста та області практично однакові. Перш за все це пояснюється різницею в площі міста та області, а по друге, – щільність ЗП на території області залежить від наявності населених пунктів, які визначають попит на пересування, та розташуванням саме ЗП на існуючій транспортній мережі, яка складається з автомагістралей та доріг місцевого значення.

Варто зазначити, що щільність розсіювання ЗП поблизу міста значно більша, ніж у мірі віддалення від нього. Це може пояснюватися саме тим, що як і в місті причинами існування закономірностей розселення є процес виникнення об'єктів тяжіння, таких як місто або центральна частина міста, яка може бути таким же об'єктом для мешканців області.



Рис. 3.12. Розсіювання ЗП на території м. Харкова та Харківської області

Львів – місто обласного підпорядкування в Україні, обласний центр Львівської області. Місто знаходиться приблизно за 540 км на захід від Києва, на відстані близько 70 км від кордону з Польщею. Станом на 2019 рік у місті нараховується 56 міських автобусних маршрутів, які обслуговуються 4 приватними перевізниками та комунальним АТП № 1. Працює лише 51 маршрут, з них 9 на тимчасових договорах. Громадський транспорт на території Львівської області курсує з 6 автостанцій та з 11 початкових зупинок: вул. Зернова; вул. Ветеранів; вул. Степана Бандери; вул. Митна; площа 700-ліття Львова; площа Петрушевича; Привокзальний ринок; Приміський вокзал; ринок Південний; вул. Джорджа Вашингтона та Церква Святої Анни.

Розташування ЗП на території міста та області було також визначено за допомогою процедури геокодування [126]. Характеристики маршрутів приміського та внутрішньообласного сполучення за актуальними напрямками руху було визначено на базі інформаційного сервісу з надання транспортних послуг Bus.com.ua. та Easy Way [127, 128]. Кількість ЗП на території міста - 609 од., у приміському сполученні та на території області складає - 495 од. Приклад розсіювання ЗП для міста Львів та Львівської області наведений на рис. 3.13.

Треба зазначити, що щільність розсіювання ЗП на території міста та області також суттєво відрізняється, як і на території Харкова та Харківської області. Причини різниці щільності в ЗП пояснюються також як і на території Харкова та його оточення. Щільність розсію-

вання ЗП поблизу міста не така велика, як на території Харкова, але все одно спостерігається її збільшення.

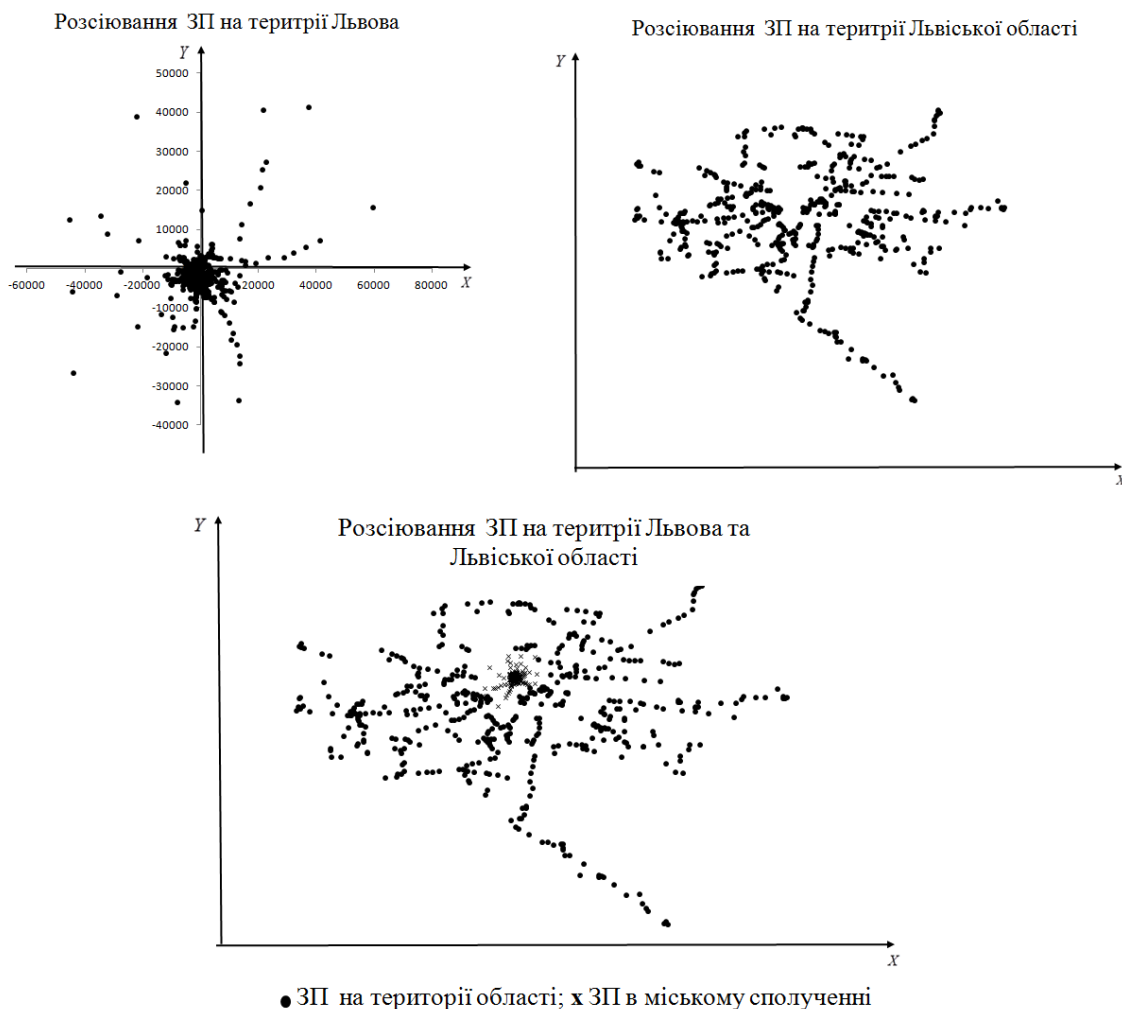


Рис. 3.13. Розсіювання ЗП на території м. Львів та Львівської області

Місто Рівне знаходиться в південно-західній частині України. Воно є культурним, політичним, соціально-економічним та транспортним центром для мешканців області та приміської зони з кількістю районів – 16 од., загальна кількість сільських населених пунктів – 999 од., у яких мешкає 606 954 тис. чол. [124].

Розташування ЗП було визначено відносно населених пунктів, які знаходяться на території області [126] та розкладу руху й характеристики маршрутів [127, 128], загальна кількість ЗП склала 446 од.. Розташування ЗП на території міста Рівне було визначено на основі характеристики інфраструктури міського громадського транспорту [128], загальна кількість тільки автобусних маршрутів складає 32 од.,

кількість ЗП складає 180 од. Приклад розсіювання ЗП на території міста та області представлений на рисунку 3.14.

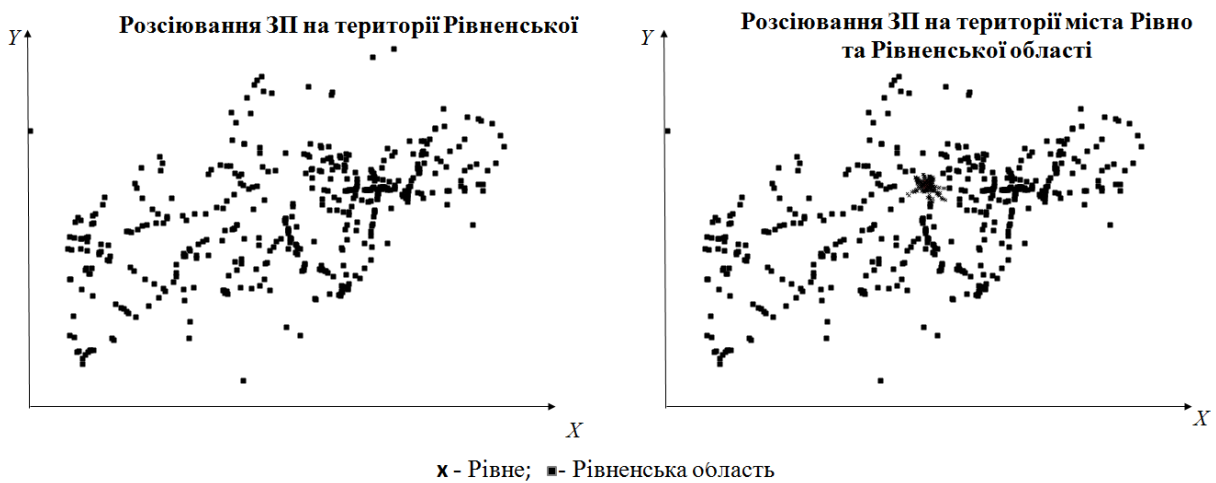


Рис. 3.14. Розсіювання ЗП на території м. Рівне та Рівненської області

Розсіювання ЗП на території Рівненської області має на відміну від Харківської та Львівської областей, яка полягає у більш рівномірній щільності розсіювання ЗП територією області, немає яскраво вираженого збільшення щільності розташування ЗП у міру наближення до міста. Перевірка за таких умов розташування може бути ще одним підтвердженням використання двомірного нормального розподілу.

Місто, яке належить до середніх міст, – Ужгород – є адміністративним центром Закарпатської області та Ужгородського району. Розташоване за 811 км від столиці, поблизу із державним кордоном зі Словаччиною. Ужгород є найбільшим транспортним вузлом Закарпатської області, через який проходить низка європейських автошляхів. Зовнішні зв'язки міста та його приміської зони забезпечуються повітряним, залізничним та автомобільним транспортом. Більший обсяг перевезень у місті Ужгород припадає на громадський пасажирський транспорт, головною чинною організацією з надання транспортних послуг є АТ «Закарпатавтотранс». Товариство було створене у 1996 р. на базі Закарпатського територіально-виробничого об'єднання автомобільного транспорту. Метою даної організації є розвиток мережі автостанцій в області [129]. Громадський транспорт по Ужгороду та Ужгородській області курсує з 17 автостанцій, а саме:

«Ужгород», «Перечин», «Мукачево», «Виноградів», «Берегово», «Іршава», «Сільце», «Воловець», «Нижні Ворота», «Міжгір'я», «Хуст», «Тячів», «Солотвино», «Свалява», «Рахів», «Великий Бичків», «Ясеня», приміське сполучення охоплено маршрутною мережею з загальною кількістю постійних маршрутів – 25, та на території області - 141 од. Як джерело вихідних даних було обрано інформаційний сервіс з надання транспортних послуг [127]. Загальна кількість населених пунктів охоплених приміськими маршрутами ГТ, складає 152 од.

Розташування ЗП на території міста та області також було здійснене з визначенням координат ЗП за допомогою процедури геокодування [126]. Кількість ЗП на території міста - 124 од., на території області - 170 од. з них 93 од. це ЗП, які належать до приміських маршрутів. Приклад розсіювання ЗП на території міста та області представлений на рисунку 3.15.

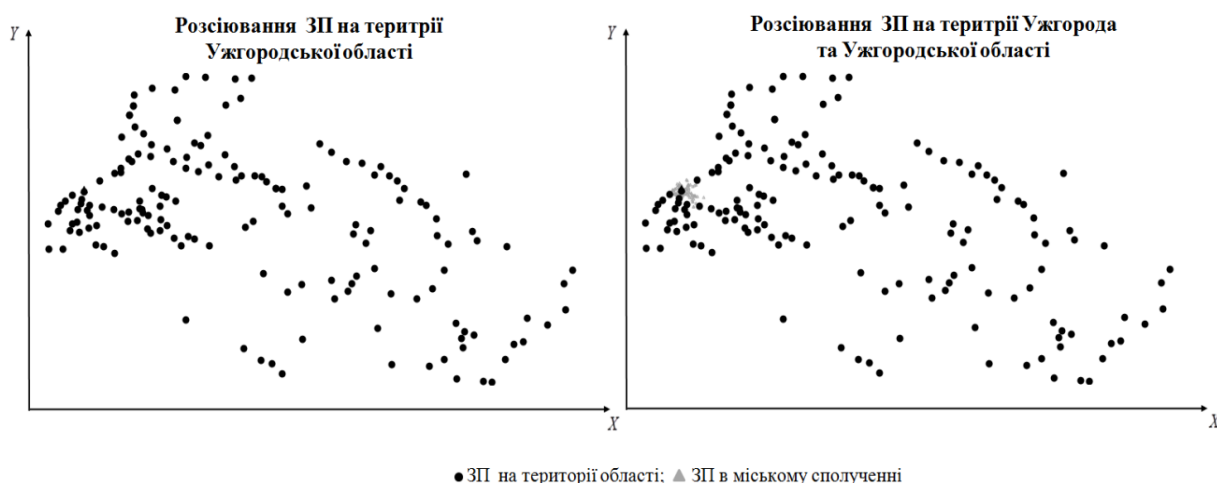


Рис. 3.15. Розсіювання ЗП на території м. Ужгород та Ужгородської області

Перевірка придатності одномірного нормального розподілу для опису окремо координати X та координати Y була здійснена після центрування кожної координати згідно залежності 2.10, 2.11 та при різних кутах повороту системи координат відносно центру розсіювання ЗП. Використання кута $\alpha_{нов}$ приводить до перетворення значення $(X; Y)$ на $(X'; Y')$, що дозволяє змінювати (в т.ч. мінімізувати) кореляційний зв'язок між координатами, за рахунок чого змінюється і ступінь придатності теоретичного розподілу для опису тієї чи іншої координати.

Центрування координат ЗП було здійснене після визначення ЗП, який знаходиться в центральній частині міста. Вибір такого зупиночного пункту можливо здійснити, якщо територію міста окреслити окружністю (еліпсом), і шуканий «центральный» зупиночний пункт потрібно визначити як найближчий до перетину діаметрів окресленої окружності під прямим кутом (або до перетину головних осей еліпсу). Як правило визначені наведеним способом «центральні» ЗП при розгляді досліджуваних міст знаходяться неподалік від історичного центру міста.

Перетворені значення $(X'; Y')$ для кожного ЗП на кут $\alpha_{нов}$ в повернутій системі координат визначалися наступним чином [114]:

$$\begin{cases} X' = X \cos \alpha_{нов} + Y \sin \alpha_{нов}; \\ Y' = -X \sin \alpha_{нов} + Y \cos \alpha_{нов}. \end{cases} \quad (3.4)$$

Перевірку одномірного нормального розподілу для опису окремо координати X та координати Y було розраховано в програмному середовищі STATISTICA 10.0 [131]. Графіки теоретичного та емпіричного розподілу для обраних міст та відповідних областей наведено на рис. 3.16 - 3.19.

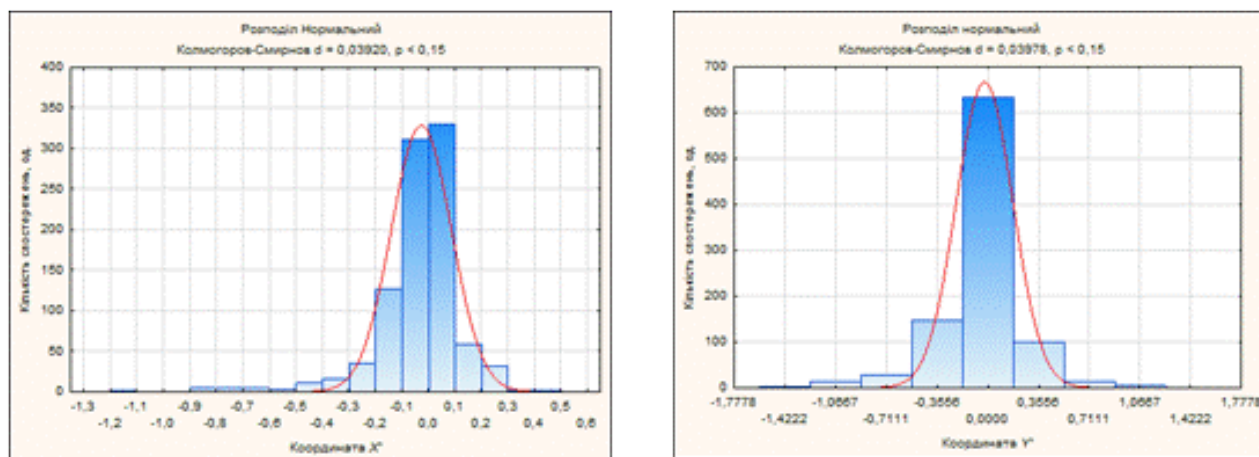


Рис. 3.16. Графіки нормального розподілу, придатного для опису координат ЗП на території м. Харків та області

Придатність одномірного нормального розподілу проводилась за допомогою критерію Колмогорова-Смирнова. Застосування даного критерію обумовлено використанням у даному випадку не пара-

метричного критерію [132]. Параметри теоретичних розподілів, придатних для опису обох координат ЗП, наведені в табл. 3.7.

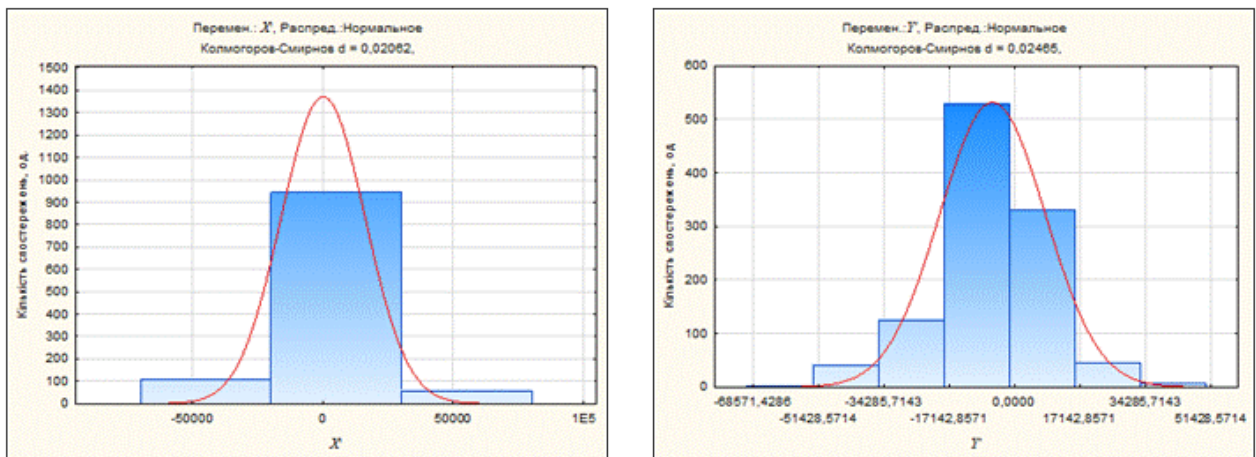


Рис. 3.17. Графіки нормального розподілу, придатного для опису координат ЗП м. Львів та області

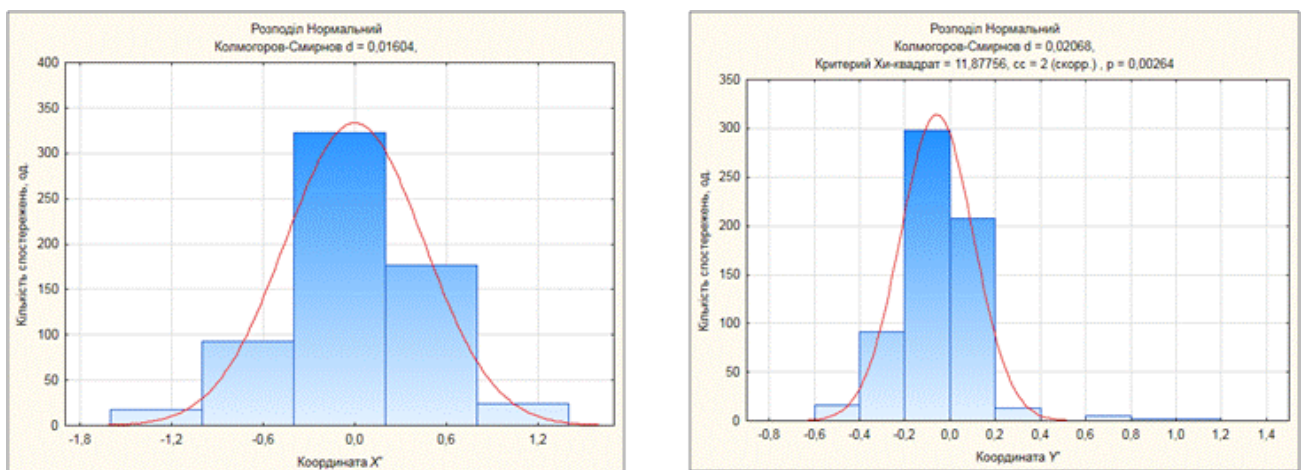


Рис. 3.18. Графіки нормального розподілу, придатного для опису координат ЗП м. Рівно та області

Підтвердження відповідності нормального розподілу було перевірено для всіх зазначених міст зі ствердним результатом, окрім м. Ужгород стосовно координати Y . Відсутність симетричного розподілу координати Y пояснюється відсутністю ЗП у напрямку державного кордону.

Перевірка одномірної нормальності координат $(X; Y)$ дозволяє зробити висновок про те, що розподіл координат ЗП міст Харків, Львів та Рівно можна вважати асимптотично двомірним нормальним.

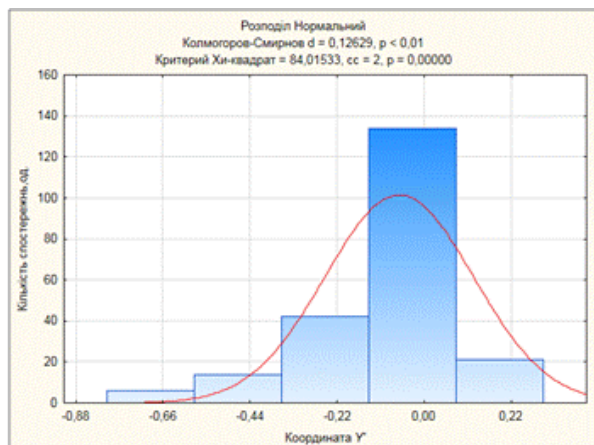
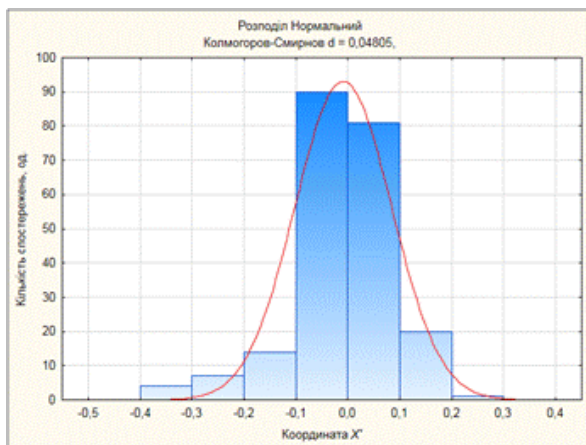


Рис. 3.19. Графіки нормального розподілу, придатного для опису координат ЗП м. Ужгород та області

Таблиця 3.7

Параметри нормального розподілу координат ЗП

Показник	Абсциса	Ордината
м. Харків та Харківська область		
Кількість спостережень, од	936	
Математичне очікування, μ	-0,025	-0,022
Дисперсія, σ^2	0,0129	0,0397
м. Львів та Львівська область		
Кількість спостережень, од	994	
Математичне очікування, μ	0,157	0,229
Дисперсія, σ^2	0,0544	0,143
Кут повороту	50,2	
м. Рівно та Рівненська область		
Кількість спостережень, од	635	
Математичне очікування, μ	-0,012	-0,048
Дисперсія, σ^2	0,208	0,031
м. Ужгород та Ужгородська область		
Кількість спостережень, од	328	
Математичне очікування, μ	-0,0087	-
Дисперсія, σ^2	0,0086	-

Згідно з викладеним в підрозділі 2.2 далі треба здійснити перевірку придатності розподілу Релея для опису відстаней за повітряною лінією від центру міста до ЗП на території міста та області.

Відстані до всіх ЗП на території міста та області визначаються за наступною формулою:

$$L_j = \sqrt{(X_j - X_{\text{ц}})^2 + (Y_j - Y_{\text{ц}})^2}, \quad (3.4)$$

де L_j – відстань від «центрального» ЗП до j -го ЗП, км;

$X_j, X_{\text{ц}}$ – абсциси j -го ЗП, до якого вимірюється відстань, та «центрального» (від якого вимірюється відстань) відповідно;

$Y_j, Y_{\text{ц}}$ – ординати j -го ЗП, до якого вимірюється відстань, та «центрального» (від якого вимірюється відстань) відповідно.

Перевірка відповідності між розподілом відстаней між зупинками й центром, розрахованих за формулою 3.4, та розподілом Релея була здійснена з використанням критерію згоди Колмогорова-Смирнова [131-133].

Використання цього критерію згоди обумовлено тим, що за його допомогою можливо визначити максимальне відхилення між накопиченими частотами емпіричного й теоретичного розподілу. Також він не потребує групування даних (з неминучою втратою інформації), а дає можливість розглядати всі індивідуальні значення, які спостерігаються.

Для вирішення цього завдання припускається, що необхідно n - спостережень для кожного із чотирьох обраних міст для перевірки застосування розподілу Релея для опису відстаней згідно залежності (3.4) при рівні значимості α рівному 0,05. При цьому ймовірність відкинути гіпотезу за умови, що вона правильна, β дорівнює 95%. Тоді логічним є твердження, що для обраного рівня значимості кількість n - спостережень для визначення критичного значення максимального відхилення емпіричної функції від теоретичної при кінцевих обсягах спостережень [133] складає 0,134.

Треба зазначити, що це критичне значення відповідає 100 спостереженням, яке є максимальним згідно [133] при кінцевих обсягах спостережень. Тому запропоновано розглянути для всіх міст, які досліджуються, кількість спостережень відповідно до максимального значення згідно [133]. Для цього в програмному середовищі MS Excel за допомогою відповідної функції генератора випадкових чисел здійснюється вибір 100 спостережень L_j для охоплених спостереженням міст.

На підставі відповідної кількості спостережень випадково обраних L_j здійснюється розрахунок емпіричної та теоретичної функцій розподілу Релея та визначається максимальне відхилення між зазначеними показниками Δ .

$$\Delta = \left| m_i - \frac{r_i}{\sigma_L^2} \cdot e^{-\frac{r_i^2}{2\sigma_L^2}} \right|, \quad (3.5)$$

де m_i – накопичена частота i -го інтервалу, од.;

r_i – значення вибірки i -го інтервалу, од.;

σ_L - параметр розподілу Релея величини L_j [109].

Графічне зображення розподілу Релея теоретичної і емпіричної функцій, яке дозволяє візуально оцінити отриманий результат, представлено на рисунках 3.20 - 3.23.

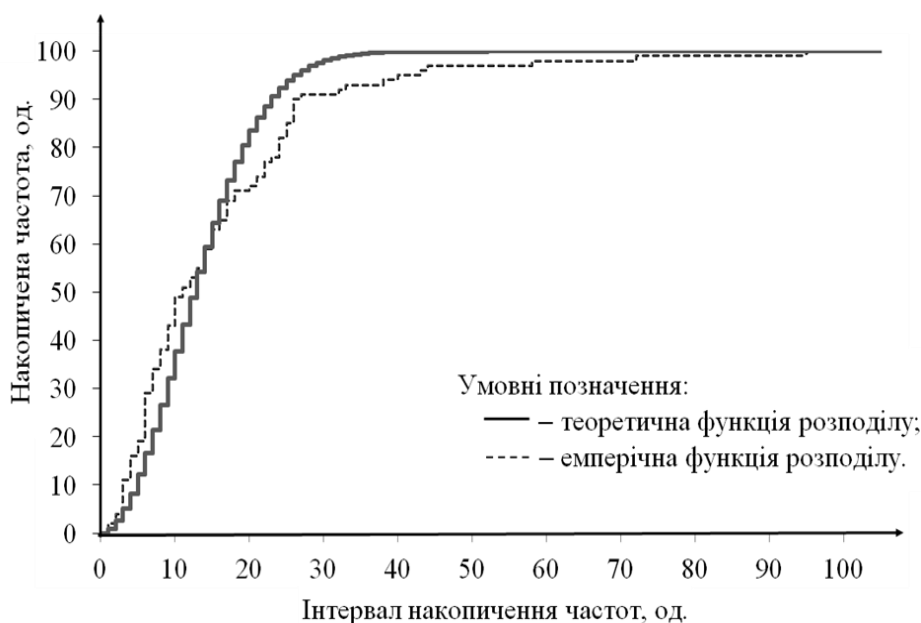


Рис. 3.20. Графік розподілу Релея, придатного для опису відстаней від «центрального» ЗП до всіх інших ЗП для м. Харкова та Харківської області

Оскільки критерій Колмогорова є непараметричним критерієм і висновки статистичної теорії не залежать від його параметру, то в цьому випадку має місце можливість визначення параметру розподілу Релея σ_L , при якому критичне значення критерію згоди буде мінімальним. При цьому максимальне відхилення накопичення частот

емпіричної та теоретичної функції розподілу Релея не перевищило його критичного значення, параметри розподілу Релея для всіх досліджених міст та значення максимального відхилення Δ надані в табл.3.8.

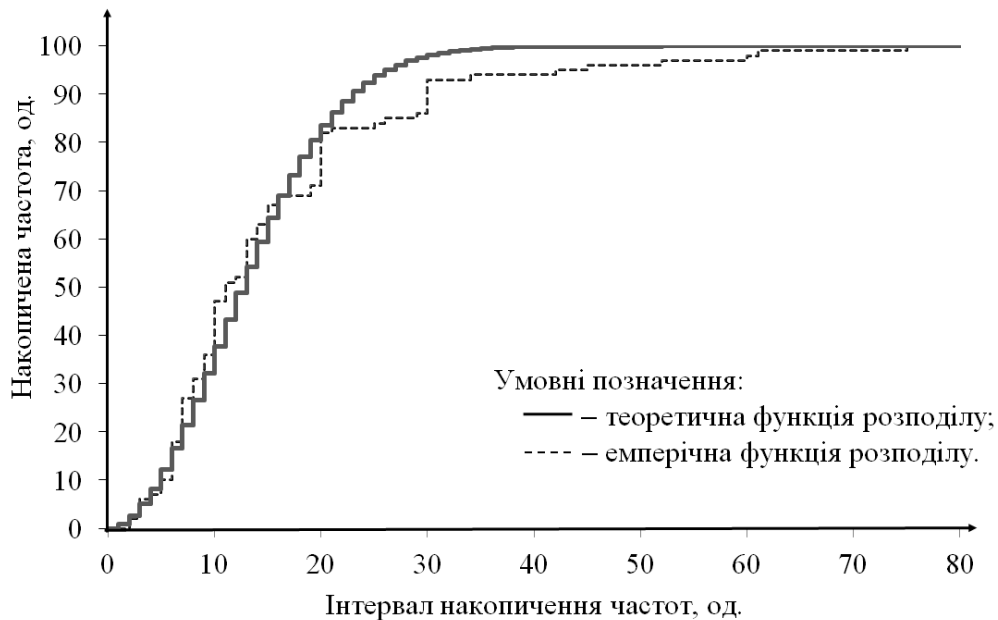


Рис. 3.21. Графік розподілу Релея, придатного для опису відстаней від «центрального» ЗП до всіх інших ЗП для м. Львова та Львівської області

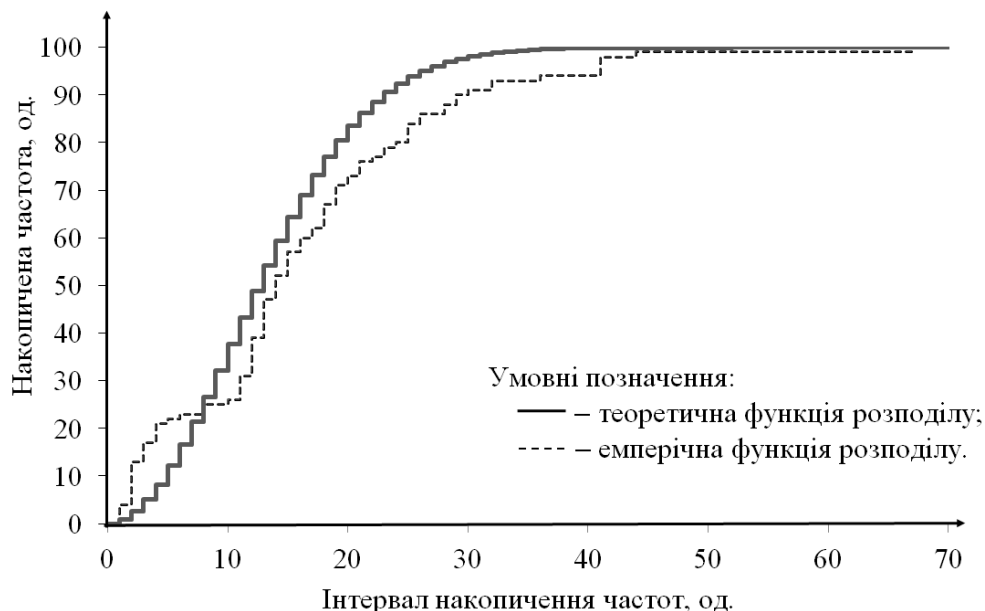


Рис. 3.22. Графік розподілу Релея, придатного для опису відстаней від «центрального» ЗП до всіх інших ЗП для м. Рівно та Рівненської області

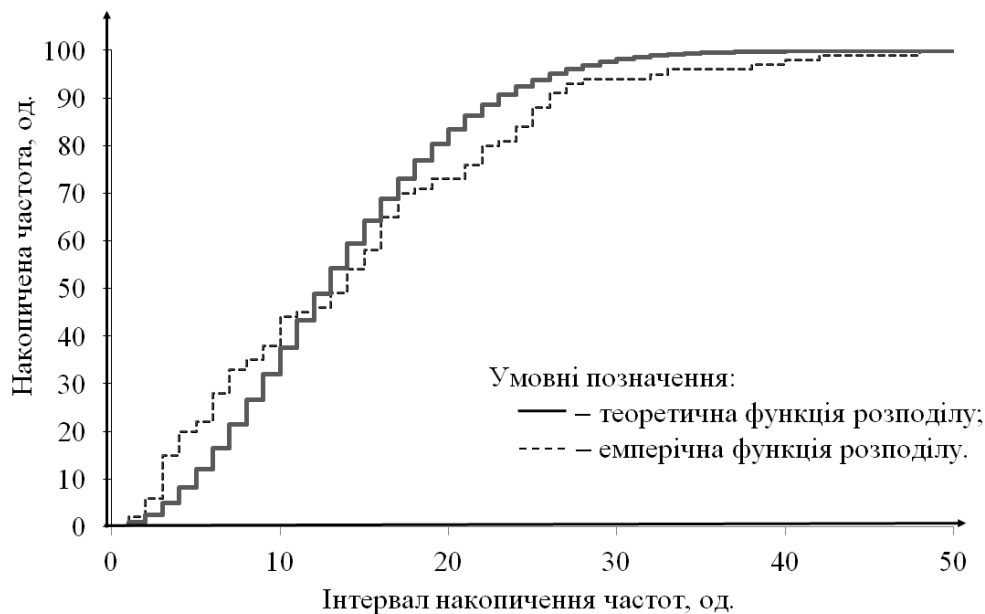


Рис. 3.23. Графік розподілу Релея, придатного для опису відстаней від «центрального» ЗП до всіх інших ЗП для м. Ужгород та Ужгородській області

За побудованими графіками та даними, наведеними в табл. 3.8, можна стверджувати, що гіпотеза про можливість опису відстані повітряною лінією між «центральним» ЗП до всіх інших ЗП громадського транспорту, які розташовані на території міста та навколо нього усіх досліджених міст за допомогою розподілу Релея не може бути відхилена. Це підтверджує те, що розподіл координат ЗП ГТ всіх чотирьох досліджених міст та їх оточення є асимптотично двомірним нормальним.

Визначені закономірності також є підтвердженням гіпотези про загальний характер у розташуванні ЗП на території міста та навколо нього та продовження закономірностей на території міста в приміському сполученні, які не обмежуються тільки зоною дії приміського сполучення, а мають місце на території області для обласних центрів з різною чисельністю населення та конфігурацію.

3.3 Дослідження закономірностей пересувань громадським транспортом у приміському сполученні

Попереднє підтвердження двомірності розподілу координат $(X; Y)$ ЗП та визначення закономірностей у відстанях між ЗП, які розташовані на території міста і його оточення відносно центру міста, дає змогу стверджувати, що на відстань пересування впливає існуюча

інфраструктура громадського транспорту та існують закономірності у відстанях між ЗП, якщо вони розглядаються сумісно на території міста та в приміському сполученні.

Таблиця 3.8

Параметри розподілу Релея, придатного для опису відстаней від «центрального» ЗП до всіх інших ЗП

Показник	Значення
м. Харків та Харківська область	
Мінімальне значення L_j , км	1
Максимальне значення L_j , км	95
Параметр масштабу σ_L	10,79
Максимальне відхилення накопичення частот розрахункове Δ	0,126
м. Львів та Львівська область	
Мінімальне значення L_j , км	2
Максимальне значення L_j , км	75
Параметр масштабу σ_L	10,49
Максимальне відхилення накопичення частот розрахункове Δ	0,119
м. Рівно та Рівненська область	
Мінімальне значення L_j , км	1
Максимальне значення L_j , км	67
Параметр масштабу σ_L	10,72
Максимальне відхилення накопичення частот розрахункове Δ	0,128
м. Ужгород та Ужгородська область	
Мінімальне значення L_j , км	1
Максимальне значення L_j , км	48
Параметр масштабу σ_L	10,61
Максимальне відхилення накопичення частот розрахункове Δ	0,118

Згідно теоретичним дослідженням відстань поїздок l_p на території міста та за його межами повинна мати гама-розподіл [54], який складається з розподілу відстані поїздок в міському сполученні l_p^M , для яких здійснено і підтверджено застосування гама-розподілу для десяти міст України [54] та потребує перевірки гіпотеза застосування показникового розподілу для відстаней поїздок у приміському спо-

лученні l_p^{np} , який є частиною гама-розподілу. Треба зазначити, що застосування показникового розподілу l_p^{np} розглядається, якщо відстань поїдки в цьому випадку випадкова величина, яка здійснена за межами міста.

Для отримання закономірностей розподілу величини l_p^{np} необхідна фактична інформація про дальність пересування мешканців приміської зони, яка потребує проведення обстежень на всій території приміської зони. Отримання такої інформації щодо всього населення приміської зони, яке користується послугами громадського маршрутного транспорту, є вельми складною задачею, враховуючи великий масштаб суцільних обстежень. Тому доцільним у рамках даного дослідження виглядатиме проведення вибіркового обстеження дальності пересувань мешканців приміської зони на основі даних, наданих підприємствами транспортного комплексу, які здійснюють обслуговування пасажирів даного виду сполучення з наданням звітної інформації.

Експериментальні дослідження відстані поїздок у приміському сполученні проводились на основі звітних даних квитково-касових відомостей представлених ПАТ «Харківське підприємство автобусних станцій», до складу якого на території міста належать автостанції «Центральний автовокзал» (АС-1), «Центральний ринок» (АС-2), «Кінний ринок» (АС-3). Зона обслуговування автостанцій крім приміського сполучення, включає як всю територію області, так й більш широкий ареал міжміського сполучення. Звітні дані були представлені за кожен день в період з 05.09.16 до 09.09.16.

Визначення розподілу величини l_p^{np} не повинно обмежуватись зоною дії приміських маршрутів, а залежить від пошуку такого максимального значення відстані переміщення, при якому параметри розподілу будуть визначати найкращу відповідність теоретичному розподілу. Це може свідчити про вплив міста на пересування мешканців приміської зони, які здійснюють постійні пересування в напрямку міста, користуючись ГТ на відстань більш ніж 50 км. Враховуючи, що зона впливу міста може бути більшою, ніж зона приміського сполучення, яка обмежена 50 км, були розглянуті всі пересування, які здійснюються в межах Харківської області. Тобто об'єктом тяжіння для мешканців області розглядається обласний центр, який здійснює

певний вплив на кількість пересувань до нього залежно від віддаленості населеного пункту.

Результати обробки звітних даних квитково-касових відомостей визначені шляхом опрацювання тижневих даних, враховуючи нерівномірність пасажиропотоків за днями тижня. З огляду на те, що в будні дні спостерігається збільшення трудових пересувань, а у вихідні дні навпаки спостерігається зростання кількості культурно-побутових поїздок, для визначення кількості пересувань, які здійснюються в напрямку міста запропоновано враховувати як трудові, так і культурно-побутові цілі поїздок. Опрацювання даних у зв'язку з цим проводилось шляхом визначення кількості проданих квитків з кожного населеного пункту для кожного дня тижня, потім визначалось максимальне значення відповідного дня тижня, яке приймалось для населеного пункту як кількість пересувань за добу протягом тижня.

Загальна кількість спостережень склала 1860 пересувань у напрямку міста з населених пунктів, які розташовані на території області, з яких 1119 пересувань на приміських маршрутах. Максимальна віддаленість населених пунктів таких як м. Лозова, які підлягають спостереженням складає від 130-140 км, але є населені пункти на території області, наприклад пмт. Сахновщина, віддаленість яких досягає 160 км.

Визначення відстані поїздки за межами міста ґрунтується на інформації про розташування ЗП на території міста та за його межами. Тобто мінімальна відстань поїздки в приміському сполученні, яка долається на території міста, відповідає значенню 8,5 км визначає відстань між початковою зупинкою (АС) і останньою зупинкою, яка розташована на території міста, але використовується пасажиром для переміщень у міському сполученні. Відповідність теоретичного та емпіричного розподілу показниковому розподілу проводилось для відстані поїздки, яка здійснюється тільки за межами міста l'_p та визначається згідно із залежністю (2.42).

Оцінка відповідності між теоретичним і емпіричним розподілом здійснювалось за допомогою тесту χ^2 та критерію згоди Колмогорова-Смирнова для варіантів, коли відстань поїздки здійснюється в межах приміської зони та області. Графічне зображення частотних гістограм та графіків щільності показникового розподілу представлено на рис.3.24, а його параметри в табл. 3.9 - 3.10. Гіпотеза про відпові-

дність між зазначеними розподілами перевірялась на рівні значущості 0,05 і дала ствердний результат, для всіх варіантів максимальної межі відстаней поїздок про що свідчать крива щільності та гістограма розподілу.

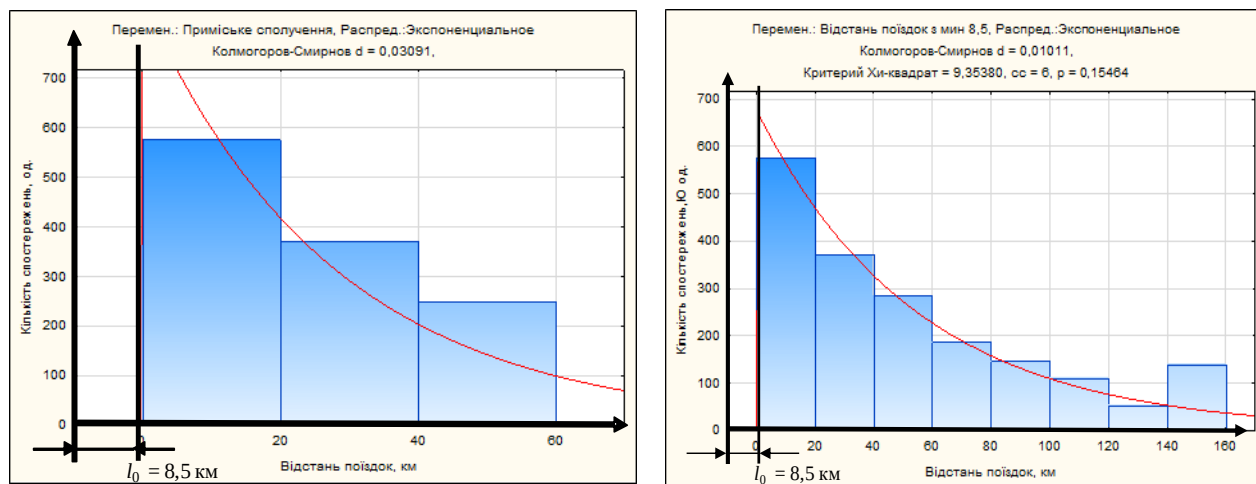


Рис. 3.24. Розподіл l'_p у приміському сполученні м. Харків та на території Харківської області

Таблиця 3.9

Параметри показникового розподілу, придатного для опису закономірностей відстаней пересувань у приміському сполученні м. Харкова

Параметр розподілу	Значення
Параметр λ	0,0359
Математичне очікування, км	24,177
Дисперсія, км ²	249,795
Значення критерію Колмогорова-Смирнова	0,0309

Таблиця 3.10

Параметри показникового розподілу, придатного для опису закономірностей відстаней пересувань на території Харківської області

Параметр розподілу	Значення
Параметр λ	0,0182
Математичне очікування, км	54,872
Дисперсія, км ²	2832,274
Значення критерію Колмогорова-Смирнова	0,010
Величина тесту χ^2	9,354
Ймовірність тесту χ^2	0,155

Згідно розподілу рис.3.23 у випадку коли відстань поїздки визначається в приміському сполученні (відстань максимальна до 60 км), значення критерію згоди Колмогорова-Смирнова підтверджує застосування показникового розподілу l'_p , при цьому є змога визначити три інтервали зміни частоти пересування на певну відстань залежно від віддаленості від міста.

Стосовно розподілу відстані поїздки на території області (відстань максимальна до 160 км) значення тесту χ^2 та критерію згоди Колмогорова-Смирнова також підтверджує застосування показникового розподілу, при цьому значення критерію згоди Колмогорова-Смирнова практично однакові з розподілом l'_p в приміському сполученні, але його значення менше, що говорить про зменшення відхилення накопичення частот між теоретичним та емпіричним розподілом. З іншого боку, середня відстань поїздки на території області складає майже 55 км, що дорівнює максимальній відстані поїздки в приміському сполученні, також значне збільшення l'_p для щоденних поїздок може бути не виправдано.

У зв'язку з такими міркування необхідно здійснити пошук варіанту при якому значення максимальної межі відстані l'_p буде менш ніж 160 км та при якому можливо забезпечити 5 % рівень значущості при перевірці відповідності між теоретичним та емпіричним розподілом.

Результатом такого пошуку стало значення максимальної межі до 100 км від міста, при якому значення максимального відхилення накопичення частот між теоретичним та емпіричним розподілом менш ніж для розподілу l'_p як у приміському сполученні, так і на території області, рис.3.25, а його параметри в табл. 3.11. Кількість інтервалів, у яких змінюється частота пересування залежно від віддаленості від міста, складає 5 од., що розширяє діапазон зміни інтервалів у приміському сполученні.

Керуючись наведеними ознаками застосування розподілу l'_p в межах 100 км від міста доцільно розглянути запропонований варіант, котрий може характеризувати розповсюдження закономірностей на території міста також за межами міста на визначену відстань, а також може бути підставою для обмеження зону впливу для поїздок в межах Харківської агломерації.

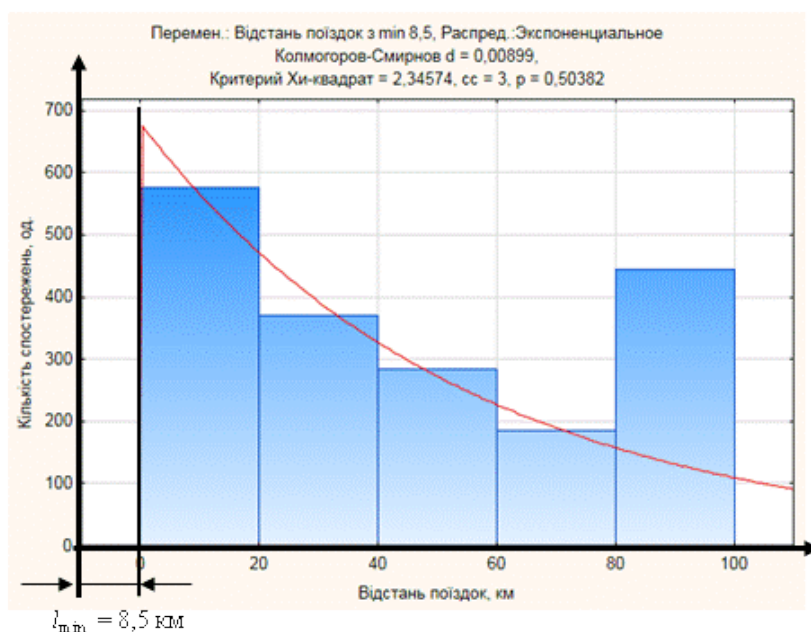


Рис. 3.25. Розподіл відстані пересування на території Харківської області на відстань до 100 км

Таблиця 3.11

Параметри показникового розподілу, придатного для опису відстаней пересувань на території Харківської області до 100 км

Параметр розподілу	Значення
Параметр λ	0,0182
Математичне очікування, км	54,871
Дисперсія, км ²	2832,274
Значення критерію Колмогорова-Смирнова	0,009
Величина тесту χ^2	2,346
Ймовірність тесу χ^2	0,504

Виходячи із наведених на рис. 3.25 меж інтервалів групування відстаней пересувань та параметрів показникового розподілу, придатного для опису закономірностей розподілу відстані поїздок за межами міста, були розраховані ймовірності потрапляння відстаней пересувань у кожний інтервал та їх кількість, табл.3.12. Це надає можливість визначити кількість пересувань, які можуть бути виконанні в кожному інтервалі групування відстаней відповідно до фактичного розподілу відстаней пересувань.

**Відсоткове співвідношення між кількістю
пересувань на різні відстані**

Інтервал групування	Нижня межа, км	Верхня межа, км	Відсоток пересувань, %	Кількість пересувань, од.
1	0	20	30,9	575
2	20	40	19,9	371
3	40	60	15,3	284
4	60	80	9,9	185
5	80	100	23,9	445
РАЗОМ			100	1860

Дані таблиці 3.12 характеризують розподіл пересувань залежно від віддаленості населеного пункту від міста і можуть бути основою для визначення попиту в приміському сполученні при застосуванні інтервальної концепції його моделювання. Також застосування закономірності l'_p дає можливість визначення зон впливу міста та відсоток здійснення пересувань у межах відповідної зони, яка у свою чергу може використовуватися для визначення кількості пересувань залежно від віддаленості населених пунктів від міста.

Висновки

Встановлено, що на величину ІР громадського, вантажного та індивідуального транспорту на автомобільних дорогах загального користування істотно впливає наявність міста та таких параметрів, які характеризують найближчий населений пункт, як відстань до нього та чисельність населення міст. Взаємозв'язок між відстанню та ІР громадського, вантажного та індивідуального транспорту встановлений після логарифмічного перетворення за основою відстані від центру міста та інтенсивністю руху транспортних потоків різних категорій транспортних засобів.

За результатами перевірки просторового розташування інфраструктури ГТ на території міста та його оточення для міст різних груп можна стверджувати, що розсіювання ЗП територією міст та навколо них є асимптотично двомірним нормальним. Результати перевірки придатності розподілу Релея для опису відстаней від ЗП, розташованого в міському центрі, до всіх інших, як на території міста

так і за його межами, підтвердили гіпотезу про продовження закономірностей на території міста і на його оточення для всіх досліджуваних міст.

Результати отриманих закономірностей у розташуванні ЗП ГТ та відстанях між ЗП на території міст та їх оточення підтверджують гіпотезу про те, що закономірності на території навколо міста є продовженням закономірностей, які існують на території міста. Законом, найбільш придатним для опису довжини поїздки в приміському сполученні, слід вважати показниковий розподіл з параметром зсуву, рівним мінімальній довжині поїздки для кожного окремого міста при умові, що він є частиною гама-розподілу, який характеризує розподіл відстаней на території міста.

Підтвердження застосування показникового розподілу отримано для поїздок як у приміському сполученні так і на території області, середня відстань поїздки в приміському сполученні складає 19,302 км, на території області – 54,872 км. Отримані закономірності відстані поїздок для різних меж максимальної відстані поїздки на території, що оточує місто, на прикладі Харківської області показав, що мінімальне значення максимального відхилення між теоретичним і емпіричним розподілами досягається при віддаленості від міста до 100 км.

Застосування фактичного розподілу відстаней поїздок навколо обласного центру дозволить вдосконалити інтервальну концепцію визначення потреб населення в послугах ГТ у пересуваннях за рахунок визначення таких станів МПК, які відповідають фактичному розподілу відстані поїздок у приміському сполученні.

4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОЗПОДІЛУ ВІДСТАНЕЙ ПЕРЕСУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРЕБ У ПЕРЕВЕЗЕННЯХ У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ

Створення моделі потреб населення в перевезеннях автомобільним транспортом загального користування є одним з найважливіших завдань моделювання транспортної системи як міст, так і їх оточення, яка є практично не вивченою в приміському сполученні, на відміну від підходів на міський території, зводиться до визначення найбільш точної матриці пасажирських кореспонденцій, яка дає можливість отримати відповідь на питання про якість транспортного обслуговування населення.

Використання закономірностей розподілу відстаней пересування в приміському сполученні в рамках інтервальної концепції розрахунку МПК може стати значним кроком уперед у розвитку методів визначення потреб у перевезеннях у приміському сполученні, оскільки дозволить безпосередньо враховувати параметри існуючих закономірностей у відстаней поїздок при розподілі кореспонденцій між клітинками МПК та отримувати такі МПК, які відповідають цим закономірностям.

4.1 Розробка методики визначення потреб населення в перевезеннях у приміському сполученні на основі закономірностей розподілу відстаней поїздок

У загальному випадку закономірності розподілу фактичних відстаней пересування можна розглядати як відображення реалізованого транспортного попиту. Враховуючи те, що в українських містах у приміському сполученні використовується залізничний та автомобільний транспорт, відповідний транспортний попит реалізується на ТМ ГТ цих видів сполучення. При цьому для міст, у яких існує залізничне сполучення, необхідно враховувати частку переміщень, які реалізуються на цьому виді транспорту, але й для найкрупніших, і для малих міст автомобільний транспорт є основним постачальником транспортних послуг у приміському сполученні, як згадувалось у першому розділі роботи. Вивчення характеристик ТМ ГТ для автомобільного транспорту в розділі 3 підтвердило, що ТМ ГТ є інстру-

ментом, придатним для дослідження просторового розподілу переміщень у приміському сполученні, під час чого була виявлена можливість опису емпіричного розподілу відстаней переміщень показниковим розподілом.

Це вказує на можливість визначення найбільш імовірних станів МПК, посиляючись на криву щільності показникового розподілу, якою описуються закономірності формування пасажиропотоків попиту на території, що оточує місто залежно від віддаленості від нього.

У даному випадку найбільш доцільно застосувати інтервальну концепцію моделювання потреб у транспортних послугах. Для розрахунку шуканих матриць потрібно використовувати фактичні закономірності розподілу відстаней поїздок у приміському сполученні.

Наявність параметрів розподілу відстаней поїздок населення дозволить визначити шукані МПК, які призводитимуть до отримання зазначеного або максимально наближеного фактичного розподілу відстаней пересувань. Відшукування таких станів МПК повинне базуватись на встановленні значень кореспонденцій, що будуть реалізовуватись на визначену відстань з матриці відстаней між ТР і в загальній сукупності породять фактичний розподіл відстаней поїздок у приміському сполученні.

На основі цього можна встановити порядок заповнення МПК. Фактичний розподіл відстаней поїздок дозволить визначити відсоткове співвідношення кількості мешканців, дальності пересувань яких відносяться до встановлених інтервалів відстаней пересувань у приміському сполученні. Визначати кількість інтервалів, за якими будуть групуватися відстані пересувань, можна безпосередньо за оцінки узгодження емпіричного розподілу цих відстаней з теоретичним показниковим розподілом. Також емпіричний розподіл цих відстаней дає можливість визначення ширини інтервалів.

Згідно експериментальним дослідженням, які були виконані в розділі 3, був отриманий розподіл l'_p , який дозволяє визначити відсоткове співвідношення кількості мешканців, дальності пересувань яких до міста буде відноситись до встановлених інтервалів відстаней пересувань

$$l_{ij}^{(\Delta_I)} = l_{ij} \in [l_p^{(\Delta_I)}] = l_p^{(\Delta_I)} \in (\Delta_I^H; \Delta_I^E), \quad (4.1)$$

де l_{ij} – відстань пересувань за межами міста між i -м та j -м ТР, які відповідно розташовані на території області та обласного центру (міста – центру агломерації), км;

$l_p^{(\Delta_I)}$ – відстань поїздки у напрямку міста в інтервалі групування згідно фактичного розподілу відстаней пересувань пасажирів, км;

$\Delta_I = (\Delta_I^H; \Delta_I^E)$ – інтервал групування відстаней пересувань пасажирів, що визначається нижньою Δ_I^H та верхньою Δ_I^E межами, $I = 1, 2, \dots, x_{Int}$;

x_{Int} – кількість інтервалів групування відстаней пересувань пасажирів;

Частка мешканців, відстань пересувань l'_p яких знаходиться в певному інтервалі, може бути знайдена як різниця значень функції показникового розподілу в точках, що відповідають межам даного інтервалу:

$$P\{l_{ij}^{(\Delta_I)}\} = P\{l_{ij} \in \Delta_I\} = P\{l_{ij} \in (\Delta_I^H; \Delta_I^E]\} = Z(\Delta_I^E) - Z(\Delta_I^H), \quad (4.2)$$

де $P\{l_{ij}^{(\Delta_I)}\} = P\{l_{ij} \in \Delta_I\}$ – ймовірність того, що відстань пересування l_{ij} буде знаходитись в інтервалі Δ_I ;

$Z(\Delta_I^E), Z(\Delta_I^H)$ – значення функції розподілу $l'_{p_{ij}}$ в точках Δ_I^E та Δ_I^H відповідно.

Відповідно до цього сумарна кількість пересувань $H^{(\Delta_I)}$, які повинні здійснюватися на відстань з певного інтервалу Δ_I може бути визначена як

$$H^{(\Delta_I)} = P\{l_{ij}^{(\Delta_I)}\} \cdot H, \quad (4.3)$$

де H – загальна кількість кореспонденцій за період, що розглядається, пас.

Таким чином, для отримання МПК потрібно знайти такий розподіл кореспонденцій, що відповідає системі обмежень

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m h_{ij} = HO_i, \sum_{j=1}^m h_{ij} = HP_j; \\ \sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} h_{ij}^{(\Delta_I)} = H^{(\Delta_I)}, i \neq j, I = 1, 2, \dots, x_{Int}; \\ \sum_{I=1}^{x_{Int}} H^{(\Delta_I)} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m h_{ij} = H, \end{array} \right. \quad (4.4)$$

де h_{ij} – шукані кореспонденції між ТР i та j , пас., $h_{ij} \geq 0$;

HO_j, HP_i – місткості ТР по прибуттю та відправленню пасажирів, пас.;

$h_{ij}^{(\Delta_I)}$ – кореспонденції з числа h_{ij} , які реалізуються на відстані $l_p^{(\Delta_I)}$.

Система обмежень (4.4) є системою 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 в пересуваннях. Для отримання МПК, які б задовольняли обмеженням (4.4), у програмному середовищі MS Excel був розроблений алгоритм на мові програмування Visual Basic for Applications (VBA). Блок-схема даного алгоритму наведена на рис. 4.1.

На першому етапі здійснюється перевірка збалансованості місткості ТР по відправленню та прибуттю

$\sum_{i=1}^m HO_i = \sum_{j=1}^m HP_j = H; i, \dots, m; j, \dots, m$ та фактичного розподілу пересу-

вань згідно значенню функції показникового розподілу в межах заданих інтервалів загальній кількості пересувань між ТР

$\sum_{I=1}^{x_{Int}} H^{(\Delta_I)} = H.$

На наступному етапі здійснюється заповнення матриці на основі генератора випадкових чисел. Далі здійснюється вибір позиції в матриці та перевірка попадання його в задану область моделювання,

яка відповідає значенням згідно (4.1) та розрахунок випадкового значення h_{ij} в МПК.

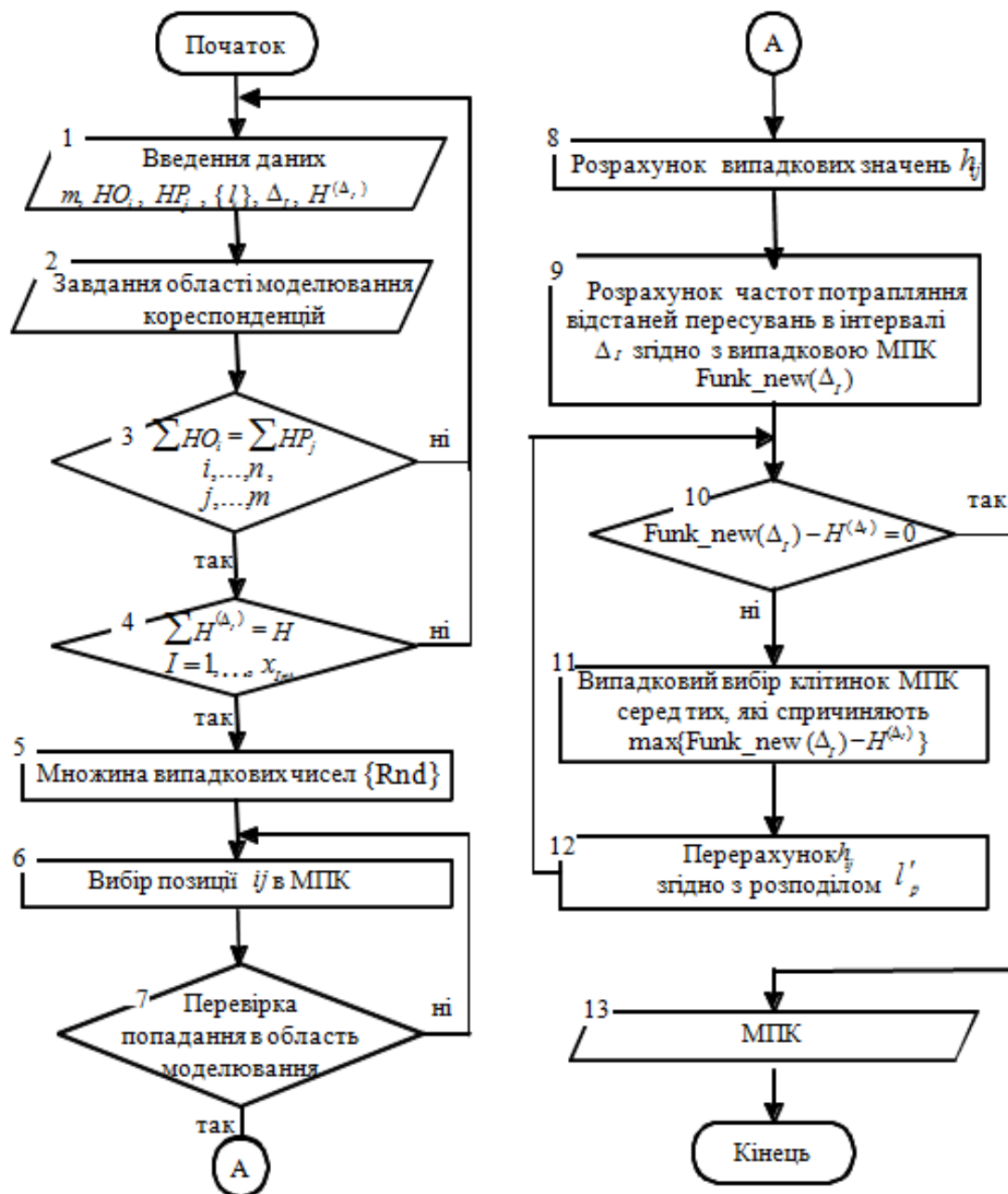


Рис. 4.1. Блок-схема алгоритму розрахунку МПК згідно з фактичним розподілом відстаней поїздок

Згідно випадковій МПК та матриці найкоротших відстаней розраховується частота потрапляння відстаней пересування $h_{ij}^{(\Delta_I)}$ в межах певного інтервалу Δ_I . Далі здійснюється перевірка відповідності фактичним частотам l'_p , кінцевим результатом заповненні клітинок

МПК є отримання випадкових матриць, що відповідають фактичному розподілу l'_p .

Використання інтервальної концепції визначення потреб у пересуваннях у приміському сполученні дозволяє врахувати ймовірнісний характер транспортних зв'язків та позбавитись недоліків точкової оцінки МПК. Перевагою застосування такого підходу є вдосконалення інтервальної концепції, яке досягається за рахунок встановлення найбільш імовірних станів МПК відповідно до фактичного розподілу відстаней пересувань та реалізації концепції не тільки в містах, а й в приміському сполученні.

4.2 Розрахунок потреб у пересуваннях на прикладі території, що оточує місто Харків

Для застосування розробленої методики в послугах ГТ для визначення потреб у пересуваннях у приміському сполученні необхідні наступні дані: місткості транспортних районів з відправлення і прибуття пасажирів ГТ; матриця найкоротших відстаней між ТР; значення функції показникового розподілу фактичних відстаней пересувань у точках, що відповідають межам заданого інтервалу.

Практична реалізація розробленої методики проводилась на прикладі ТМ ГТ м. Харків та області. Вихідною інформацією стали дані про характеристики існуючих маршрутів у приміському та внутрішньобласному сполученні, розклад руху, схеми маршрутів [125].

Моделювання ТМ ГТ у приміському сполученні проводилось у програмному пакеті VISUM німецької компанії PTV AG. Використання результатів моделювання у середовищі VISUM дає можливість керувати транспортними потоками на основі порівнянних кількісних значень показників роботи ГТ, підвищуючи тим самим якість прийнятих управлінських рішень.

У програмі VISUM було побудовано модель транспортної мережі окремо в приміському та внутрішньобласному (рис. 4.2, 4.3) сполученнях. На завантажений «фон», який представляє карту Харківської області, було нанесено точкові об'єкти, що визначають просторове положення перехресть - «вузли», які також є початковими або кінцевими точками відрізків. Наступним кроком моделювання було нанесення «відрізків» – спрямованих ребер, які характеризують прямий і зворотний напрямки і є самостійними об'єктами мережі. Відріз-

ки з'єднують вузли і таким чином описують структуру дорожньої мережі ГТ на території, що оточує місто. Структура дорожньої мережі ГТ на території міста визначена на основі розташування кінцевих ЗП, які представляють автостанції міста, розташовані практично в центральній частині міста та кінцеві пересадочні вузли тільки в приміському сполученні, розташовані поблизу станцій метро та на околиці міста, де відсутній метрополітен.

Наступним кроком було формування ЗП на карті об'єкту дослідження. Транспортна модель з нанесеними ЗП представлена на рисунку 4.3.

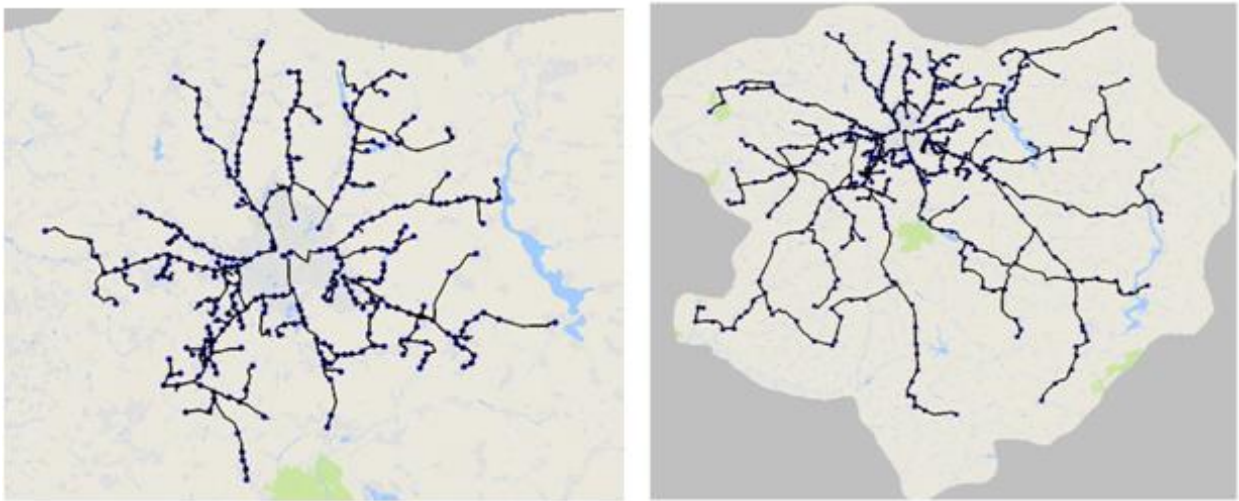


Рис. 4.2. Структура дорожньої мережі ГТ у приміському та внутрішньобласному сполученні

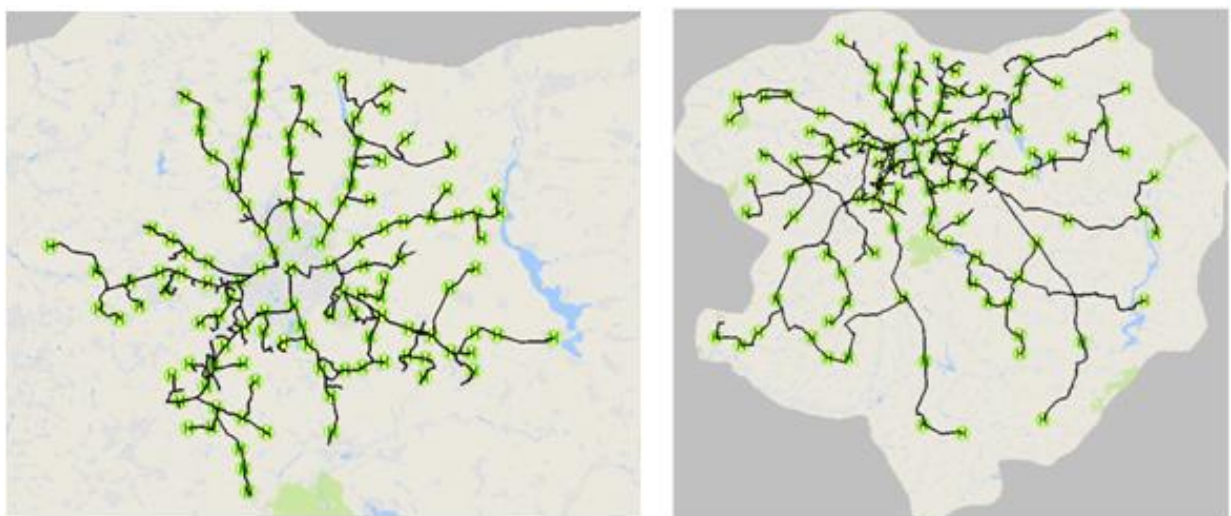


Рис. 4.3. Структура мережі ГТ у приміському та внутрішньобласному сполученні

У якості ТР запропоновано розглядати населені пункти, розташовані в приміській зоні та на території області, які охоплені існуючими приміськими та внутрішньобласними маршрутами ГТ. Центр транспортного району визначено в конкретних населених пунктах згідно основних напрямків пасажиропотоку приблизно з однаковою площею обслуговування. З мережею вони з'єднуються через «примикання». Примикання з'єднують «райони» з транспортною мережею. Для кожної окремої транспортної системи вони відповідають кінцевому та початковому пішохідним підходам між центром ТР і вузлом транспортної мережі рисунок 4.4. Слід зазначити, що у випадку, коли населений пункт розташований на деякій відстані від транспортної мережі ГТ, центр ТР визначався в місці розташування відповідного ЗП. Це обумовлюється тим, що в реальній ситуації існування приміського сполучення саме так здійснюється функціонування ТС ГТ. Тобто мешканці таких населених пунктів здійснюють піші переміщення до ЗП ГТ, які описуються «примиканнями». Також при визначенні ТР у деяких випадках було здійснено об'єднання невеликих населених пунктів, які розташовані на відстані один від одного до 1 км. Загальна характеристика ТС ГТ представлена в табл. 4.1.

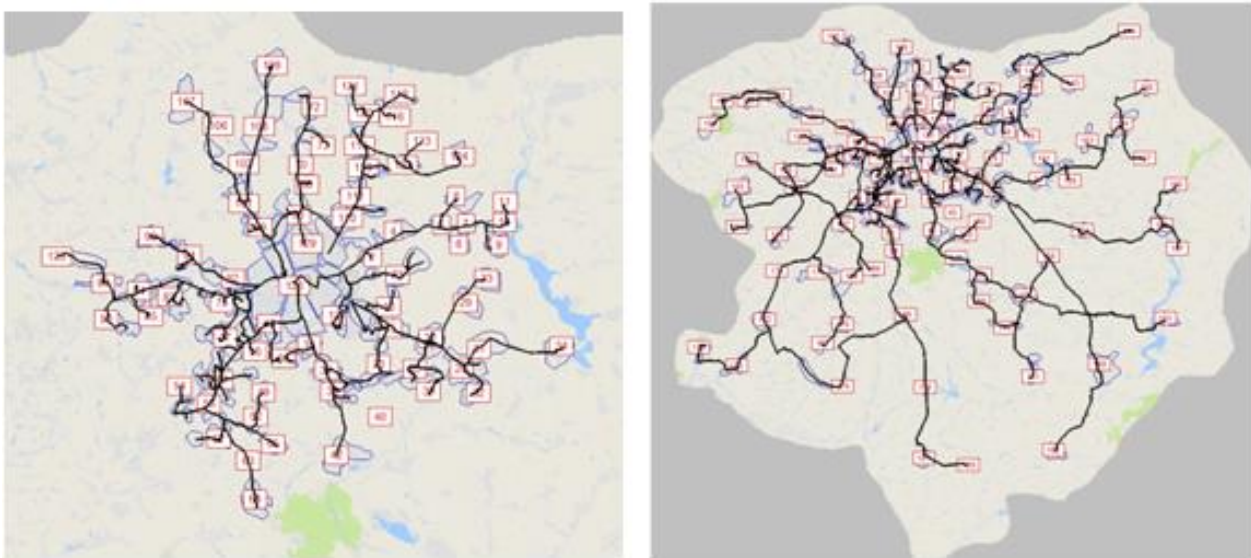


Рис. 4.4. Структура ТС у приміському та внутрішньобласному сполученні

Дані місткостей ТР з відправлення та прибуття дозволяють визначити суцільні обстеження, які охоплюють усю маршрутну мережу приміського сполучення. Для визначення необхідних даних повинні використовуватись ряд методів, до яких відносяться: анкетний метод,

звітно-статистичний метод, натурні обстеження, серед яких придатний табличний та опитувальний, або поєднання цих двох методів.

Таблиця 4.1

Характеристика моделі ТС ГТ Харківської області

Характеристика ТС ГТ		Вид сполучення	
		Приміське	Обласне
Кількість ЗП, од.		540	689
Кількість ТР, од.		135	199
Кількість населених пунктів, які охопленні мережею ГТ, од.		125	218
Кількість населених пунктів, які мають залізничне сполучення од.		28	8
Кількість мешканців населених пунктів, осіб	мінімальна	16	119
	максимальна	32454	56655
Загальна чисельність населення, тис. осіб		422,591	878,485
Площа населеного пункту, км ²	мінімальна	0,06	0,618
	максимальна	56,026	48,62
Щільність населення, осіб/км ²	мінімальна	5,3	4,85
	максимальна	369	214

Анкетний метод дозволяє отримати інформацію про реальні потреби населення в переміщеннях за кількістю і напрямками. Для реалізації цього методу необхідно попередньо розробити спеціальні опитувальні анкети. Достовірність отриманої інформації багато в чому визначається характером, простотою та ясністю поставлених питань. Недоліками анкетного методу є висока трудомісткість обробки результатів, а також досить високі фінансові витрати на організацію та проведення такого обстеження. Перевагою даного методу обстеження є можливість отримати інформацію про існуючий попит на пересування пасажирів, яка в подальшому використовується для моделювання матриці кореспонденцій [30, 34, 35, 49, 50, 134 - 136].

Базою звітно-статистичного методу обстеження є дані квитково-облікових листів і кількість проданих квитків. Використання цього методу дозволяє визначити обсяги перевезень за окремими маршрутами, встановити розподіл пасажиропотоків за годинами доби (днями тижня тощо) і його використання в приміському сполученні, якщо

застосування продажу квитків є дуже ефективним у зборі інформації. Недоліком даного методу є наступне: не дозволяє провести оцінку розподілу пасажиропотоку за ділянками маршруту; неточності, пов'язані з необхідністю додаткового обліку пільгового контингенту, а також наявність пасажирів, що не придбали квиток.

Серед натурних обстежень табличний метод дає змогу визначити пасажиропотоки на маршрутах, які за умови проведення обстеження на всіх рейсах надають можливість отримати фактичну інформацію про відправлення в приміському сполученні до міста. Тобто мається на увазі, що висадка на проміжних зупинках практично відсутня, що дає змогу визначати кількість мешканців населених пунктів (за умови об'єднання ЗП у населеному пункті), які здійснюють пересування в напрямку до міста. Таблично-опитувальний метод надає можливість отримання даних про попит на пересування пасажирів, а саме, кореспонденції [30, 136].

Застосування перелічених методів може надати фактичну інформацію лише за умови проведення, як уже згадувалось, суцільних обстежень на всій мережі ГТ у приміському сполученні, що в рамках даної роботи є неможливим. Для визначення обсягів відправлення з ТР пропонується визначити потенціальну кількість мешканців населених пунктів, які здійснюють пересування в напрямку міста з урахуванням експериментальних досліджень ІР громадського транспорту (підрозділ 3.1).

Для оцінки запропонованої методики необхідно проведення вибірових обстежень табличним методом за основними напрямками руху на території навколо міста Харків та використання звітних даних квітково-касових відомостей, наданих ПАТ «Харківське підприємство автобусних станцій», які містять інформацію з трьох автостанцій м. Харкова в приміському та внутрішньобласному сполученні.

Згідно оцінки впливу міста на ІР у приміському сполученні визначено, що значний вплив на цей показник надає віддаленість населених пунктів, тобто відстань та чисельність населення в зоні впливу. Перший показник не суперечить експериментальним дослідженням закономірностей просторових характеристик інфраструктури ГТ та визначених закономірностей у відстанях поїздок. Чисельність населення є основним показником, який визначає місткість ТР по відправленню.

З іншого боку, мешканці населених пунктів користуються не тільки громадським автомобільним транспортом, також як показують експериментальні дослідження табл. 3.5 середній відсоток ІР на індивідуальному транспорті складає 63,7% порівняно з ГТ, який становить 3,5%. Ці дані не можуть бути основою для визначення кількості мешканців які можуть користуватись ГТ тому, що не можуть враховувати вибір ГТ для мешканців які мають індивідуальний транспорт. Тому доцільно застосування моделі (3.3) для ГТ, яка характеризує ІР тільки для автомобільного ГТ. Також альтернативним видом транспорту в приміському сполученні є залізничний, який у м. Харків охоплює частину приміської зони та є конкурентоспроможним і впливає на кількість поїздок на автомобільному ГТ.

Користуючись наведеними умовами, запропоновано обсяги відправлення пасажирів з ТР визначати як потенціальну кількість мешканців населених пунктів на території приміської зони та області, які здійснюють пересування в напрямку міста (обласного центру). Кількість мешканців, які можуть здійснювати пересування в напрямку міста залежить від кількості мешканців, які проживають у населеному пункті на території приміської зони або області та так званого ступеню впливу міста на інтенсивність пересувань ГТ, визначеного згідно (3.3).

Цей вплив, визначений за результатами експериментальних досліджень з урахуванням інших видів сполучень транспорту загального користування, який характеризується залежністю між ІР ГТ та відстанню до населених пунктів:

$$HO_i = N_{m_i} \cdot \left(0,829 + \frac{12,59}{L_i} + 0,023 \cdot P^{0,367} \right) \cdot (1 - k_{z_i}), \quad (4.5)$$

де HO_i – кількість мешканців i -го населеного пункту, які здійснюють пересування на автомобільному ГТ в напрямку міста, пас.;

N_{m_i} – кількість мешканців i -го населеного пункту, осіб.;

L_i – віддаленість i -го населеного пункту від міста, км;

k_{z_i} – частка поїздок, які реалізуються на залізничному транспорті i -го населеного пункту, %;

P – чисельність населення міста, в напрямку якого здійснюється пересування, осіб.

Чисельність населення визначена згідно даним Державної служби статистики України [137]. Кількість поїздок, які здійснюються на залізничному транспорті, визначено згідно даних [137, 138] про загальний обсяг пасажиропотоку та частку від нього, яка виконується залізничним транспортом.

Оцінка запропонованої методики визначення місткості ТР з відправлення пасажирів для населених пунктів на основі вибірових обстежень табличним методом обстеження пасажиропотоків для різних категорій маршрутів за основними напрямками руху представлена в табл. 4.2. Обсяги відправлення для населених пунктів визначались з урахуванням розкладу руху та кількості рейсів. Максимальне відхилення розрахункових даних від даних, отриманих за результатами експериментальних досліджень, складає 17,2 %.

Таблиця 4.2

**Оцінка визначення обсягів відправлення на території
Харківської області згідно вибірових обстежень**

Початковий пункт	Кінцевий пункт	Тип маршруту	Довжина маршруту, км	Кількість рейсів, од./доб.	Інтервал руху, хв.	Обсяг відправлення, пас./доб.		Відхилення, %
						фактичний	розрахунковий	
Богодухів АС	Харків АС "Центральний ринок"	внутрішньообласний міжміський	61,2	33	15-20	1288	1485	15,3
Вовчанськ АС	Харків АС 3	внутрішньообласний міжміський	75,6	16	15-45	1355	1583	16,8
Чугуїв АС	Харків АС 6	внутрішньообласний приміський	26	42	10-30	2504	3023	17,2
Яковлівка	Харків пересадочний пункт ст.м. "Холодна гора"	внутрішньообласний приміський	32	5	95 та більш	140	148	5,4

Оцінка запропонованої методики визначення потенціальної кількості мешканців, які можуть користуватись автомобільним ГТ, може вважатись доцільною в рамках прогнозування пасажиропотоків. Відсоток відхилення на внутрішньообласних маршрутах спостерігається більш ніж у приміському сполученні, що може бути пояснено характеристиками населених пунктів, до яких належать районні центри, які мають, як правило, значно більшу чисельність населення порівняно з населеними пунктами, які розташовані в приміській зоні. Також відсоток поїздок на автомобільному транспорті порівнянно із залізничним може значно коливатись у зв'язку з нерівномірністю пасажиропотоків у приміському сполученні.

Оцінку відповідності місткості ТР згідно звітних даних з продажу квитків було здійснено з урахуванням пільгового контингенту, частка якого в деяких районах відповідно до статистичних даних досягає 30 % [137, 139]. Кількість пільгового контингенту була прийнята на рівні 10 % від загальної кількості. Поряд з цим, існує тенденція невідповідності звітно-статистичних даних фактичним в зв'язку з перевезенням пасажирів без квитків. Тому оцінку даного показника можливо проводити по середньому значенню для всіх досліджених ТР на зважаючи на значне відхилення в окремих.

Результат оцінки визначення місткості ТР з відправлення згідно звітних даних з трьох автостанцій м. Харкова показав, що середній відсоток відхилення розрахункових даних складає 13,3 %. У випадках, коли населені пункти («Перемога» та «Ст. Салтів») обслуговуються не тільки маршрутами, які організовані з автостанції «Кінний ринок», а також маршрутами з пересадочних терміналів (602-й та 624-й мікрорайон у м. Харків) відхилення досягає 40 %, що в даному випадку може свідчити про відсоткове співвідношення пасажиропотоків між цими кінцевими ЗП, які не враховані згідно звітних даних до відповідних пересадочних терміналів. У загальному випадку відсоток відхилення не перевищують 25 %, крім значення відправлень та значення яке є максимальним до міста Красноград, яке може бути пояснено переліченими раніше сучасними умовами функціонування системи ГТ.

Запропонований підхід до визначення місткостей ТР з відправлення дає можливість отримати прогнозне значення кількості мешканців населених пунктів, які здійснюють пересування в напрямку міста й можуть бути використанні як вихідні дані для визначення потре-

би в пересуваннях мешканців у внутрішньобласному, міжміському та приміському сполученні. Застосування запропонованої методики доцільно використовувати як рекомендації для визначення потенційної кількості пасажирів у разі відсутності фактичних даних.

Наступним кроком у побудові моделі потреб у пересуваннях була розрахована матриця найкоротших відстаней між транспортними районами в програмі VISUM. Виходячи зі встановлених меж інтервалів групування відстаней пересувань згідно експериментальних досліджень (рис.3.24) та параметрів показникового розподілу, придатного для опису закономірностей розподілу відстаней поїздок, за формулами (4.1) та (4.2) були розраховані ймовірності потрапляння відстаней пересувань у кожний інтервал та їх кількість, які наведені в табл. 4.3. Ці дані є вихідною інформацією для формування системи (4.3). Застосування розробленого в середовищі MS Excel алгоритму дозволило сформувати МПК, що задовольняють обмеженням (4.3). Розрахунок МПК був здійснений для пересувань у напрямку міста, що характеризує ранкову годину "пік", та у зворотному напрямку з міста, що характеризує вечірню годину "пік".

Загальний масив даних на території приміської зони складає 64598 пас., на території області – 133896 пас. Запропонована методика розрахунку МПК дозволяє повною мірою врахувати ймовірнісний характер кореспонденцій та отримати такий їх розподіл між клітинками МПК, який забезпечуватиме формування фактичного розподілу відстані пересування в приміському сполученні. Також розроблена методика повністю відповідає інтервальній концепції моделювання транспортних потреб та є її розвитком для застосування в приміському сполученні. При цьому є можливість сформувати варіанти МПК які можуть відповідати мінімальному відхиленню від фактичного розподілу пересувань та визначити зони впливу міста на кількість пересувань в залежності від віддаленості населених пунктів від міста.

4.3 Аналіз результатів розрахунку МПК

Для оцінки відповідності сформованої МПК фактичному розподілу відстаней пересування на території приміської зони м. Харкова були розраховані відхилення в межах заданих інтервалів групувань.

Згідно з розрахунками максимальне відхилення у значеннях $\sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} h_{ij}^{(\Delta I)}$

в межах інтервалів групування відстаней складає 19,62 %, середнє – 6,3 % (табл.4.3). Треба зазначити, що найбільше відхилення спостерігається на відстані понад 120 км і більше. Це може пояснюватись тим, що вплив міста суттєво знижується в мірі віддаленості населених пунктів (об'єктів тяжіння) від міста і обмежує дію приміського сполучення. У приміському сполученні точність розрахунку МПК значно більша, середній відсоток відхилення не перевищує 1,4 %, при цьому також спостерігається зниження точності розрахунків в мірі віддаленості від міста.

Результат оцінки розрахунку МПК дає змогу стверджувати про можливість використання розрахованих матриць на практиці та вважати відтворення ними просторового розподілу переміщень навколо міста, тобто відповідність виявленим закономірностям розподілу відстаней пересувань на території, що оточує м. Харків. Для додаткової оцінки результатів моделювання потреб у послугах ГТ за допомогою процедури перерозподілу в середовищі VISUM було отримано розрахункові пасажиропотоки, які наочно представлено на рисунку 4.5.

Таблиця 4.3

Оцінка розрахунку МПК на території Харківської області

Інтервал групування	Нижня межа, км.	Верхня межа, км.	Кількість пересувань, од			
			Фактична	Розрахункова	Відхилення	%
Приміська зона						
1	0	20	42 230	41650	-579	1,37
2	20	40	14 089	14379	289	2,06
3	40	60	8 279	8569	290	3,5
Харківська область						
1	0	20	41 393	40409	984	2,38
2	20	40	26 707	26854	-147	0,55
3	40	60	20 444	20327	117	0,57
4	60	80	13 318	12525	793	5,95
5	80	100	10 438	10051	387	3,71
6	100	120	7 919	8499	-580	7,33
7	120	140	3 743	3348	395	10,56
8	140	160	9 934	11883	-1949	19,62

Для оцінки розрахункових пасажиропотоків необхідно здійснити їх зіставлення з фактичними даними. Проведення суцільних обстежень на території області потребує значних витрат і в рамках даної роботи практично нездійсненно на такій великій території. Оцінити ступінь відповідності фактичних значень можливо при зіставленні розрахункових пасажиропотоків, які характеризують кількість мешканців населених пунктів, що виїжджають у напрямку міста. Отримати дану величину можливо як різницю між кількістю пасажирів у кожному населеному пункті, який представлений у моделі відповідним ТР. У свою чергу пасажиропотоки розраховуються між транспортними вузлами, і величина різниці пасажиропотоку між вхідними та вихідними відрізками в моделі відповідного ТР буде визначати кількість пасажирів, які виїжджають з ТР. Оцінку моделювання пасажиропотоків доцільно проводити на території Харківської області враховуючи, що відхилення розрахунків у приміському сполученні незначні.

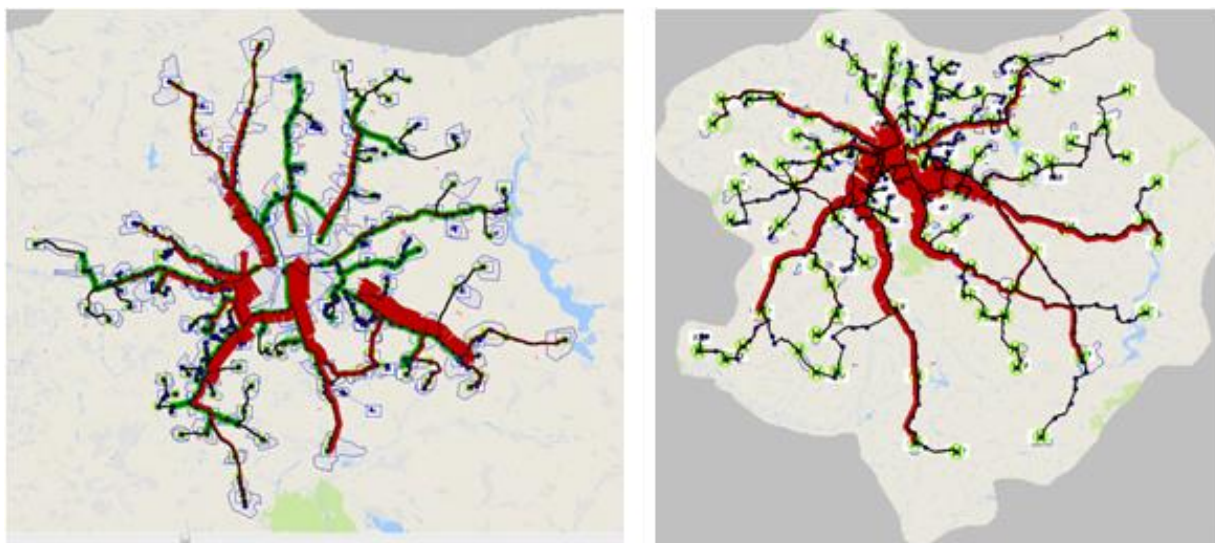


Рис. 4.5. Мережа маршрутів ГТ в зоні впливу м. Харкова з відображенням епюр пасажиропотоків

Результати аналітичного моделювання роботи ТС ГТ Харківської області на основі використаних закономірностей розподілу відстаней поїздок показали, що відхилення між розрахунковими та фактичними пасажиропотоками практично відсутнє, що спостерігається на більшості ділянках. Середнє значення відхилення складає 5,4 %, максимальна похибка розрахунку пасажиропотоків склала 18,11 % на

відстані від 20 км до 40 км, про що свідчать дані табл. 4.4, у якій представлені максимальні значення відхилення для кожного інтервалу групування відстаней.

Точність розрахунків розподілу пасажиропотоків збільшуються в міру віддаленості населених пунктів від міста, що говорить про доцільність застосування запропонованої методики на території області. Відхилення значень розрахункових пасажиропотоків в міру наближення до міста може бути пояснено збільшенням щільності транспортних зв'язків і перерозподілом пасажиропотоку на окремих ділянках ТМ ГТ.

Таблиця 4.4

Оцінка ступеню відповідності розрахункових пасажиропотоків сформованої МПК

Інтервал групування відстані	№ ТР у моделі VISUM	Віддаленість від міста ТР, км	Кількість виїжджаючих мешканців з ТР, пас.		Відносна похибка розрахунку, %
			згідно моделі VISUM	розрахункова	
1	4	14,1	6	5	16,67
2	25	24,2	911	1076	18,11
3	62	51,1	26	25	3,85
4	140	71,9	441	426	3,4
5	184	95,3	454	452	0,44
6	165	103	2741	2738	0,11
7	173	137	336	334	0,6
8	187	143	760	759	0,04

Для оцінки роботи ММ ГТ та якості транспортного обслуговування населення були обрані середня відстань та середній час пересування одного пасажирів в ТЗ ГТ. Згідно розрахунків у середовищі VISUM середня відстань пересування одного пасажирів в ТЗ ГТ складає на території області 74,52 км у приміському сполученні 30,55 км. Враховуючи, що закономірність у відстані поїздок визначалась за межами міста з параметром зсуву 8,5 км відповідно середнє значення цієї величини на території області складає 66,02 км у приміському сполученні 22,05 км.

Згідно емпіричним даним показникового розподілу математичне очікування (табл.3.9 - 3.10) на території області складає 54,87 км у приміському сполученні - 24,18 км, відповідно відсоток відхилення

розрахунків аналітичного моделювання 0,2 та 0,09. Це свідчить про відповідність розрахунків визначеним закономірностям у відстані поїздки. Згідно з розрахунками, проведеними в програмному середовищі VISUM, середній час пересування одного пасажирів в ТЗ ГТ складає на території області 1,93 год. у приміському сполученні – 0,75 год.

Стосовно приміського сполучення цей показник практично у два рази більше від його значення в найкрупніших містах [54], що є обґрунтованим значенням, враховуючи результати інтервальної оцінки показників роботи ГТ м. Харкова [54] – середній час поїздки на території приміського сполучення та міста склав [1,091;1,093]. Значення середнього часу пересування згідно [28] для великих міст складає двогодинну трудову доступність у межах приміської зони, значення середнього часу поїздки на території Харківської області в ТЗ ГТ не перевищує це значення, що може визначати пересування в приміському сполученні в межах Харківської агломерації.

Також з огляду на значення даних показників можна дати оцінку ефективності функціонування як діючих ММ, так і заходів щодо їх зміни чи корегування [54]. З цією метою потрібно розрахувати вищевказані показники для кожного стану МПК та побудувати відповідний інтервал їх можливих значень, даючи таким чином інтервальну оцінку параметрам пересувань пасажирів на території дії приміського сполучення.

З метою здійснення відповідних розрахунків необхідно отримати за пропонуваною методикою інші МПК та здійснити розрахунок оціночних показників у програмному середовищі VISUM. Це дозволить здійснити необхідні процедури перерозподілу та розрахунку відповідних матриць витрат на пересування [128]. В залежності від отриманих значень оціночних показників можливо здійснювати зміни в роботі ММ ГТ, згідно відповідної МПК.

На основі отриманих результатів можна стверджувати, що розроблена методика визначення потреб для перевезення ГТ населення в приміському сполученні цілком придатна для застосування на практиці, також це робить можливим застосування її на території області. При застосуванні відповідної методики доцільно дотримуватись певних рекомендацій, наведених у наступному підрозділі.

4.4 Практичні рекомендації щодо застосування методики визначення потреб у пересуваннях у приміському сполученні

Формування МПК представляє собою трудомісткий процес, який складається з сукупності великої кількості дій і процедур для отримання кінцевого результату. Сукупність операцій, розміщених у певній послідовності, при виконанні якої досягається поставлена мета згідно [140-142], є методикою, яка представлена як послідовність операцій у підрозділі 4.1. Поставлена послідовність є методикою отримання МПК, яка найкращим чином відбиває потреби населення в пересуваннях і, безумовно, є невід'ємною частиною моделі ГТ при функціонуванні його на визначеній території. Запропонована методика з точки зору отримання найбільш імовірних станів МПК дає можливість оцінити ефективність функціонування ММ як з позицій пасажирів, так і перевізника. Отримання МПК засновано на впливі міста на кількість пересувань та використання фактичного розподілу відстаней пересування на території, що оточує місто. Знання найбільш точного розподілу відстаней пересувань та застосування розробленої методики визначення транспортних потреб дозволить отримати найбільш достовірні стани МПК та відповідно найбільш якісну модель ГТ.

Отримання закономірностей розподілу відстані пересувань на території, що оточує місто, пов'язано з ефективною організацією роботи з збору необхідного матеріалу для побудови на його основі моделі транспортних потреб з використанням запропонованої методики. З метою отримання найбільш якісної моделі, яка заснована на визначенні та застосуванні фактичних даних, були розроблені наступні рекомендації:

- з метою удосконалення та розвитку транспортного обслуговування населення на території області в рамках розробки обласної програми доцільно передбачити заходи щодо розробки надійного і відповідного до реалій сучасності механізму транспортного обслуговування мешканців міста та населених пунктів, селищ та сіл області;
- у випадку розробки обласної програми основними її напрямками повинні бути заходи, направлені на поліпшення якості обслуговування пасажирів, які передбачають аналіз сучасного стану дорожньої мережі та облаштування АС та кінцевих пересадочних пунктів, реалізації організаційно-технічних заходів з безпосереднього охоп-

лення транспортним обслуговуванням мешканців області. Крім згаданого, можливо передбачати організаційні заходи з вдосконалення механізмів управління транспортною системою перевезення пасажирів в області, які направлені на розробку методики фінансування, залучення інвестицій та ін. Основним напрямком, пов'язаним з роботою, є аналіз співвідношення попиту й пропозиції на існуючих автобусних маршрутах, який повинен базуватись на якісній моделі потреб у пересуваннях;

- для виконання робіт зі збору вихідної інформації в рамках обласної програми та якщо замовником робіт з розробки моделі ГТ на території області та приміського сполучення є органи державної влади чи місцевого самоврядування, доцільною буде домовленість за їх посередництвом з керівництвом АС та перевізниками, які обслуговують дане сполучення, про завчасний початок робіт зі збору безособової інформації про дальності пересувань. Отримати дану інформацію можливо на основі звітних даних квітково-касових відомостей АС. У разі відсутності даного виду звітності на основі проданих квитків із зазначенням пункту відправлення та пункту призначення від перевізників, які обслуговують дане сполучення;

- доцільним також є надання інформації органами районних адміністрацій про кількість мешканців, які проживають у населених пунктах у межах району з урахуванням пільгового контингенту. Це дозволить уточнити (скорегувати) отримані звітні дані та отримати відносно повну інформацію про пересування в напрямку обласного та районного центру;

- звітні дані повинні бути надані протягом тижня, тобто з урахуванням тижневої нерівномірності пасажиропотоків у приміському та внутрішньообласному сполученні, яка характеризує даний вид сполучення. Для отримання кількості трудових та культурно-побутових пересувань доцільно розглядати звітні дані на початку вересня у зв'язку з найбільшим попитом на пересування на початку періоду закінчення відпусток та навчання. Урахування рекреаційних поїздок доцільно розглядати у весняний та літній періоди в напрямках наявності об'єктів тяжіння для цього виду пересувань;

- додатковим, але доволі трудомістким засобом отримання інформації про напрямки пересувань населення та, відповідно, орієнтовні пасажиропотоки, може бути проведення анкетування чи опитування населення різними методами: поштою, телефоном, у мережі

Internet, особисто на території АС та кінцевих пересадочних терміналів;

- побудована модель ММ обов'язково повинна включати всі населенні пункти, охоплені мережею пасажирського сполучення ГТ, та може включати перспективні напрямки пересувань (поява нових місць працевлаштування на території приміської зони або поява нових зон відпочинку). При побудові ММ потрібно якомога точніше вносити в неї параметри всіх об'єктів мережної інфраструктури: розташування ЗП, довжини перегонів, траси маршрутів, інтервали руху на маршрутах (розклад їх роботи) тощо. Це дозволить отримати точні значення показників, що можуть знадобитися для визначення відстані пересувань на основі фактичних закономірностей розподілу цієї величини при розрахунку МПК;

- застосування розробленої методики дає змогу серед сформованих МПК обрати таку, що забезпечує мінімальні відхилення між розрахунковою та фактичною кількістю пересувань згідно розподілу відстані пересувань та використовувати її для розробки конкретних рішень щодо планування розвитку ТС у приміському сполученні та на території області.

Висновки

Розроблена методика визначення потреб у перевезеннях у приміському сполученні на основі закономірностей у відстанях пересувань мешканців приміської зони дозволяє удосконалити інтервальну концепцію розрахунку МПК, що досягається їх відповідністю фактичному розподілу відстаней пересувань у межах заданих інтервалів відстаней, ширина інтервалу на прикладі Харківської області складає 20 км.

Визначення потенційної кількості мешканців, які здійснюють пересування в напрямку міста, дає змогу врахувати вплив міста на кількість пересувань залежно від віддаленості населеного пункту від міста з використанням моделі інтенсивності руху ГТ у приміському сполученні. Середній відсоток відхилення розрахунків місткості ТР складає 13,3 % від фактичних значень отриманих у результаті проведення вибірових обстежень на території Харківської області.

Застосування розробленої методики для моделювання потреб у послугах ГТ в приміському сполученні та на території Харківської

області дало можливість сформувати МПК, котрі можна використувати на практиці, що підтверджується їх відповідністю фактичним закономірностям розподілу відстані поїздок з максимальним відхиленням 19,62 % та середнім відхиленням 6,3 %. Збільшення відхилення спостерігається на відстані понад 120 км і більше. Це пояснюється зниженням впливу міста в міру віддаленості населених пунктів.

У результаті моделювання ТС ГТ Харківської області ступінь відповідності розрахунків вхідних пасажиропотоків склала 5,4 %, максимальна похибка розрахунку вхідних пасажиропотоків спостерігається на відстані від 20 км до 40 км. Відхилення значень розрахункових пасажиропотоків у міру наближення до міста можуть бути пояснені збільшенням щільності транспортних зв'язків.

Сформовані МПК на території Харківської області були використані для розрахунку показників транспортного обслуговування пасажирів ГТ. Середня відстань пересування одного пасажирів в ТЗ ГТ складає на території області 74,52 км, у приміському сполученні – 30,55 км з урахуванням відстані поїздки територією міста. Відносне відхилення відстані поїздки згідно розрахунків та фактичних значень складає 0,09 у приміському сполученні та 0,2 на території області. Середній час пересування одного пасажирів в ТЗ ГТ на території області склав 1,93 год., у приміському сполученні – 0,75 год. Це свідчить про відповідність результатів моделювання ММ ГТ фактичним закономірностям у відстані поїздки.

Розроблені рекомендації щодо застосування підходу до визначення потреб у приміському та внутрішньобласному сполученні засновані на послідовності операцій з метою отримання МПК. Надаються загальні рекомендації для виконання робіт зі збору вихідної інформації для отримання закономірностей розподілу відстаней пересувань.

ВИСНОВКИ

Аналіз факторів, які визначають попит на пересування пасажирів у приміському сполученні, показав, що основними чинниками його формування є характер і зміст системи розселення населення та рівень розвитку транспортної інфраструктури. Існуючі підходи до визначення потреб у пересуваннях у приміському сполученні не повною мірою враховують випадкову природу попиту, вплив міста та його параметрів на кількість пересувань, а також обмежують зону впливу міста межами дії приміських маршрутів, тому для розрахунку матриць пасажирських кореспонденцій у приміському сполученні як принципову основу доцільно використовувати інтервальну концепцію визначення потреб у пересуваннях.

Встановлено, що на інтенсивність руху громадського, вантажного та індивідуального транспорту на автомобільних дорогах загального користування істотно впливають такі характеристики міста, як чисельність його населення та відстань до нього, але характер цього зв'язку є досить випадковим та може бути описаний лише після логарифмічного перетворення значень інтенсивності руху транспортних потоків різних категорій транспортних засобів. У результаті регресійного аналізу були отримані моделі інтенсивності руху відповідних категорій транспортних засобів, для яких коефіцієнт кореляції перевищує 90 %, що дозволяє використовувати їх для прогнозування інтенсивності руху та визначення питомого змісту різних категорій транспортних засобів у приміському сполученні. Показники отриманої моделі інтенсивності руху громадського транспорту ($r = 0,94$, $r^2 = 0,88$) свідчать про можливість її використання для розрахунку потенційної кількості мешканців, які здійснюють пересування в напрямку міста.

Створені на основі гіпотези про те, що закономірності розподілу відстаней між об'єктами тяжіння навколо міста є продовженням аналогічних закономірностей, які існують на території міста, математичні моделі показали, що відстані між об'єктами тяжіння на території навколо міста мають відповідати нормованому продовженню розподілу Релея.

Закономірності у відстані поїздки пасажирів до міста з території за його межами відповідають показниковому розподілу з параметром зсуву, що дорівнює мінімальній відстані поїздки територією міста,

яка є складовою відстані пересування пасажирів в приміському сполученні.

Експериментальні дослідження просторового розташування інфраструктури громадського транспорту чотирьох українських міст підтвердили існування загальних закономірностей у розміщенні зупиночних пунктів на території міста та території, що її оточує. Вони полягають у нормальному розподілі горизонтальних координат зупиночних пунктів громадського транспорту навколо міського центру. На цьому матеріалі також були підтверджені теоретичні припущення про розподіл Релея відстаней між центром міста та зупиночними пунктами на території міста та за його межами, а також про показниковий розподіл відстаней приміських пересувань. За результатами перевірки відповідності відстаней розподілу Релея максимальне відхилення накопичення частот для даного розподілу на території м. Харкова та Харківської області складає 0,126, максимальна віддаленість ЗП на території області – 95 км по прямій. Мінімальне відхилення між теоретичним і емпіричним розподілами відстані поїздки пасажирів досягається при розгляді населених пунктів від міста на відстані до 100 км.

Розроблена методика визначення потреб населення в перевезеннях громадським транспортом у приміському сполученні дозволяє врахувати визначені закономірності у відстанях пересувань у рамках інтервальної концепції моделювання транспортного попиту за рахунок використання лише тих станів матриці, котрі відповідають фактичним закономірностям розподілу відстані поїздок на території. Вона також дозволяє охопити широкий діапазон можливих варіантів попиту на поїздки громадським транспортом, що гарантує об'єктивну оцінку результатів реалізації альтернативних сценаріїв розвитку міської агломерації. Її застосування для моделювання потреб у послугах ГТ на території Харківської області дало можливість сформулювати набір МПК з середнім відхиленням 6,3 % від фактичних закономірностей розподілу відстані поїздок. Відхилення зростає на відстані понад 120 км, що пояснюється зниженням впливу міста в міру віддаленості населених пунктів.

Результати визначення потреб пасажирів у пересуваннях територією Харківської області були використані для розрахунку показників транспортного обслуговування пасажирів ГТ. Середня відстань пересування одного пасажирів в ТЗ ГТ складає на території області

76,51 км, у приміському сполученні – 30,55 км з урахуванням відстані поїздки територію міста. Відносне відхилення відстані поїздки згідно розрахунків та фактичних значень складає 0,09 у приміському сполученні та 0,2 на території області. Середній час пересування одного пасажирів в ТЗ ГТ на території області склав 1,93 год., в приміському сполученні – 0,75 год. Це свідчить про відповідність результатів моделювання ММ ГТ фактичним закономірностям у відстанях поїздок до міста з прилеглої території.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики. Режим доступу <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
2. Яновський П. О. Пасажирські перевезення. Київ 2008. 469 с.
3. Кристопчук М. Є., Лобашов О. О. Приміські пасажирські перевезення. Харків. 2012. 223 с.
4. Закон України „Про автомобільний транспорт”. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2001. № 22. ст. 105, чинний документ № 2344-III, поточна редакція від 13.02.2020, підстава № 440-IX.
5. Постанова Кабінету Міністрів України „Про затвердження Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту” від 18.02.97 р. № 176. у редакції Постанови Кабінету Міністрів м України від 26.12. 2019 р. № 176.
6. Постанова Кабінету Міністрів України „Про затвердження Концепції реформування транспортного сектору економіки” від 09.11.2000 р. № 1684.
7. Збірник законодавчих та нормативних документів, що регламентують діяльність підприємств автомобільного транспорту всіх форм власності (вип. 2). Київ, 1998. 528 с.
8. ДСТУ 2610-94. Пасажирські автомобільні перевезення. Терміни та визначення. Державний стандарт України. Київ, Держстандарт України, 1994. 28с.
9. Про місцеве самоврядування в Україні : Закон України від 21 травня 1997 р. № 280/97. Відомості Верховної Ради. 1997. - № 24. 170 с., поточна редакція від 02.04.2020, підстава № 540-IX/ Офіц. вісник України.
10. Про внесення змін до Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту. Постанова КМУ від 7 лютого 2018 р. № 181. Офіц. вісник України.
11. Порядок проведення конкурсу на перевезення пасажирів на автобусному маршруті загального користування. Постанова КМУ від 3 грудня 2008 р. № 1081. Офіц. вісник України.
12. Державні будівельні норми України. ДБН Б.2.2 - 12:2019. Планування та забудова території.
13. Про встановлення повноважень органів виконавчої влади та виконавчих органів міських рад щодо регулювання цін (тарифів):

Постанова КМУ від 25 грудня 1996 р. № 1548. Поточна редакція від 23.01.2020, підстава №1161. Офіц. вісник України.

14. Семенов В.Т., Штомпель Н.Э. Формирование устойчивого развития мегаполисов. Урбанистические аспекты: монография: – Харьков, 2009. 340 с

15. Фомін І.О. Основи теорії містобудування. Київ. 1997. 191 с.

16. Форрестер Дж. Динамика развития города. [Пер. с англ.]. Москва: Прогресс, 1974. 288 с.

17. Алфьоров М. А. Урбанізаційні процеси в Україні в 1945—1991 рр: Монографія/ М. А. Алфьоров — Донецьк: Донецьке відділення НТШ ім. Шевченка, ТОВ «Східний видавничий дім» 2012. — 552 с.

18. Ладыгина И. В. Структурно-планировочные особенности формирования районных центров и внешней зоны Харьковской агломерации. *Коммунальное хозяйство городов*. № 36. 2002. С. 64-68.

19. Гладкий О. Особливості формування та розвитку харківської промислової агломерації. *Часопис соціально-економічної географії*. випуск 3(2). 2007.

20. Пермовский А. А. Пассажирские перевозки. 2011. 164 с.

21. Доля В. К. Пасажирські перевезення. – Харків : Форт. 2011. 504 с.

22. Блатнов М. Д. Пассажирские автомобильные перевозки. Москва. 1981. 222 с.

23. Яновський П. О. Пасажирські перевезення. Київ. 2008. 469 с.

24. Кристопчук М. Є. Ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення: дис. ... канд. техн.наук. Харків. 2009. 214 с.

25. Артынов А. П., Н. У. Дмитриев. Пригородные пассажирские перевозки. Москва. 1985. 161 с.

26. Ванчукевич В. Ф., Седюкевич В. Н. Автомобильные перевозки. Минск. 1988. 264 с.

27. Дмитриев О. А. Междугородные автобусные перевозки. Москва. 1982. 216 с

28. Доля В. К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупнейших городах: автореф. дис. ... д- ра техн. наук: 05.22.10. Москва. 1993. 42 с.

29. Афанасьев Л. Л., Воркут А. И., Дьяков А. Б., Миротин Л. Б., Островский Н. Б. Пассажирские автомобильные перевозки. Москва. 1986. 220 с.
30. Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок. Москва. 1980. 535 с.
31. Горбачев П. Ф., Дмитриев И. А. Основы теории транспортных систем. Харьков. 2002. 209 с.
32. *Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния*: науч. материалы XVI междунар. (девятнадцатой екатеринбургской) науч.-практ. конф., 16-17 июня 2010 г. Екатеринбург. 2011. С.104-111, II [363] с.
33. Ембулаев В. Н., Артынов А.П., Скалетский В. В. Методы сбора и обработки информации о пассажиропотоках на городском пассажирском транспорте. Москва. 1981. 385 с.
34. Ларин О. Н. Организация пассажирских перевозок. Челябинск. 2005. 104 с.
35. Гудков В. А., Миротин Л. Б., Вельможин А. В. Пассажирские автомобильные перевозки. Москва. 2006. 448 с.
36. Афанасьев Л.Л., Цукерберг С.М. Автомобильные перевозки. Москва. 1973. 320 с.
37. Юдин В.А., Самойлов Д.С. Городской транспорт; учебник для вузов. Москва. 1975. 287 с.
38. Гуревич Г.А., Кузнецов Г.И., Михайлов А.А. Изучение транспортных потребностей – основа совершенствования работы пассажирского транспорта. *Автомобильный транспорт*. Серия 4. Пассажирские перевозки автомобильным транспортом. Научно-технический реферативный сборник. 1980. № 2. С. 1–5.
39. Город и маятниковая миграция населения : [под науч. ред. канд. геогр. наук С.А. Польского]. Минск. 1979. 187 с.
40. Володин Е.П. Громов Н.Н. Организация и планирование перевозок пассажиров автомобильным транспортом. Москва. 1982. 224 с.
41. Енин Д. В. Модели и алгоритмы управления городскими пассажирскими перевозками (на примере г. Воронежа): автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.13.10. Воронеж. 2004. 19 с.

42. Любимов И. И. Показатели спроса на услуги городского пассажирского транспорта. *Вестник ОГУ*. Режим доступа : http://vestnik.osu.ru/2009_9/25.pdf

43. Миронов А. Н., Михайлов А. А. О создании системы изучения и спроса населения на услуги автомобильного транспорта. *Совершенствование организации и управления перевозочным процессом на пассажирском автомобильном транспорте*. Москва. 1988. С. 152–169.

44. Кононенко І.В., Овсянников Г.Г. Стан і перспективи розвитку пасажирського автотранспорту України на період до 2010 року: Наук.-метод. видання. – Київ. 1999. 150 с.

45. Эйнгорн Л.М. Модель трудового расселения. *Город и пассажир* : тезисы докладов I Ленинградская науч. конф. по обследованию и прогнозированию пассажиропотоков. (г. Ленинград, ноябрь 1969 г.). Ленинград, 1969. – С. 164–167.

46. Методологические аспекты исследований и проектирования транспортных систем городов и агломераций. *Исследования закономерностей расселения и передвижения населения в городах и агломерациях* : тезисы докладов на второй Свердловской науч.-практ. конф., (Свердловск, 17-19 сентября 1974 г.). Свердловск. 1974. 63 с.

47. Грановский Б.И. Моделирование пассажирских потоков в транспортных системах. *Автомобильный и городской транспорт*. 1986. т. 11. С. 67–105.

48. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем. Учебное пособие. Санкт-Петербург. 2010. 214 с.

49. Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник. Москва. 2010. 400 с.

50. Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом: справочное пособие. Москва. 2004. 413 с.

51. Логистика: общественный пассажирский транспорт: учебник. Под общ. ред. Л.Б. Миротина. Москва. 2003. 244 с.

52. Михайлов А.С. Управление рынком перемещений городского населения. Алматы: НИЦ Гылым. 2003. 237 с.

53. Юшкявичюс П.В. Транспортное обслуживание сельского населения агропромышленного комплекса. Москва. 1989. 164 с.

54. Свічинський С.В. Формування функції розселення міського населення для визначення потреб у перевезеннях громадським транспортом: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2015. 223 с.

55. Методичні рекомендації з визначення існуючої та прогнозування перспективної інтенсивності руху: МР А.2.1-218-02070915-729. Київ, 2008. 25 с.
56. Методика економічних вишукувань для проектування автомобільних доріг: М 218-05416892-409. Київ, 2004. 34 с.
57. Dmitriy Dzhuruk, Anton Zedgenizov. Forecasting of traffic intensity on suburban routes. Thirteenth International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (SPbOTSIC 2018) *Transportation Research Procedia* 36 (2018) P. 135–140
58. Ortuzar J.D., Willumsen L.G. Modelling Transport. [Third Edition]. Chichester: Wiley. 2006. 499 p
59. Tilahun N.Y., Levinson D.M., Tilahun. N.Y. Selfishness and Altruism in the Distribution of Travel Time and Income. 1th International Association of Travel Behaviour Research Conference in Kyoto, August 2006 : working papers. Minnesota. 2006. P. 1–19.
60. Tampa Bay Regional Planning Model Cube Voyager Conversion: Tech. Rep. No. 1, Validation Rep. Dept. of Transportation, Gannett Fleming. Project ID No. 259173-1-12-05. Florida, 2004. 162 p.
61. An Improved Model for the Estimation of Trip Length Frequency Distribution: Staff Rep. *Texas Transportation Institute*. No. 0194-5. Texas. 1979. 46 p.
62. Rolf Moeckel Constraints in household relocation: Modeling land-use/transport interactions that respect time and monetary budgets. *Journal of Transport and Land Use*. Vol. 10 No. 1 [2017] pp. 211 – 228. <http://jtlu.org>
63. Доля В. К. Методы организации перевозок пассажиров в городах. Харьков. 1992. 144 с.
64. Заблоцкий Г.А. Транспорт в городе. Київ. 96 с.
65. Fratar T.J. Vehicular Trip Distribution by Successive Approximation. *Traffic Quarterly*. 1954. №8. p. 53–65.
66. Брайловский Н.О., Грановский Б.И. Моделирование транспортных систем. Москва. 1978. 125 с.
67. Сафронов Э.А. Исследование вопросов по уточнению методики расчетов пассажиропотоков в городах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. Москва. 1972. 16 с.
68. Брайловский Н.О. Проблемы повышения эффективности функционирования транспортных сетей городов: дис. ... доктора техн. наук : 05.22.10. Москва. 1981. 327 с.

69. Булычева Н.В., Федоров В.П. Расчет пассажиропотоков и оптимизация параметров маршрутных схем. в кн. *Математические методы в управлении городскими транспортными системами*. 1979. С. 65–90.

70. Демирчян С.К. Разработка и исследование моделей транспортных систем с ограниченной пропускной способностью: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Москва. 1985. 129 с.

71. Лившиц В.В. Системная концепция города и математическое моделирование адаптационного поведения городского населения. в кн. *Использование прикладного системного анализа в проектировании и управлении развитием городов*. Москва. 1974. С. 120–147.

72. Федоров В.П. Математическая модель расчета пассажиропотоков в маршрутной сети города. *Город и пассажир. Градостроительные проблемы развития пассажирского транспорта*: тезисы докладов к III Ленинградской научной конференции. Ленинград. 1975. С. 63–70.

73. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие [приложения: Бланк М.Л., Гасникова Е.В., Замятин А.А. и Малышев В.А., Колесников А.В., Райгородский А.М.]; под ред. А.В. Гасникова. Москва. 2010. 362 с.

74. Ortuzar J.D., Willumsen L.G. *Modelling Transport*. [Fourth Edition]. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2011. 586 p.

75. Машина И.И. Моделирование пассажиропотоков города с использованием объемных стохастических сетей: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 08.00.13. Киев. 1989. 14 с.

76. Лопатин А.П. Моделирование перевозочного процесса на городском пассажирском транспорте. Москва. 1985. 144 с.

77. Вильсон А.Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем.; пер. с англ. Ю.А. Дубова ; [под. ред. Ю.С. Попкова]. Москва. 1978. 248 с.

78. Гуревич Г.А., Кузнецов Г.И., Крупник В.Ш. Анализ расчетных методов построения матрицы межостановочных корреспонденций пассажиров. *Автомобильный транспорт. Серия 4. Пассажирские перевозки автомобильным транспортом*. Научно-технический реферативный сборник. Москва. №2. С. 24–33.

79. Мальгин А.Н. Разработка и исследование моделей многоцелевых передвижений населения в транспортной сети : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 01.01.11. Москва. 1988. 20 с.

80. Мальгин А.Н. Расчет пассажирских корреспонденций в городах с учетом их возможной реализации на транспортной сети. *Моделирование процессов управления транспортными системами* : тезисы докладов всесоюзной конференции. Владивосток. 1977. С. 35–38.

81. Haynes E.K., Fotheringham A.S. Gravity and Spatial Interaction models. *Sage-Publications*. 1984. p. 9-13

82. Shahriar A.Z., Morteza A. An Integrated Urban Land Use and Transportation Demand Model Based on Lowry Linage. *Journal of Applied Sciences*. №8 (7). 2008. p. 1197–1205.

83. Berechman J., Small K.A. Modeling Land Use and Transportation: an Interpretive Review for Growth Areas. *Environment and planning*. vol. 20. 1988. p. 1285–1309.

84. Iacono M., Levinson D., El-Geneidy, Iacono A M. Models of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory. *Journal of Planning Literature Online First*. 2008. – p. 1–18. Режим доступа до журн.: http://tram.mcgill.ca/Research/Publications/models_of_transport_land_use_guided_ter.pdf.

85. Овечников Е.В., Фишельсон М.С. Городской транспорт. Москва. 1976. 270 с.

86. Vries J.J., Nijkamp P., Rietveld P. Alonso's General Theory of Movement: *Advances in Spatial Interaction Modeling*. Amsterdam, 2000. TI 2000-062/3.

87. Transport Planning and Traffic Engineering / [M.G.H. Bell, P.W. Bonsall, G.R. Leake, A.D. May, C.A. Nash, C.A. O'Flaherty] ; C.A. O'Flaherty Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. 1997. 544 p.

88. Лозе Д. Моделирование транспортного предложения и спроса на транспорт для пассажирского и служебного транспорта – обзор теории моделирования / Д. Лозе // Сборник докладов 7-й междунар. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». – СПб.: СПб гос. архит.-строит. ун-т, 2006. – С. 170–186.

89. Ефремов И.С., Гольц Г.А. Городской пассажирский транспорт и АСУ транспорта : [под ред. В.М. Кобозева]. Теория городских пассажирских перевозок; часть первая. Москва. 1988. 480 с.
90. Погребняк, Е.Б.,. Самойленко Н.И Анализ методов формирования матрицы корреспонденций транспортной сети города. *Коммунальное хозяйство городов. Вестник Харьковской национальной академии городского хозяйства*. 2006. №69. С. 121–126.
91. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01. Харків, 2009. 370 с.
92. Проблемы подвижности городского населения. [под ред. М.И. Каган]. Москва. 1974. 35 с.
93. Горбачов П.Ф. Нова концепція моделювання потреб населення у трудових пересуваннях міським пасажирським транспортом. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. №27. 2009. С. 210–214.
94. Горбачов П.Ф. Оцінка впливу транспортних факторів на результати вибору людиною робочого місця. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. №43. 2008. С. 86–91.
95. Правдин Н.В., Негрей В.Я. Прогнозирование пассажирских потоков : методика, расчеты, примеры. Москва. 1980. 222 с.
96. Брайловский Н.О., Беленов В.М. Моделирование функциональных транспортных связей крупного города. *Экономика и математические методы*. т. 13, № 4. 1977. С. 672–681.
97. Quarmby D.A. Choice of Travel Mode for the Journey to Work. *Journal of Transport Economics and Policy*. 1967. Vol. 1, № 3. p. 273–314.
98. Preston J. Demand Forecasting for New Local Rail Stations and Services. *Journal of Transport Economics and Policy*. 1991. Vol. 25, № 2. p. 183–202.
99. VISUM 10.0 User Manual [Електронний ресурс]. – 80 min / 700 MB. – 2007. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM) ; 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; CD-ROM Windows 98/2000/NT/XP. – Назва з контейнера.
100. Гульчак О.Д. Підвищення ефективності міських пасажирських перевезень на основі удосконалення організації руху автобусів:

автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01. Київ. 2005. 19 с.

101.Вдовиченко В.А. Эффективность функционирования городской пассажирской транспортной системы: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.22.01. Харьков. 2004. 20 с.

102.Григоров М.А. Інформаційне забезпечення для моделювання та керування транспортними потоками у великих містах: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.06. Одеса. 2005. 18 с.

103.Дубровский В.В. Функция тяготения населения по трудовым целям. *Автомобильный транспорт*. №6. 2001. С. 22–24.

104.Миротин Л.Б., Ташбаев В.Э., Герами В.Д. Логистика: общественный пассажирский транспорт. Москва. 2003. 224 с.

105.Любий Є.В. Визначення попиту на пересування населення малих міст маршрутним пасажирським транспортом: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків. 2012. 191 с.

106.Россолов А.В. Совершенствование интервальной концепции определения спроса на услуги пассажирского маршрутного транспорта в крупных городах: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харьков. 2012. 207 с.

107.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.

108.Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения. Издание 5-е, переработанное исправленное. Москва. 2001. 247 с

109.Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Методы теории функций комплексного переменного. Издание 5-е, исправленное. Москва. 1987. 688 с

110.Хапланов М.Г. Теория функции комплексного переменного (краткий курс). Издание 2-е, исправленное. Москва. 1965. 209 с.

- 111.Вентцель Е.С., Овчаров. Л.А.Теория вероятностей и ее инженерные приложения : учеб. пособие для ВТУЗов, [2-е изд., стер.]. – Москва. 2000. 480 с.
- 112.Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике. Москва. 1978. с. 184–186.
- 113.Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. изд. 6-е. Москва. 1966. 680 с.
- 114.Baker, Alan. Transcendental number theory, Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-20461-3. 1975. p. 10.
- 115.Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). Москва. 1973. 720 с.
- 116.Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. Санкт-Петербург. 2001. 295 с.
- 117.Хастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. [пер. с англ. А.К. Звонкина]. Москва. 1980. 95 с.
- 118.Абергауз Г.Г., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н., Коровина И.А. Справочник по вероятностным расчетам. [2-е изд., исправленное и дополненное]. Москва. 1970. 536 с.
- 119.Вентцель Е.С. Теория вероятностей : учебник для вузов. [7-е изд. стер.]. Москва. 2001. 575 с.
- 120.Кингман Дж. Пуассоновские процессы. Москва. 2007. 136 с.
- 121.Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. Москва. 1988. 712 с.
- 122.Forbes C., Evans M., Hastings N., Peacock B. Statistical Distributions. [Fourth Edition]. Hoboken, NJ: Wiley. 2011. 212 p.
- 123.Галушко В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте. Москва. 1976. 232 с.
- 124.Державна служба статистики України. Чисельність наявного населення України. Київ 2019, стр 110.
- 125.Харьков транспортный. Автобусы. Пригородные и междугородные маршруты. Режим доступа: <http://gortransport.kharkov.ua/site/search/index.html>.
126. Картографічні дані Режим доступу: <https://www.google.com.ua/maps/>.
- 127.. Розклади руху автобусів на автовокзалах та автостанціях України (Beta-2.5) Режим доступу: <http://bus.com.ua/cgi-bin/poshuk>.
- 128.Електронний ресурс EasyWay. Режим доступу: <https://www.eway.in.ua/ru/cities/lviv>

- 129.Електронний ресурс: Ужгородська область: населені пункти, географія, населення, клімат, економіка, герб. Режим доступу: <http://www.zagorodna.com/uk/regioni-ukrajni/kharkivska-oblast/>
- 130.Севастьянов Б.А. Курс теории вероятности и математической статистики. Москва. 1982. 256 с.
- 131.Краткое руководство STATISTICA. StatSoft. 2012. 354 с.
- 132.Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории вероятности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ. Серия "Физико математическая библиотека инженера". Москва. 1965. 524 с.
- 133.Большов Л.Н., Смирнов Н.В.. Таблицы математической статистики. Москва. 1983. 416 с.
- 134.Зенгбуш М. В., Белинский А. Ю, Дынкин А. Г. Пассажиропотоки в городах,; под общ. ред. проф. М. С. Фишельсона. Москва. 1974. 136 с
- 135.Варелопуло Г. А. Организация движения и перевозок на городском пасса-жирском транспорте. Москва. 1990. 208 с.
- 136.Доля В. К. Методы организации перевозок пассажиров в городах : монография. Харьков. 1992. 144 с.
- 137.Чисельність наявного населення України на 1 січня 2018 року. Державна служба статистики України. Київ, 2018. стор.68. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
- 138.Железнодорожные карты и схемы. Схема южной железной дороги Режим доступу: <https://zatramvaj.org.ua/railway/maps/>.
- 139.Інформаційний сайт Вести Харків. Режим доступу: <https://allkharkov.ua/news/transport/v-merefe->
- 140.Пілюшенко В. Л., Шкрабак І. В., Славенко Е. І. Наукове дослідження: організація, методологія, інформаційне забезпечення: навч. посіб. Київ. 2004. 344 с.
- 141.Іванов І.Є. Удосконалення методів формування маршрутів обласного пасажирського транспорту (на прикладі Запорізької області): дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2008. 176 с.
- 142.Katerina Vakulenko, Katerina Kuhtin, Ivetta Afanasieva, Andrii Galkin. Designing Optimal Public Bus Route Networks in a Suburban Area. Thirteenth International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities 2018 *Transportation Research Procedia*. № 39. 2019. p. 554–564.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Аналіз сучасного стану моделювання попиту при перевезенні пасажирів у приміському сполученні	5
1.1 Сучасний стан системи перевезень пасажирів у приміському сполученні в Україні	5
1.2 Аналіз існуючих підходів до визначення попиту на перевезення пасажирів у приміському сполученні	9
1.3 Аналіз сучасних моделей та методів розрахунку матриці пасажирських кореспонденцій.....	18
Висновки.....	26
2 Теоретичні основи моделювання попиту у приміському сполученні автомобільним транспортом загального користування	28
2.2 Теоретичні основи виникнення закономірностей у характеристиках приміського громадського транспорту	37
2.3 Формування теоретичних основ виникнення закономірностей у відстанях пересування в приміському сполученні	45
2.4 Теоретичні передумови використання закономірностей розподілу відстані поїздок у приміському сполученні при розрахунку мпк.....	51
Висновки.....	55
3 Експериментальні дослідження формування транспортних потреб на перевезення у приміському сполученні	57
Висновки.....	87
4 Практичне застосування закономірностей розподілу відстаней пересування для визначення потреб у перевезеннях у приміському сполученні.....	89
4.1 Розробка методики визначення потреб населення в перевезеннях у приміському сполученні на основі закономірностей розподілу відстаней поїздок	89
4.2 Розрахунок потреб у пересуваннях на прикладі території, що оточує місто харків	94
4.3 Аналіз результатів розрахунку мпк	102
4.4 Практичні рекомендації щодо застосування методики визначення потреб у пересуваннях у приміському сполученні ..	107
Висновки.....	109
ВИСНОВКИ.....	111

Наукове видання

**КОЧИНА Анастасія Анатоліївна
СВІЧИНСЬКИЙ Станіслав Валерійович
МАКАРІЧЕВ Олександр Володимирович**

**ФОРМУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ
У ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ
НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Монографія

Відповідальний за випуск

А.А. Кочина

В авторській редакції