

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

П.Ф. Горбачов, О.В. Макаричев, О.С. Колій

**РАЦІОНАЛЬНЕ РОЗТАШУВАННЯ
ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ АВТОБУСНИХ ТА
ТРОЛЕЙБУСНИХ МАРШРУТІВ ВІДНОСНО
РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ**

Монографія

Харків
ХНАДУ
2018

УДК 656.11
ББК 39.38
Г 67

Затверджено до видання Вченою Радою ХНАДУ, Дозвіл № 13/18/5.3 від 30.11.18

Рецензенти: **І.С. Наглик**, д.т.н., професор, завідувач кафедри організації і безпеки дорожнього руху

(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Є.С. Альошинський, д.т.н., професор,
професор кафедри «Транспортні системи та логістика»
(Український державний університет залізничного транспорту)

Н.Ю. Шраменко, д.т.н., професор,
професор кафедри транспортних технологій і логістики (Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка)

Колектив авторів:

Горбачов П.Ф., д.т.н., професор, завідувач кафедри транспортних систем і логістики
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Макаричев О.В., д.ф.-м.н., професор, кафедри транспортних систем і логістики
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

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

Горбачов П.Ф.

Г 67 Рациональное розташування зупиночних пунктів автобусних та тролейбусних маршрутів відносно регульованих перехресть : монографія / П.Ф. Горбачов, О.В. Макаричев, О.С. Колій. – Харків : ХНАДУ, 2018. – 137 стор.

ISBN 978-966-303-721-9

Представлені результати теоретичних та експериментальних досліджень раціонального розташування зупиночних пунктів відносно регульованих перехресть.

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

Іл. 46. Табл. 23. Бібліогр. 181 назви.

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований рационального размещения остановочных пунктов относительно регулируемых перекрестков.

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

Ил. 46. Табл. 23. Библиограф. 181 назв.

УДК 656.11
ББК 39.38

ISBN 978-966-303-721-9

© Горбачов П.Ф., Макаричев О.В., Колій О.С., 2018
© ХНАДУ, 2018

ВСТУП

Сьогодні в галузі пасажирських перевезень в містах України одне з найважливіших місць займає організація роботи міського пасажирського транспорту в зоні зупиночних пунктів (ЗП), розташування яких часто не відповідає сучасному рівню інтенсивності руху маршрутних транспортних засобів (МТЗ) та інших автомобілів. Ця обставина ускладнена тим, що в Україні вже досягнутий достатньо високий рівень автомобілізації, зростання якого не супроводжувалося відповідним розвитком транспортних мереж. Як наслідок, у багатьох містах значно знижена ефективність функціонування транспортної системи та погіршений стан безпеки дорожнього руху. Зважаючи на це ЗП, які розташовані нераціонально, можуть не лише створювати значні перешкоди руху транспортних потоків (ТП) на магістральних вулицях та стати причиною виникнення аварійних ситуацій, а і погіршувати показники часу обслуговування пасажирів МТЗ. З іншого боку існуючі положення стосовно розташування ЗП нормуються відповідно до стандартів дальності пішохідних підходів до найближчої зупинки. При цьому не в повній мірі дослідженими залишаються питання впливу різних параметрів руху ТП в зоні дії ЗП на час виїзду МТЗ з карману зупиночного пункту (КЗП). Що стосується розміщення ЗП відносно перехресть, то в існуючих нормативних документах надаються лише рекомендаційні положення, засновані на апріорних припущеннях. Тому вирішення питань раціонального розташування ЗП є одним з актуальних питань організації пасажирських перевезень. Додаткову інформацію по темі даного дослідження можна знайти в інших роботах авторів [1-17].

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Стрімкі темпи росту автомобілізації великих міст нашої країни з початку поточного сторіччя, а також зростаючі обсяги перевезень наземного міського громадського транспорту, викликали проблему невідповідності високого рівня інтенсивності ТП умовам руху на міських магістралях.

У цій ситуації все більшого значення набуло питання максимально ефективного використання можливостей міських вулиць і доріг з пропуску транспортних засобів і пішоходів, що в особливому ступені стосується МТЗ, які забезпечують основну частину переміщень в містах України. Раціональне розташування ЗП міського громадського транспорту сприяє не лише підвищенню швидкості сполучення маршрутного та індивідуального наземного транспорту [18], а ще й зниженню кількості дорожньо-транспортних пригод та кращому використанню пропускнуої здатності міських транспортних магістралей.

1.1 Аналіз сучасного стану питання визначення раціонального розташування зупиночних пунктів

Питання визначення раціонального розташування ЗП на території міста є дуже важливим елементом транспортного планування міст, яке на сьогоднішній день, на жаль, не може вважатися до кінця вирішеним. Переконливим свідченням цьому є останні дослідження закономірностей розташування ЗП [19] які показали, що горизонтальні координати зупинок МПТ українських міст, переважно мають двомірний нормальний розподіл, тобто можуть цілком обґрунтовано вважатися випадковими. Причин для цього достатньо багато, але основними з них є індивідуальний характер територіального планування кожного міста, а також апріорний та недостатньо чіткий характер рекомендацій щодо розміщення ЗП у нормативних документах, який призводить до нечітких орієнтирів при виборі місць розташування зупинок. Окрім загальних нормативів розташування зупинок таких видів

маршрутного транспорту, як автобус та тролейбус, існують ще окремі вказівки відносно автобусних та тролейбусних зупинок, що вносить додатковий фактор невизначеності в процес прийняття відповідних рішень.

ЗП – це місце для посадки та висадки пасажирів, або для пасажирів, що пересаджуються з одного маршруту на інший [20]. За розташуванням на маршруті ЗП підрозділяються на проміжні та кінцеві [21 - 23]. При розміщенні автобусних зупинок необхідно враховувати наступні фактори [24]:

- гарантія безпеки руху основного потоку людей;
- маршрути проходження автобусів;
- кількість автобусів на маршрутах;
- інтенсивність і напрямок руху транспортних і пішохідних потоків;
- основні пункти відправлення та прибуття пасажирів;
- забезпечення пересадок з одного маршруту на інший маршрут;
- розташування та характеристики технічних засобів регулювання дорожнього руху;
- створення мінімальних перешкод для ТП;
- скорочення відстані пішохідного підходу до основних об'єктів тяжіння.

Відповідно до загальних умов зупинки громадського пасажирського транспорту можуть розташовуватися перед перехрестям або за ним, а також посередині перегону [25].

Доцільно розглянути ці три варіанти розміщення більш детально:

при русі МТЗ на маршруті та за трасою проходження цього маршруту йому необхідно зробити поворот ліворуч, то в цьому випадку доцільно розташовувати зупинку за перехрестям;

при русі МТЗ на маршруті та за трасою проходження цього маршруту йому необхідно зробити поворот праворуч при наявності інтенсивного правоповоротного руху на перехресті зупинку слід розташовувати за цим перехрестям;

при наявності періодичного скупчення автобусів, що виходить за межі відведеної зупинки, слід утримуватися від розміщення зупинки за перехрестям, її потрібно розташовувати перед перехрестям або реконструювати;

на складних перехрестях часто слід розташовувати зупинки за перехрестям. У зоні пересадження з одного автобусного маршруту на інший рекомендується розміщувати зупинку першого маршруту перед перехрестям, а другого – за перехрестям. У цьому випадку обидві зупинки будуть розташовуватися на одній стороні вулиці та необхідність переходу вулиці пасажирями буде зведена до мінімуму;

при наявності великого відсотку пасажирів, що виходять на зупинці для відвідування одного великого генератора пасажиропотоку, автобусну зупинку слід розташовувати так, щоб звести до мінімуму перехід перехрестя пішоходами. При цьому можливе розташування зупинки перед перехрестям або за ним.

Дальність пішохідних підходів до найближчої зупинки громадського пасажирського транспорту не повинно перевищувати 500 м [21, 26, 27]. У загальноміському центрі дальність пішохідних підходів до найближчої зупинки громадського пасажирського транспорту від об'єктів масового відвідування повинна бути не більш 250 м; у виробничих і комунально-складських зонах – не більш 400 м від прохідних підприємств; у зонах масового відпочинку й спорту – не більш 800 м від головного входу [26].

В умовах складного рельєфу при відсутності спеціального піднімального транспорту відстані пішохідних підходів до зупинок міського транспорту (радіуси пішохідної доступності зупинок) слід зменшувати залежно від величини схилу місцевості.

У районах індивідуальної садибної забудови дальність пішохідних підходів до найближчої зупинки громадського пасажирського транспорту може бути збільшена у великих і найбільших містах до 600 м, у малих і середніх – до 800 м [27].

Однак слід зауважити, що при малих відстанях перегонів погіршуються показники роботи МТЗ, оскільки додатковий час витрачається на вповільнення, прискорення та маневрування при під'їзді та виїзді з місця зупинки [26, 28, 29]. При довжині перегону 150 м і більш рекомендується розміщення в його межах однієї зупинки, а при більш коротких по довжині перегонах слід розташовувати зупинки через довжину перегону. Рекомендована відстань між зупинками перебуває в діапазоні між 260 і 290 м. У центральних ділових районах припустима скорочена відстань між зупинками [24]. Витрати часу пасажирів на підхід до ЗП у містах не

повинні перевищувати 10-15 хвилин, при цьому враховують маршрути усіх видів міського пасажирського транспорту [30].

Ступінь впливу міських автобусних маршрутів на пропускну здатність вулиці є функцією категорії конкретного міського району, ширини вулиці, умов паркування, кількості автобусів на кожному маршруті та розташування автобусних зупинок. При цьому, на вузьких вулицях МТЗ сильно затримують автомобільний потік та обмежують його швидкість [31].

На практиці при досить інтенсивному русі автобусів зупинки, розташовані перед перехрестям, більшою мірою знижують пропускну здатність вулиць, ніж ті, що розташовані за перехрестям. Якщо стоянка перед перехрестям заборонена, то розташована перед ним зупинка впливає на правоповоротний і прямий наскрізний рух ТП. Однак на таких зупинках затримки при посадці та висадці пасажирів можуть бути узгодженими з затримками, пов'язаними із циклом роботи світлофорів. При забороні стоянки вплив зупинок, розташованих за перехрестям, залежить частково від відсотка автомобілів, що повертають. При дозволений стоянці автомобілів за зупинкою вплив зупинки залежить від положення границі стоянки, тобто якщо стоянка займає місце автобусної зупинки. Наявність зупинки може навіть дати вигоду, тому що під час відсутності МТЗ поліпшуються умови повороту транспортних засобів праворуч. З іншого боку, зупинка яка розташована за перехрестям може оказувати негативний вплив на рух потоку, оскільки транспортні засоби, які не знайшли місця для стоянки, через наявність зупинки змушені знову займати смуги руху [24].

Відповідно до [25] автобусні та тролейбусні зупинки, як правило, повинні розміщуватися за перехрестями на відстані не менше 5 і 20 м відповідно від пішохідного переходу та перехрестя до посадочної площадки.

Як виняток, розміщення автобусних і тролейбусних зупинок допускається до перехрестя вулиць і доріг у випадках, коли:

- до перехрестя розташований великий пасажироутворюючий об'єкт або вхід у підземний пішохідний перехід;
- резерв пропускну здатності проїзної частини вулиці (дороги) до перехрестя більший ніж за ним;
- за перехрестям починається під'їзд до моста, тунелю або шляхопроводу.

При цьому відстань від зупинки до перехрестя повинна бути не менше 20 м.

Звідси можна підтвердити висновок, що нормативна документація надає лише рекомендаційні поради стосовно розташування ЗП та не забезпечує остаточної обґрунтованої відповіді де саме потрібно встановлювати зупинку.

1.2 Існуючі розрахункові методи визначення місця розташування зупиночних пунктів

Моделювання руху пасажирського транспорту в зоні ЗП є об'єктом уваги багатьох дослідників. Наприклад, у роботі [32] говориться про можливість застосування імітаційного моделювання процесу обслуговування пасажирів у системі міського пасажирського транспорту. Зокрема, вказується на необхідність вивчення математичної моделі пасажирської зупинки. Робота [33] присвячена дослідженню пропускної здатності пасажирських зупинок, аналізу причин і факторів, що впливають на цей показник, а також одержанню регресійних залежностей, що встановлюють закономірності впливу знайдених факторів на пропускну здатність ЗП. У статті [34] відображені результати комплексного дослідження функціонування ЗП з метою скорочення затримок МТЗ на них. В роботі [35] надані дані про механізми утворення конфліктних ситуацій на ЗП міста і способах їх зниження. Показник конфліктності маршрутної мережі обраний як критерій оптимальності параметрів маршрутної мережі, при якому забезпечується мінімальна кількість конфліктних ситуацій на зупиночних пунктах.

Таким чином, тема оптимізації показників якості функціонування ЗП у містах розглядається в роботах багатьох авторів і спрямована на розв'язання різних задач. На наш погляд, цій проблемі слід приділити увагу ще з позиції взаємодії МТЗ та ТП який рухається в зоні дії ЗП.

На сьогодні існує ряд робіт, які направлені на вирішення проблеми обґрунтованого визначення довжини перегону та місця розташування ЗП по відношенню до регульованого перехрестя. Так в роботі [36] в якості визначення оптимальної довжини перегону приймається довжина, що забезпечує мінімум сукупних витрат на

роботу ЗП міського пасажирського транспорту, які складаються з витрат, пов'язаних з:

- підходом пасажирів до зупинки;
- відходом пасажирів від зупинки;
- часом поїздки пасажирів при пересуванні по перегону;
- часом простою МТЗ на ЗП;
- утриманням ЗП;
- очікуванням пасажирів МТЗ на зупинці;
- рухом МТЗ на одиницю довжини.

Також в роботі [36] для визначення місця розташування ЗП маршрутного пасажирського транспорту в межах площі, що утворена перехрестям вулиць і доріг запропоновано критерій Є.М. Лобанова – ймовірність виникнення конфліктної ситуації між транспортними та пішохідними потоками. Недоліком даного методу є те що при використанні критерію мінімуму сукупних витрат суспільства, пов'язаних з роботою ЗП маршрутного пасажирського транспорту не враховується вплив ТП в зоні руху ЗП, а при використанні критерію ймовірності конфліктної ситуації між транспортними та пішохідними потоками для визначення місця розташування зупинки по відношенню до регульованого перехрестя не враховується режими роботи світлофору.

Ще одна робота [37] присвячена визначенню довжини перегону маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту, що забезпечує мінімальні витрати часу пасажирів на пересування. Головною відмінністю даної роботи від попередньої є те, що в ній враховується вплив довжини перегону на технічну швидкість, час простою МТЗ на ЗП та величину інтервалу між рухом ТЗ. Для вирішення цільової функції автором розроблено багатофакторну регресійну модель зміни технічної швидкості при русі по перегону маршруту.

В роботі [38] запропоновано методику підвищення ефективності та безпеки перевезень шляхом поліпшення умов функціонування ЗП міського пасажирського транспорту та удосконалення руху транспорту у їх районі. Для цього автор обґрунтував нові показники, що дозволяють оцінити ефективність роботи ЗП і організацію руху в зоні їх впливу: сумарні транспортні затримки, довжина черги перед ЗП і шум прискорення.

При розрахунку пропускної здатності та геометричних параметрів ЗП в роботі [39] автор пропонує враховувати імовірнісні характеристики ТП, що за ствердженням автора дозволить підвищити ефективність організації руху МПТ на них. Інакше кажучи зниження затримок на ЗП, призведе до збільшення експлуатаційної швидкості та продуктивності МПТ. Для цього в роботі час звільнення ЗП визначався виходячи з умови, що на нього впливають три фактори: інтенсивність потоку руху на крайній правій смузі, клас ТЗ та ситуація, при якій доводилося або не доводилося робити маневр по обгону ТЗ. Для встановлення значень перерахованих параметрів був використаний регресійний аналіз.

Узагальнюючи описані вище методики можна виділити їх головний недолік, а саме використання регресійних рівнянь, що мають недостатню теоретичну обґрунтованість та обмежену сферу дії, адже використання таких рівнянь має сенс лише для умов аналогічних тим, при яких було зібрано статистичні дані на яких побудовані регресійні рівняння. Виходячи з зазначених недоліків на сьогодні є актуальною розробка універсальних конструктивних математичних моделей функціонування ЗП, які б не тільки описували результати експерименту, а й дозволяли сконструювати сам процес.

1.3 Аналіз існуючих підходів до моделювання транспортних потоків

Побудова моделі транспортної системи та подальше її моделювання включає проведення натурних досліджень параметрів функціонування транспортної системи та визначення місткостей ТР; розрахунок кореспонденцій між всіма ТР міста; розподіл кореспонденцій за певними маршрутами в транспортній мережі; визначення завантаження всіх елементів транспортної мережі ТП.

З метою одержання фактичних даних руху транспортних і пішохідних потоків проводять дослідження характеристик дорожнього руху. У залежності від мети дослідження можуть бути використані різні методи збору транспортної інформації [40].

Перша група підходів, що дозволяють отримати статистичні дані стосовно характеристик дорожнього руху складається з аналітичних досліджень планових, звітних, статистичних і проектно-

технічних документів та проведення анкетування. Дослідження документальних матеріалів в першу чергу направлені на вивчення чисельності населення, обсягів відправлення і прибуття, характеристик житлового фонду та рівня автомобілізації населення. За допомогою агрегування й деталізації території міста можливо перейти до елементів планувальної структури різних рівнів. Об'єднання території в ТР за ознакою адміністративної приналежності дозволяє одержати території населених пунктів, адміністративних районів, а також дає можливість перейти до квартальної забудови. Об'єднання території на основі взаємодоповнюючих функціональних зв'язків дає можливість виділити селітебні, промислові та центральні райони [41, 42]. Суттєво ці дослідження можуть доповнити дані перепису населення в певному адміністративному районі [41, 43]. Також одними з джерел необхідної інформації можуть виступати дані стосовно кількості зареєстрованих автомобілів в досліджуваному районі на підставі якого можливо визначити рівень автомобілізації. Перевагою цих методів є відносна простота обробки одержаних даних, мінімальні трудові ресурси та відносно невелика вартість. До недоліків можливо віднести присутність великої похибки результатів обробки даних. При аналізі забудови ТР невідома точна кількість людей, які проживають в тому чи іншому будинку. Аналіз перепису населення також не гарантує точність результатів так, як велика кількість людей мешкає не за пропискою, якщо такі дані взагалі доступні для перегляду і не застарілі. При цьому, сьогодні багато людей використовує автомобіль за довіреністю власника, що погіршує точність при визначенні рівня автомобілізації в певному адміністративному районі.

З іншого боку анкетування дозволяє одержати необхідну інформацію безпосередньо у користувачів ТЗ. Всі статистичні дані стосовно населення, а саме розподіл їх на працівників, студентів, які здійснюють поїздки до робочих або навчальних місць прив'язані до певної будівлі. Відповідно всі кореспонденції розбиваються на групи джерело-ціль: домівка-робота, робота-домівка, домівка-навчання, навчання-домівка, робота-навчання, навчання-робота. Визначення співвідношення між цими групами кореспонденцій відбувається шляхом проведення анкетування населення [43 - 56]. У ході опитувань також визначаються значення кількості кореспонденцій на

одну людину, співвідношення поїздок між різними видами транспорту, середня тривалість поїздки. До переваг даного методу можна зарахувати: простоту проведення досліджень та можливість одночасного охоплення великих груп користувачів. До недоліків цієї групи можливо віднести: незнання відношення опитуваного до питань анкети, велику вартість проведення, невпевненість у тому, чи правильно були сприйняті питання в анкеті, досить тривалий термін проведення обробки. Окрім анкетування, опитування можуть проводитися по телефону. Перевагою цього методу є мінімальні трудові ресурси та охоплення великої території для обстеження. До недоліків можливо віднести неможливість опитати людей, які не мають стаціонарних телефонів вдома.

Як правило, документальні дослідження є початковим етапом, продовженням якого стають натурні дослідження, що полягають в одержанні фактичних характеристик дорожнього руху в заданому просторі та протягом певного періоду. Традиційно визначення характеристик дорожнього руху на ВДМ виконується за допомогою обліковців або за допомогою приладів відео-фіксації, з подальшою обробкою відеоряду на комп'ютері [40]. Відеоспостереження також може проводитися стаціонарно, за допомогою автономної відеокамери, без участі людини. Сьогодні найбільші Інтернет-компанії, наприклад, “Yandex”, “Google” реалізують сервіс “пробки online” при цьому надаючи он-лайн доступ до своїх “web-камер” які постійно ведуть відеоспостереження за рухом транспорту на основних магістралях міст [57]. Також сьогодні все частіш застосовують апаратуру, основним елементом якої є датчики (детектори), яку встановлюють стаціонарно або тимчасово на проїзній частині дороги. Вище наведені стаціонарні методи збору даних дозволяють одержати інформацію стосовно інтенсивності, складу ТП по типах, миттєвій швидкості та затримках ТЗ [40]. Перевагою цих методів є простота проведення та мінімальні фінансові ресурси. Відеоспостереження дозволяє аналізувати не тільки кількісні показники руху автомобілів, але і якісні. При цьому відеоматеріали можуть довгий час зберігатися, що дає можливість багаторазового їх використання.

Використання датчиків та детекторів при автоматизованому зборі даних дозволяє уникнути обробки інформації, що значно зменшує час проведення обстеження. До недоліків можливо

віднести: при ручному заповненні бланків на ВДМ неможливо перевірити правильність проведених спостережень; на найбільш завантажених ділянках ВДМ треба залучати додаткових спостерігачів; при проведенні відеоспостережень обліковцем, час проведення таких досліджень збільшується у два рази, так як одержаний відеоматеріал треба обробити на комп'ютері; не завжди є можливість встановити автономну відеокамеру у потрібному місці та забезпечити її збереженість; для використання "web-камер" потрібен стабільний високошвидкісний доступ до Інтернету, при автоматизованому зборі даних значно підвищується вартість проведення досліджень у зв'язку з необхідністю покупки необхідного обладнання. Перераховані вище методи не дозволяють визначити пункти відправлення та прибуття автомобілів (транспортні кореспонденції), для збору такої інформації використовують методи: талонний, ярлик на машині та метод номерного знаку [40]. Дані методи вимагають організації постів спостереження, але відрізняються в технології проведення. Талонний метод припускає, що на встановлених контрольних постах водіям ТЗ вручають талони (картки), які потім у певних пунктах збирають. Метод талонного обстеження вимагає дворазове зупинення кожного транспортного засобу в зоні обстеження, що при інтенсивному русі може викликати затори на дорозі. Тому, якщо при обстеженні руху не ставиться мета одержати дані про швидкість сполучення, використовують метод наклеювання ярликів. У цьому випадку автомобілі зупиняють тільки один раз – на вхідному пункті. Тут на вітрове скло або кузов наклеюють ярлик, який по кольору, формі або символам відповідає даному вхідному пункту. На інших постах у зоні обстеження спостерігачі орієнтуються на ярлики й фіксують у своїх протоколах число ТЗ, що проїхали з кожного попереднього пункту за встановлені періоди часу. Метод запису номерних знаків дозволяє взагалі виключити зупинку автомобілів для реєстрації й дає можливість поєднувати вивчення інтенсивності, складу ТП та кореспонденції з одержанням даних про швидкість сполучення, а також виявляти транзит на будь-якому пості спостереження. При обстеженні методом запису номерних знаків на постах спостереження для скорочення трудомісткості й підвищення оперативності роботи спостерігачів можна робити первинну реєстрацію не в бланк протоколу, а робити запис на диктофон. У цьому випадку протокол

оформляють після проведення обстеження на підставі обробки звукозапису. Найбільш прогресивним методом фіксації номерних знаків є створення ефективних засобів автоматизації інтелектуальних функцій людини, пов'язаних зі сприйняттям, обробкою та розпізнаванням візуальних образів комп'ютером через встановлені відеокамери [58]. Головною перевагою цих методів є можливість визначати кількість прибуваючих та виїжджаючих автомобілів в ТР. До недоліків можливо віднести: важкість організації та проведення спостережень, при інтенсивному багато-смуговому потоці автомобілів; неможливість використання талонного методу та методу ярлика на машині; необхідність проведення додаткових досліджень з метою визначення місць розташування постів спостереження при великому об'єкті дослідження. Обстеження на стаціонарних постах дозволяє одержати інформацію, яка відноситься тільки до місця на дорозі, на якому організовано ці пости. У зв'язку з цим для одержання інформації стосовно просторово-часових режимів руху на ВДМ застосовують метод "плаваючого" автомобіля [40]. Суть методу полягає у тому, що автомобіль або пересувна лабораторія рухається зі швидкістю властивою основній масі ТЗ в потоці. Дана методика використовується переважно для досліджень швидкості руху на протяжних магістралях. При цьому дані швидкості безперервно записуються на прилад, що реєструє, а затримки ТЗ спостерігач фіксує за допомогою секундоміру. Основною перевагою цього методу є те, що постійно рухаючись пересувна лабораторія реєструє інформацію, яка змінюється не тільки у часі, але і в просторі.

У разі якщо необхідно визначити параметри дорожнього руху на всіх транспортних вузлах міста в єдиний піковий час використовують метод повітряної фотозйомки. За допомогою літаючого пристрою виконують аерофотознімання досліджуваної території, одержані фотознімки обробляють за спеціальною методикою. Аерофотознімання може бути виконано з літака, гелікоптера, аеростату, безпілотного літального апарату, квадрокоптера та багатоповерхової будівлі [40, 59]. Перевагою цього методу є мінімальні трудові ресурси, швидкість одержання результатів та охоплення великої території для дослідження. Крім цього аерофотознімання дозволяє визначити щільність потоку та режими обгону, які складно визначити наземними методами. До

недоліків можливо віднести високу вартість реалізації такого методу та необхідність одержання дозволу на польоти. Використання квадрокоптера хоча і є дешевим способом, але вартість такого пристрою залишається високою. При цьому послуга оренди таких пристроїв не у всіх містах доступна.

При проведенні збору статистичної інформації для більш ощадливого використання фінансових ресурсів використовують вибіркові дослідження. Це дозволяє використовувати значно менший штат спостерігачів та скоротити тривалість проведення спостереження. Тому важливим етапом проведення досліджень стає обґрунтування репрезентативності експериментальної вибірки. Також на одержання достатньої за об'ємом та точністю статистичної інформації стосовно параметрів дорожнього руху суттєво впливає рівень технічної оснащеності досліджень. Одним з багатьох причин визначення статистичної інформації стосовно ТП виступає необхідність подальшого розрахунку матриці транспортних кореспонденцій (МТК), яка є відображенням кількісної характеристики руху автомобілів по транспортній мережі. Окремі елементи МТК показують величину транспортного потоку між зонами утворення та поглинання кореспонденцій. Можливо виділити два класи розрахунку МТК, з фіксованим та нефіксованим попитом на перевезення.

Класичні методи визначення МТК, які засновані на фіксованому попиті припускають при проведенні розрахунків лише одне можливе значення попиту на перевезення. З найбільш поширених методів з фіксованим попитом на перевезення можливо виділити: моделі прогнозу, гравітаційна модель, ентропійна модель, модель конкуруючих центрів та модель конкуруючих можливостей Стауффера.

Моделі прогнозу направлені на визначення кореспонденцій на майбутній період з урахуванням заздалегідь проведених комплексних натурних обстежень. До прогнозних методів відносять метод єдиного коефіцієнта росту, метод середніх коефіцієнтів росту, Детройтський метод і метод Фратара [60]. Для одержання достовірних результатів розрахунку МТК натурні обстеження повинні бути суцільними і охоплювати усі кореспонденції [61]. Найбільше розповсюдження серед методів прогнозу набув метод Фратара. Цей метод узагальнює всі методики цієї групи та враховує обмін

кореспонденцій в кожному районі з урахуванням їх структурних особливостей [62 - 65]

Головною перевагою методів цієї групи є простота проведення розрахунків. Однак для одержання результатів з мінімальною величиною похибки, необхідно проаналізувати великий масив статистичних даних. З іншого боку, одержання таких даних в достатньому обсязі викликає великі матеріальні та трудові затрати.

Одним з перших методів, який був запропонований для визначення міжрайонних кореспонденцій, був гравітаційний метод [66 - 70]. В основі гравітаційного методу закладено закон тяжіння, а саме величина кореспонденцій з одного району до іншого прямо пропорційна добутку загального об'єму прибуття та відправлення та обернено пропорційна функції тяжіння. У якості функції тяжіння виступає критерій вибору пасажиром пари джерело – ціль для пересування.

Вибір функції тяжіння виконується в процесі калібрування моделі тобто порівняння даних моделі та емпіричні спостереження [71 - 75].

При цьому коефіцієнти калібрування залежать від усіх значень загальної кількості виїжджаючих та прибуваючих в пункту автомобілів, а значення кореспонденції залежить від завантаження всієї системи. Для визначення калібрування використовують процедуру балансування Шацького – Шелеховського [76, 77]. Перевагою гравітаційного методу визначення МТК є простота проведення розрахунків. До недоліків можливо віднести той факт, що при формуванні пари районів (i, j) не враховуються індивідуальні побажання людей на переміщення. У якості функції тяжіння використовується лише один фактор, який характеризує переміщення (відстань, час пересування, вартість проїзду). Також при розрахунку МТК обсяг кореспонденцій зв'язується через відстань з парами районів (i, j), при цьому кожна така пара розглядається окремо від інших районів, що не дозволяє врахувати привабливість району для відвідування.

Функціонування транспортної мережі, з точки зору, переміщення ТЗ по ВДМ міста припускає наявність дуже великої кількості некерованих елементів системи. Виходячи з цього задачу визначення МТК можливо сформулювати, як визначення максимальної ентропії в транспортній системі. Для вирішення

подібних задач використовують ентропійні моделі [78 - 89]. Такі моделі базуються на формалізації припущення про те, що всі користувачі транспортної системи при формуванні її стану, мають імовірнісну поведінку. При цьому система матиме максимально стійкий стан при виконанні максимуму ентропії.

До переваг цього методу відносять те, що ентропійна модель дозволяє врахувати імовірнісні характеристики поведінки користувачів транспортної системи, що дозволяє формувати більш точні кореспонденції між районами відправлення та прибуття. Недоліком є те, що в реальних транспортних системах задача визначення кореспонденцій набуває великої розмірності, що суттєво ускладнює застосування на практиці, стандартних для цього класу задач, чисельних методів вирішення.

Головна ідея на якій ґрунтується метод конкуруючих центрів полягає в тому, що райони, які розташовані в агломерації більш відвідуваних районів можуть породжувати більшу кореспонденцію, а ніж ізольовано розташовані райони. Модель конкуруючих центрів [90 - 92] є узагальнення гравітаційної моделі де залучають додатковий фактор – індекс відвідуваності

Значення індексу відвідуваності зростає, якщо біля району відвідування розташовані альтернативні райони відправлення. Використання даного індексу дозволяє враховувати розташування ТР в структурі кореспонденцій. До недоліків можливо віднести те, що при моделюванні великі об'єкти можуть мати декілька центральних районів різного рангу, при цьому центральні райони вищого рангу мають підвищену привабливість.

Моделі класу зустрічних можливостей Стауффера [93] та похідних від неї засновані на припущенні, що величина кореспонденцій між ТР визначається кількістю альтернативних місць прибуття на маршруті прямування. При розрахунку кореспонденцій ймовірний того, що учасник руху зупиниться в центрі n , визначається виходячи з місткості прибуття в ТР. Моделі даного типу враховують взаємне розташування альтернативних можливостей прибуття. До недоліків можна віднести те, що моделі зустрічних можливостей не враховують фактор транспортної доступності (дальності поїздки).

На сьогоднішній день математичне моделювання ТП має складну структуру та відрізняється за багатьма факторами (змістом задач, математичним апаратом, вхідними даними, деталізацією опису

моделі і т.д.), але в загальному випадку всі подібні моделі, можна умовно розділити на макроскопічні та мікроскопічні.

Основою для побудови макроскопічних моделей є усереднені взаємозалежні параметри такі, як щільність та швидкість ТП. Моделі даного класу також називають гідродинамічними так як ТП в цих моделях порівнюється з рухом специфічної рідини. Також до цього класу можливо віднести кінетичний підхід, в якому ТП описується щільністю розподілу автомобілів у просторі. В мікроскопічних моделях, на відміну від макроскопічних, моделювання ТП проводять з точністю до кожного автомобіля в потоці. Такий підхід дозволяє більш точно описати рух ТП але потребує на великих моделях значних обчислювальних ресурсів.

Одним з перших, моделюванням ТП почав займатися Гриншилдс Б.Д. [94], який вивчав пропускну здатність доріг та вплив на неї щільності руху автомобілів. В подальшому ним було сформульовано закон збереження ТП.

Одна з найперших гідродинамічних моделей, в якій ТП описується законом збереження кількості автомобілів Гриншилдса Б.Д., була запропонована М. Лайтхіллом, Дж. Уіземом та П. Ричардсом [95 - 97]. Моделі цього типу засновані на рівнянні безперервності щільності автомобільного потоку, а також припускається, що середня швидкість потоку є детермінованою функцією щільності автомобілів. При цьому загальне рівняння даної моделі має наступний вид

$$\rho_t + c(\rho)\rho_x = 0, \quad (1.1)$$

де $c(\rho)$ – швидкість поширення нелінійних кінематичних хвиль.

Дане рівняння може описувати поширенням нелінійних кінематичних хвиль зі швидкість поширення $c(\rho)$. В моделі характер хвилі може змінюватися при, якому утворюється розривний профіль хвилі [98, 99]. Також в роботах [100 - 102] представлені різні варіанти визначення динаміки затору на підставі профілю хвилі. Перевагою моделі Лайтхілла-Уізема є простота реалізації, що дозволяє її використовувати, як допоміжний інструмент при моделюванні ТП у великих транспортних системах [103, 104].

Щільність ТП на реальних транспортних системах не змінюється східчасто, а представляє собою безперервну функцію

координат та часу. Для згладжування профілю хвилі в рівняння було додано член другого порядку який описує дифузію щільності

$$\partial_t \rho + V_\varepsilon \partial_x \rho = -\rho \frac{dV_\varepsilon}{d\rho} \partial_x \rho + D \partial_{xx}^2 \rho. \quad (1.2)$$

Недоліком моделі є ствердження, що середня швидкість на ділянках дороги в кожний момент часу дорівнює рівноважному значенню при певній щільності автомобілів, що робить модель неадекватною при моделюванні ТП на ділянках з'їзду з траси, звуженнях дороги, а також в умовах руху „старт – стоп“, що виникає в заторах.

Для описання нерівноважних ситуацій, замість співвідношення (1.2) була розроблена модель Пейна – Уізема [97, 105]. В моделі було запропоновано замість визначення миттєвої швидкості, яка залежить від щільності потоку, використовувати спеціальні диференціальні рівняння швидкості

$$\partial_t V + V \partial_x V = -\frac{C(\rho)}{\rho} \partial_x \rho + \frac{1}{\tau} (V_\varepsilon(\rho) - V), \quad (1.3)$$

де τ – час реакції водія, с.

$$C(\rho) = \frac{1}{2\tau} \cdot \frac{dV_\varepsilon}{d\rho}. \quad (1.4)$$

Ліва частина рівняння (1.3) описує зміну швидкості автомобіля на певній ділянці дороги. Права частина рівняння описує реакцію водія на зміну ситуації на дорозі. В подальшому рівняння швидкості було представлено в різних модифікаціях, та методах вирішення їх [106 - 111]. Недоліком рівняння Пейна є те, що вирішення рівняння при лінійному наближенні демонструє стійкість до малих коливань на всіх значеннях щільності.

Даний недолік було вирішено шляхом перетворення рівняння (1.4)

$$C(\rho) = \frac{d}{d\rho} P_e(\rho), \quad (1.5)$$

де P – внутрішній тиск ТП.

Після підстановки (1.5) в (1.3) буде одержано наступне рівняння швидкості [112, 113]:

$$\partial_t V + V \partial_x V = -\frac{1}{\rho} \partial_x P_\varepsilon + \frac{1}{\tau} (V_\varepsilon(\rho) - V). \quad (1.6)$$

Поведінка водіїв у залежності від тиску ТП попереду описується рівнянням (1.6). В якості функції щільності для оцінки варіації θ застосовуються різні наближення, які були одержані при аналізі емпіричних даних. У моделях Кюне (Kühne) і Кернера - Конхойзера (Kerner-konhauser) [114 - 116] в якості першого наближення використовується

$$\theta_e(\rho) = \theta_0. \quad (1.7)$$

де θ – варіація швидкостей у потоці.

Виходячи з рівняння (1.6) можливо зробити припущення, що воно припускає виникнення ударних хвиль. Для подолання цього у праву частину додається член $v \partial_{xx}^2 V$, який є аналогом в'язкості в рівняннях гідродинаміки. Звідси рівняння швидкості має вид

$$\partial_t V + V \partial_x V = -\frac{\theta_0}{\rho} \partial_x \rho + v \partial_{xx}^2 V + \frac{1}{\tau} (V_\varepsilon(\rho) - V). \quad (1.8)$$

Вирішення даного рівняння показує, що при перевищенні критичного значення щільності ρ_{cr} , має місце нестійкість вирішення при малих коливаннях. Ця обставина дозволяє теоретично моделювати ефекти, які пов'язані з заторами, що виникають в результаті випадкових коливань в однорідному потоці.

Найбільш поширеною в розглянутому класі моделей є модель Kerner-konhauser [117, 118]. Стандартна модель Kerner-konhauser має вигляд:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{\tau} (V(\rho) - v) - c_0^2 \frac{\partial L(\rho)}{\partial x} + \frac{\mu \partial^2 v}{\rho \partial x^2}, \quad (1.9)$$

В правій частині рівняння (1.9) містить три коефіцієнти, які характеризують швидкості ТП. Перший член показує тенденцію потоку при заданій щільності ρ до зниження середньої швидкості $V(\rho)$ до деякої величини. Звідси $V(\rho)$ буде функцією, що убиває з

малою похідною при малих та великих значеннях ρ . Фактор попередження, говорить про те, що водії знижують швидкість, якщо ТП попереду рухається з більш високою щільністю. При цьому безрозмірна функція $L(\rho)$ повинна бути монотонно зростаючою, а величина $c_0^2 \rho$ відіграє роль тиску. Останній член «в'язкості» або «дифузії», характеризує тенденцію узгодження швидкості руху зі швидкістю ТП.

Аналіз надійності вирішення моделі Kerner-konhauser показує, що при малих і дуже великих значеннях щільності, але при середніх значеннях щільності проявляє області нестійкості. При використанні даної моделі можливо вивчити процес утворення кластерів та подальший їх розвиток, тобто ізольованих областей з високою щільністю та низькою швидкістю потоку, що переміщаються [119 - 122].

Усі попередньо розглянуті моделі мають деякі якісні недоліки. Наприклад, при деяких значеннях параметрів ці моделі можуть утворювати щільності, що перевищують максимально допустимі тобто бампер до бампера. Крім того, коли початкові умови мають сильні просторові неоднорідності, швидкість може мати негативні значення (затор "розсмоктується назад" як результат дії в'язкості) [123-125].

Опис макроскопічних моделей, які наведені вище сформульовані в основному на аналогії з рівняннями класичної гідродинаміки. На відміну від гідродинамічних моделей, кінетичні моделі засновані на описі динаміки фазової щільності потоку, тобто щільності розподілу автомобілів, як по координаті, так і по індивідуальній швидкості. Знаючи зміну в часі фазової щільності, можна розрахувати також характеристики потоку на макроскопічному рівні – щільність, середню швидкість, варіацію швидкостей та інші характеристики, які визначаються моментами фазової щільності по швидкостях різного порядку. Даний підхід був запропонований Пригожиним [126 - 128]. За допомогою даного методу можуть бути отримані моделі суттєво більш детальні, які включають, для вирішення диференціальних рівняння динаміку варіації швидкостей, а також моделі багатосмугового руху. Диференціальне рівняння, що описує зміну фазової щільності у часі, називається кінетичним рівнянням

$$\partial_t f + v \partial_x f = \frac{f - \rho F_0}{\tau} + (1 - p) \rho (V - v) f. \quad (1.10)$$

Вирішення даного рівняння інтерпретується як режим індивідуального та колективного руху. З даного рівняння видно, що зі збільшенням щільності росте частка автомобілів, що беруть участь у колективному русі, як наслідок падає частка автомобілів, що вільно рухаються. Аналіз стійкості даної моделі показує, що при малій щільності результати рішення є стійким у режимі індивідуального руху. При збільшенні значення щільності вище критичного, виникає нестійкість до довгохвильових збурень. При колективному русі потік нестійкий до збурень із будь-якою довжиною хвилі.

Сьогодні для проведення моделювання на макрорівні використовують програмні продукти такі як VISUM та TransCAD. Дані програми використовують вищенаведені моделі та значно спрощують процес моделювання руху ТП на великих об'єктах таких як місто, область та в межах цілої країни.

Для більш детального моделювання руху транспорту було розроблено мікроскопічні моделі. В перше мікроскопічні моделі [129, 130] були запропоновані в 50-х роках. У мікроскопічних моделях передбачається, що прискорення n -го автомобіля визначається станом сусідніх автомобілів. При цьому основний вплив на автомобіль здійснює автомобіль, який рухається попереду $n - 1$. Цей автомобіль часто називають лідируючим, а весь клас мікроскопічних моделей моделями "слідування за лідером". Перші моделі слідування за лідером передбачали, що кожний водій адаптує свою швидкість до швидкості лідируючого автомобіля

$$v_n(t) = \frac{1}{\tau} [v_{n-1}(t) - v_n(t)]. \quad (1.11)$$

Суттєвим недоліком даної моделі є те, що вона не описує такі властивості реального потоку, як нестійкість і виникнення хвиль заторів. Тому в роботі [131] запропоновано ввести в ліву частину рівняння аргумент, який відображає час реакції водія на зміну швидкості лідируючого автомобіля $\Delta t \approx 1,3$. При цьому множник $1/\tau$ в (1.11) можна інтерпретувати, як коефіцієнт швидкості реакції водія S до зміни швидкості лідера. Коефіцієнт S є динамічною величиною, що залежить від швидкості та поточної дистанції до лідера. Виходячи

з цього модель можна записати, як диференційне рівняння зі зміщеним аргументом

$$v_n(t + \Delta t) = S[v_{n-1}(t) - v_n(t)]. \quad (1.12)$$

Такого типу рівняння при досить великих значеннях Δt демонструють нестійкість, що дозволяє моделювати розвиток хвиль заторів. Однак якщо коефіцієнт чутливості S є константою, рівняння не відтворює багато властивостей реального ТП, а саме залежність потоку від щільності. Більш адекватна модель може бути отримана з припущення, що при зменшенні дистанції до лідера чутливість зростає. Для узгодження коефіцієнту чутливості S з експериментальними даними в [132] запропоноване вираження

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} \cdot \frac{[v_n(t + \Delta t)]^{m_1}}{[x_{n-1}(t) - x_n(t)]^{m_2}}, \quad (1.13)$$

де m_1, m_2 – константи, які підбираються емпірично.

Для рівноважного співвідношення швидкості та щільності рівняння має наступний вид

$$V_e(\rho) = V_0 \left[1 - \left(\frac{\rho}{\rho_{\max}} \right)^{m_2-1} \right]^{\frac{1}{(1-m_2)}}, \quad (1.14)$$

де V_0 – швидкість вільного руху, км/год;

ρ_{\max} – максимально допустима щільність ТП, авт./км;

Одним з головних недоліків даного методу є те, що він неправильно описує динаміку одиночного автомобіля. При відсутності лідера прискорення автомобіля дорівнює нулю, у той час більш доцільним є припущення, що водій буде прагнути наблизити свою швидкість до деякої бажаної швидкості V_0 . В моделях іншого типу допускається, що для кожного водія існує “безпечна” – швидкість руху, яка залежить від дистанції до лідера. Така швидкість також називається оптимальною швидкістю. В таких моделях передбачається адаптація до оптимальної швидкості замість адаптації швидкості до швидкості лідера. Вплив лідера побічно виражений через залежність оптимальної швидкості від дистанції. Така модель

уперше запропонована в [133], де передбачалася адаптація швидкості із запізненням за часом

$$v_n(t + \Delta t) = v'_e(d_n(t)) = v_e(s_n(t)). \quad (1.15)$$

В [134, 135] запропоновано використання диференційного рівняння швидкості

$$v_n(t) = \frac{1}{\tau} \left[v'_e(d_n(t)) - v_n(t) \right], \quad (1.16)$$

де $v'_e(d_n)$ – безпечна швидкість руху залежно від дистанції до лідера.

В якості недоліків стандартної моделі оптимальної швидкості є те, що модель дуже чутлива до конкретного вибору функціональної залежності оптимальної швидкості від дистанції $v'_e(d_n)$, а також до вибору τ . В моделі починають відбуватися зіткнення автомобілів при більших значеннях τ , а при занадто малих значеннях виникають нереалістично великі прискорення. При цьому час розгону приблизно в п'ять разів перевищує час на гальмування. Крім того, у реальності водії витримують більшу дистанцію та гальмують раніше при високій швидкості відносно лідера $\Delta v_n(t)$. Для врахування цих і інших особливостей реальної поведінки водіїв було розроблено багато варіантів моделі [136 - 141].

Найбільше поширення з мікро-моделей здобула модель “розумного водія” (Intelligent Driver Model. IDM), розроблена Трайбером [142 - 145]. Чисельні експерименти з цією моделлю показали реалістичну поведінку, а її властивості стійкі до варіації параметрів, при розгоні та гальмуванні. Модель такого типу добре відтворює основні досліджувані властивості ТП.

Модель IDM передбачає, що прискорення автомобіля описується безперервною функцією швидкості v_n "чистої" дистанції до лідера $s_n = d_n - l_{n-1}$ і швидкості відносно лідера Δv_n

$$v_n = a_n \left[1 - \left(\frac{v_n}{v_n^0} \right)^\delta - \left(\frac{s_n^*(v_n, \Delta v_n)}{s_n} \right)^2 \right]. \quad (1.17)$$

Частина цього рівняння $a_n \left[1 - (v_n / v_n^0)^\delta \right]$ описує динаміку прискорення автомобіля на вільній дорозі. Інша частина $a_n \left[(s_n^*(v_n, \Delta v_n) / s_n)^2 \right]$ описує гальмування, яке зв'язане з взаємодією з лідером. Параметр δ дозволяє калібрувати поведінку, яка пов'язана з розгоном. Значення $\delta = 1$ відповідає експонентному за часом розгону, характерному для більшості моделей автомобілів. При збільшенні цього параметра прискорення не убуває експоненційно в процесі розгону, що краще відповідає поведінці водіїв.

Головною особливістю моделей клітинних автоматів (Cellular Automata (CA)) є те, що час вважається дискретним, а дорога розбивається на осередки. Часто (але далеко не завжди [146 - 151]) це передбачає, що в осередку може перебувати не більше одного автомобіля. Крім того дискретним також вважають швидкості автомобілів.

Вперше концепція клітинних автоматів була запропонована Дж. Фон Нейманом у 50-х роках ХХ століття [152], а застосовувати клітинні автомати для моделювання ТП пропонувалося в роботі [153]. Активне застосування цієї концепції почалося тільки після роботи К. Нагеля та М. Шрекенберга [154 - 156].

Модель Нагеля – Шрекенберга побудована на припущенні, що на кожному кроці $m \rightarrow m + 1$ стан усіх автомобілів у системі обновляється у відповідності з правилами.

Правило 1. Прискорення (характеризує тенденцію рухатися як найшвидше, але не перевищуючи максимально припустиму швидкість).

Правило 2. Гальмування (гарантує відсутність зіткнень з автомобілем, який рухається попереду).

Правило 3. Випадкові збурювання (ураховують відмінності в поведінці автомобілів).

Правило 4. Рух (переміщення автомобіля в просторі і часі).

Побудова моделі на перерахованих вище чотирьох правилах дозволяє відтворити основні властивості руху реального ТП. Однак для адекватного моделювання більш складних аспектів динаміки ТП необхідне формулювання додаткових правил. Чисельні експерименти показують, що при малій щільності ТП є стійким і втрачає стійкість

при високій щільності. При стохастичність процесу відіграє ключову роль у розвитку нерівноваги, тобто для розвитку заторів потрібно, щоб p не дорівнювало нулю. Головним теоретичним недоліком СА є те що при всіх значеннях щільності за умови $p = 0$ потік залишається стійким [157, 158] в порівнянні з моделями слідування за лідером.

Ще одним потужним інструментом моделювання ТП є спеціалізовані програмні продукти, які дозволяють в реальному часі проводити імітаційне моделювання транспортної ситуації та надавати об'єктивну оцінку параметрам ТП без проведення спостережень за реальними об'єктами, що в багатьох випадках є практично неможливим. Найбільш популярними з таких програмних пактів є VISSIM та Quadstone Paramics, які дозволяють проводити моделювання не тільки руху ТЗ, а й пішоходів та можуть слугувати інструментом для прийняття ефективних управлінських рішень та перевірки адекватності аналітичних моделей руху ТЗ.

1.4 Особливості розташування зупиночних пунктів

Питання раціонального розташування ЗП набуває особливої актуальності в ЦЧМ в межах яких, сьогодні спостерігається найбільша концентрація транспортних проблем організації дорожнього руху (ОДР). Це пов'язано з тим, що зараз існує тенденція перетворення ЦЧМ з житлового призначення в торгово-ділові центри [159], де територіальна частка незначна, а інтенсивність руху велика. Слід також зазначити, що у великих містах України стрімко розвивається сектор послуг, фокусом розташування якого найчастіше є ЦЧМ. Тому сьогодні максимум зусиль повинно бути сфокусовано на вирішенні транспортних проблем саме в центральній частині великих міст України, як з позиції ефективного керування ТП, так і з позиції ефективного планування об'єктів ВДМ таких як ЗП.

Однією з причин недостатньо ефективного використання рухомого складу на маршрутах є нераціональне розміщення ЗП на маршрутах. Усунення цього недоліку дозволить пасажиром здійснювати поїздки в маршрутному транспорті за менший час. Це може бути досягнуто завдяки скороченню затримок при виїзді МТЗ з ЗП після закінчення посадки та висадки пасажирів. Треба зазначити, що затримки виїзду МТЗ можуть виникати у двох випадках: коли зупинка розташована в заїзному "кармані" або перед зупинкою

припарковано автомобілі, які МТЗ змушений об'їжджати. В обох випадках МТЗ виконує небезпечний маневр виїзду на смугу руху по якій рухається потік ТЗ.

Відповідно до діючих Правил дорожнього руху (ПДР) водії інших транспортних засобів у населених пунктах повинні зменшити швидкість, а при необхідності зупинитися, щоб дати можливість МТЗ почати виїзд з позначеної зупинки, розташованої у "кармані", пункт 17.4 ПДР України [160]. З іншого боку, водії автобусів, мікроавтобусів і тролейбусів, подавши сигнал про намір почати рух з зупинки, повинні вжити заходів для запобігання дорожньо-транспортної пригоди, пункт 17.5 ПДР. Тобто діючі ПДР обговорюють небезпечний характер маневру виїзду МТЗ з КЗП, але залишають без відповіді, кого вважати винним у ДТП, якщо таке станеться під час виїзду МТЗ з КЗП. Це зазвичай спонукає водіїв МТЗ очікувати безпечної можливості для виїзду з карману ЗП, витрачаючи на це деякий час.

Що стосується ситуації з об'їздом автомобілів, які припарковано перед зупинкою, то згідно з ПДР МТЗ взагалі не мають переваг при виконанні маневру виїзду на іншу смугу руху, що робить ще більш жорсткими для МТЗ умови продовження руху після посадки та висадки пасажирів.

Також слід зазначити, що наявність регульованого перехрестя поблизу ЗП суттєво впливає на швидкість та щільність ТП, що слідує біля зупиночного пункту. Це змінює умови від'їзду МТЗ від ЗП та час його можливої затримки після закінчення посадки та висадки пасажирів. Такий вплив на умови від'їзду МТЗ може суттєво відрізнятись в залежності від того, де розташована зупинка по відношенню до перехрестя (до чи після нього) та на якій відстані вони знаходяться один від одного. Виходячи з цього, зміна місця дислокації зупиночного пункту по відношенню до перехрестя та визначення раціональної віддаленості від нього може зменшити час затримки виїзду МТЗ.

Відстань, на якій розташований ЗП міського пасажирського транспорту відносно перехрестя також впливає на час підходу пасажирів до нього. Але це стосується лише невеликої частини пасажирів, які не можуть зменшити відстань підходу до ЗП або відходу від нього після його передислокації шляхом використання іншого перехрестя для перетину вулиці. Ці пасажири вочевидь мають

невелику відстань підходу, а з урахуванням того, що така передислокація зупинок в місті можлива лише на невеликі відстані в межах 100 - 150 м всі такі зміни не можуть вважатися для них суттєвими. Негативний вплив відстані між ЗП та перехрестям на час підходу пасажирів до зупинки ще більше зменшується завдяки наявності пасажирів, для яких зміна місця розташування ЗП має позитивні наслідки, а також тим, що час підходу до ЗП треба розглядати разом з часом очікування транспорту, як частину загального часу поїздки пасажирів. Тоді може виникати ситуація, коли час підходу компенсується часом очікування пасажирів транспорту на зупинці. Тобто вплив відстані між ЗП та перехрестям на час підходу пасажирів до зупинки та відходу від неї є самостійним питанням, яке потребує окремого дослідження. Але це питання є значно менше актуальним, ніж час очікування можливості продовження руху для МТЗ, який безпосередньо відображається на багатьох пасажирів, що в ньому знаходяться, тому в даній роботі не розглядається.

Час очікування можливості виїзду МТЗ з ЗП на смугу руху в ТП, який відображається на багатьох пасажирів, що в ньому знаходяться, в залежності від варіанта розміщення ЗП в зоні регульованого перехрестя, є об'єктом уваги в даному дослідженні.

Визначення закономірностей процесу очікування водіями МТЗ можливості виїзду на смугу руху після планової зупинки на маршруті неможливе без аналітичного моделювання цього процесу, яке дозволяє встановити причинно-наслідкові зв'язки та забезпечити широкі можливості для використання отриманих моделей. Особливості транспортних систем роблять побудову адекватної аналітичної моделі, що дозволяє досліджувати її характеристики в різних умовах дуже складним питанням, так як міські ТП мають деякі особливості:

- по-перше, це стохастичність ТП, їх характеристики допускають прогноз тільки з певною ймовірністю;
- по-друге, це загальна нестаціонарність ТП, причому коливання їх характеристик відбуваються, як мінімум у трьох циклах: добовому, тижневому, сезонному;
- по-третє, це неповна керованість, суть якої полягає в тому, що навіть при наявності повної інформації про потоки та можливості

інформування водіїв про необхідні дії, ці вимоги носять рекомендаційний характер.

Аналітичне моделювання процесів взаємодії ТЗ зазвичай спонукає створювати досить жорстку систему припущень при побудові таких моделей. Основою для побудови моделей ТП частіше всього є припущення про його стаціонарність, яке може виконуватися лише в окремі періоди з постійною інтенсивністю руху. Це не означає, що модель яка побудована на припущенні про стаціонарність ТП не буде адекватною, але вимагає проведення обов'язкової оцінки адекватності розроблених моделей та визначення сфери їхньої дії за допомогою експериментальних досліджень.

Проведення на транспортній мережі експериментів в повному сенсі цього слова є практично неможливим завданням, оскільки відтворити всі умови функціонування реального ЗП вочевидь неможливо, оскільки його стан визначається поведінкою багатьох учасників руху не причетних до процесу дослідження. Тому реальні об'єкти можуть застосовуватися лише для спостережень, чого недостатньо для визначення сфери дії аналітичних моделей та оцінки їх адекватності.

Тому, для проведення експериментів в сфері ОДР в останні роки все частіше використовується імітаційне моделювання на базі програмного забезпечення для вивчення руху ТП на різних ВДМ. Цей інструмент може стати ефективним засобом проведення експериментальних досліджень у тому числі й у районі ЗП.

Імітаційні моделі мають широкий інструментарій у питаннях оцінки ефективності руху для транспортних ситуацій, що виникають в конкретних умовах руху. Саме тому вона забезпечує можливість дослідження адекватності аналітичних моделей часу затримки МТЗ при виїзді з ЗП на іншу полосу руху: змінюючи параметри розташування ЗП відносно перехрестя, інтенсивність руху на смузі, на яку необхідно виїхати МТЗ та параметри циклу світлофору можна оцінити час затримки та порівняти його з розрахунковим значенням.

Ще одною особливістю даної проблеми, є постійний характер результатів реалізації рішень про місце розташування ЗП відносно перехрестя, тобто довготривалий, зазвичай декілька десятків років, термін експлуатації ЗП після прийняття відповідного рішення. Це вимагає особливої уваги до умов функціонування ЗП, оскільки інтенсивність руху може суттєво змінитися за цей період та прийняті

рішення можуть виявитися ефективними лише на протязі дуже короткого у масштабі міста часу. Оцінити ефективність рішень щодо розміщення ЗП у довгостроковому періоді можливо лише на основі головних характеристик ТП, інтенсивності та швидкості, для всього цього періоду.

Зміни в інтенсивності руху взагалі то є наслідками загальних соціально-економічних процесів, що проходять в країні, але інтенсивність ТП на конкретних ділянках транспортної мережі не може бути передбачена на загальному рівні, оскільки є результатом колективної поведінки водіїв у заданих умовах та є непропорційною загальній кількості поїздок в місті.

Передбачити умови функціонування ЗП в центральній частині міста, з різною кількістю автомобілів в ньому, можливо лише за допомогою транспортного моделювання об'єкту в спеціальному програмному забезпеченні, яке дозволяє правдоподібно розподілити ТП між міськими шляхами пересування та оцінити їх основні характеристики. Тому формування умов проведення імітаційного експерименту повинне виконуватися на основі аналітичного моделювання розподілу ТП, головним проблемним питанням якого є формування моделі попиту на пересування автомобілів в об'єкті дослідження, яким є функціонування ЗП в центральній частині міста.

Висновки

Існуючі нормативні документи та довідкова література, регламентуючі процес проектування ЗП, не повністю відображають сучасні реалії руху МТЗ експлуатаційних умов, велику різноманітність задіяних в міських пасажирських перевезеннях ТЗ та високу інтенсивність руху індивідуального транспорту і потребують наукового обґрунтування. Вони також не надають чітких вказівок до раціонального розміщення зупиночних пунктів відносно регульованих перехресть на трасі міських маршрутів.

Аналіз публікацій показав, що проведені дослідження з визначення раціонального місця розташування зупиночних пунктів в більшості побудовані на регресійних рівняннях, які на практиці ґрунтуються з позиції чорного ящика. Такий підхід не є універсальним так як, звужує набір інструментів пізнання та не дозволяє описати закономірності процесів в повній мірі, які можливо

було б виявити при більш детальному вивченні. Тому сьогодні виникає необхідність в побудові конструктивної моделі, яка б в повній мірі відтворювала процес функціонування ЗП та висвітлювала фактори, що впливають на його функціонування.

Розроблені вітчизняними та закордонними вченими математичні моделі опису ТП не враховують багатьох особливостей руху ТЗ, а закордонне програмне забезпечення для проведення транспортного моделювання хоч і дозволяє одержувати найбільш наближені до реальності результати моделювання для різних сценаріїв функціонування об'єктів, але не дозволяють визначити характер взаємозв'язків між різними параметрами об'єкту та забезпечити результатам моделювання загальний характер.

Як критерій ефективності доцільно використовувати показник мінімуму часу затримки виїзду маршрутного транспортного засобу на смугу руху, оскільки місце розташування ЗП відносно регульованого перехрестя найбільшим чином впливає на час поїздки пасажирів серед усіх показників якості їх обслуговування. Застосування в розрахунках цього критерію дозволить вибрати таке місце розташування ЗП по відношенню до регульованого перехрестя, яке призводить до скорочення часу пересування пасажирів в маршрутному транспортному засобі.

2 РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДИК ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як було відзначено в попередньому розділі, ключовою особливістю питання раціонального розташування ЗП є довгостроковий період експлуатації об'єкту після прийняття відповідного рішення у кожному конкретному випадку. Ця особливість приводить до необхідності отримання надійних моделей, які достовірно описують, пояснюють та передбачають поведінку об'єкту дослідження у визначених умовах функціонування.

Такими властивостями володіють лише аналітичні моделі, побудовані за допомогою сучасного математичного апарату на надійних принципах, коректних припущеннях і обмеженнях.

В даній дисертаційній роботі, при вирішенні поставлених задач дослідження, окремо виділяються три основних напрямки моделювання елементів транспортного процесу, пов'язані з:

- розрахунком власне часу затримки МТЗ при відправленні від ЗП;

- оцінкою ефективності заходів з раціонального розташування ЗП на реальній транспортній мережі в різних умовах функціонування ЗП, що пов'язані зі змінами інтенсивності ТП протягом часу;

- моделюванням попиту на транспортні пересування в умовах інтенсивної взаємодії об'єкта дослідження з його оточенням, яке є необхідним для оцінки ефективності заходів з раціонального розташування ЗП у довготривалому періоді.

Ефективність заходів з раціонального розташування ЗП на транспортній мережі можливо оцінити за допомогою існуючого сучасного програмного забезпечення з макромоделювання міських та регіональних транспортних систем VISUM німецької компанії PTV AG. Але перше та третє питання потребують розробки спеціальних аналітичних моделей, які відповідають умовам функціонування ЗП вуличних видів МПТ внаслідок недостатнього рівня точності розроблених на цей час моделей.

2.1 Аналітичне моделювання часу затримки виїзду МТЗ з зупинки

Як критерій визначення раціонального місця розташування ЗП до чи після регульованого перехрестя в роботі було запропоновано час затримки виїзду МТЗ на крайню праву смугу руху після посадки та висадки пасажирів. Затримка виїзду МТЗ – це проміжок часу між закінченням посадки пасажирів та моментом початку влиття МТЗ до загального ТП.

Розрахунок часу затримки МТЗ при відправленні від ЗП серед багатьох задач ОДР відноситься до області мікромоделювання. Область застосування мікромоделювання перебуває, як правило, поза областю багатомірних оптимізаційних задач, що пов'язане з наявними на практиці ресурсними обмеженнями. Мікромоделювання забезпечує одержання прийнятних результатів при його використанні в якості альтернативи експериментальним дослідженням. Для проведення ефективного мікромоделювання необхідна повнота даних про процес, об'єктивність оцінки, що викликали його причин і умов їх виникнення. Аналіз тенденцій протікання процесу дозволяє оцінити на перспективу значення його показників, сформулювати систему заходів, що забезпечують досягнення мети.

Для проведення мікромоделювання процесу виїзду МТЗ було прийнято, що $t_0 = 0$ – момент заїзду МТЗ на зупинку, а t – момент початку виїзду МТЗ з ЗП при цьому $t + \tau(v)$ момент завершення виїзду МТЗ з ЗП. Упродовж часу t МТЗ стоїть на зупинці, а в продовж часу $\tau(v)$ виїжджає на смугу руху. При цьому виникає потік автомобілів, що проїжджають біля ЗП. Дослідженнями встановлене, що для опису потоків порівняно малої інтенсивності, які характеризуються ймовірністю проїзду певного числа ТЗ через розріз дороги, можливо застосовувати розподіл Пуассона [24, 161 - 163]

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}, \quad (2.1)$$

де $P_n(t)$ - ймовірність проїзду n - го кількості автомобілів за час t ;

λ – основний параметр розподілу (інтенсивність транспортного потоку), авт./с;

t – тривалість відрізків часу спостереження, с;

n – число зафіксованих автомобілів.

Інтенсивність ТП можна визначити за формулою:

$$\lambda = \frac{1}{m_1}, \quad (2.2)$$

де m_1 – середнє значення інтервалу руху автомобілів, с.

Якщо поява автомобілів характеризується розподілом (2.1), то інтервали τ_i між автомобілями розподілені за експоненційним законом

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad t > 0, \quad (2.3)$$

де $F(t)$ – ймовірність того, що $\tau_n \leq t$, $0 \leq F(t) \leq 1$.

У загальному випадку було зроблено припущення, що потік автомобілів проїжджаючий повз зупинку є рекурентним, тобто випадкові величини $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n$, які утворюють послідовність незалежних однаково розподілених за законом $F(t)$ випадкових величин, показує інтервал часу між сусідніми автомобілями в потоці. Було розглянуто три події процесу прибуття та відправлення МТЗ на зупинці.

1. Подія A_0 – припускає, що до моменту t не було ні одного автомобіля в русі та на проміжку $(t; t + \tau(v))$ не було ні одного автомобіля проїжджаючого біля зупинки, рис. 2.1.

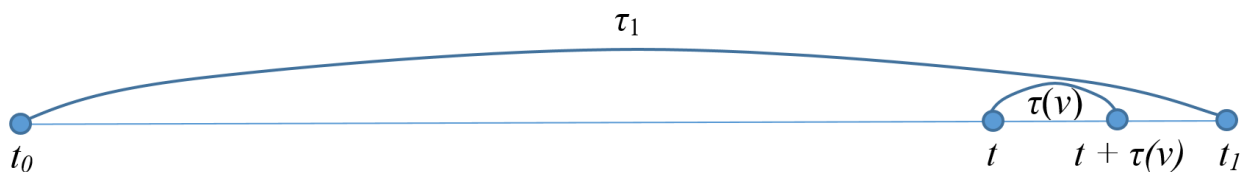


Рис. 2.1. Схема виїзду МТЗ з ЗП при відсутності автомобілів, які проїжджають біля зупинки

2. Подія A_n - до моменту t проїхало рівно n автомобілів і на проміжку часу $(t; t + \tau(v))$ проїжджаючих автомобілів біля зупинки немає. При цьому величини t і τ заздалегідь визначені, рис. 2.2.

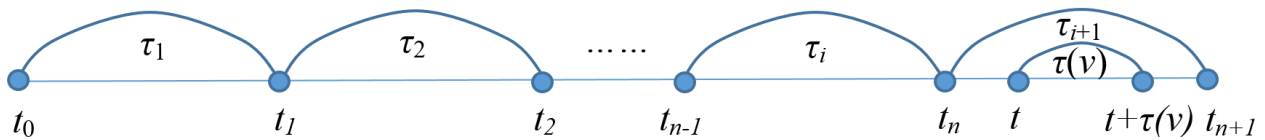


Рис. 2.2. Схема виїзду МТЗ з зупиночного пункту в потік з n автомобілів

3. Подія B – подія, коли на проміжку часу $(t; t + \tau(v))$ не було автомобілів, які проїжджають біля зупинки, тобто МТЗ безперешкодно виїде з ЗП та при цьому число n автомобілів, що проїхали біля зупинки за час стоянки на ній МТЗ може прийняти будь-яке ціле невід’ємне значення $n = 0, 1, 2, \dots$ і т.д. Тоді

$$B = \sum_{n=0}^{\infty} A_n. \quad (2.4)$$

При цьому події $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ несумісні. Ймовірність настання події B залежить від двох параметрів $(t, \tau(v))$

$$P(t, \tau(v)) = P(B) = P(A_0) + \sum_{n=1}^{\infty} P(A_n), \quad (2.5)$$

де $P(A_0) = P\{t + \tau(v) < t_1\} = 1 - F(t + \tau(v))$, $P(A_n) = P\{t_n < t < t + \tau(v) < t_{n+1}\}$.

Ймовірність випадкової події A_n зручно знайти визначивши умовну ймовірність настання цієї події за умови, що $t_n = x$, яка дорівнює

$$\begin{aligned} P\{A_n | t_n = x\} &= P\{\tau_{n+1} > \tau(v) + t - x\} = 1 - P\{\tau_{n+1} \leq \tau(v) + t - x\} = \\ &= 1 - F(\tau(v) + t - x) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Щоб знайти абсолютні ймовірності виникнення події A_n необхідно умовну ймовірність A_n за умови $t_n = x$ (де $x \in (0; t)$) помножити на щільність розподілу випадкової величини t_n і проінтегрувати цей добуток за всіма значеннями x від 0 до t .

$$P(A_n) = \int_0^t P\{\tau_{n+1} > \tau(v) + t - x\} \cdot f_n(x) dx, \quad (2.7)$$

або

$$P(A_n) = \int_0^t P\{A_n | t_n = x\} \cdot f_n(x) dx, \quad (2.8)$$

де $f_n(x)$ – щільність розподілу випадкової величини проїзду останнього автомобіля повз зупинку перед початком виїзду МТЗ $t_n = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots + \tau_n$. Величина $f_n(x)$ показує з якою вагою умовна ймовірність події A_n за умови $t_n = x$ (де $x \in (0; t)$) входить у заключну формулу, яка обчислює безумовну ймовірність події A_n .

Щільність розподілу випадкової величини t_n це похідна від функції розподілу цієї випадкової величини. При цьому функція розподілу випадкової величини $t_n = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots + \tau_n$ може бути знайдена рекурентно опираючись на функцію розподілу випадкової величини t_{n-1} , яка дорівнює сумі на одиницю менше його числа випадкових доданків.

$$F_1(x) = F(x), f(x) = F_1'(x) = f(x), \quad (2.9)$$

де $F(x)$ – задана функція розподілу інтенсивності руху автомобілів.

$$F_2(x) = \int_0^x F_1 \cdot (x - y) \cdot f(y) dy, \quad (2.10)$$

$$F_n(x) = \int_0^x F_{n-1} \cdot (x - y) \cdot f(y) dy, \quad (2.11)$$

де $f(t)dt$ – щільність розподілу випадкової величини τ_n (однієї конкретної випадкової величини);

$$F_{n-1} \cdot (x - y) = P\{\tau_1 + \dots + \tau_n \leq x | \tau_n = y\} = P\{\tau_1 + \dots + \tau_{n-1} \leq x - y\}$$

ймовірність того, що $t_n = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots + \tau_n \leq x$ за умови, що $\tau_n = y$, $0 < y < x$.

Для знаходження щільності розподілу випадкової величини t_n було визначено похідну вираження (2.11). При цьому похідна інтеграла зі змінною верхньою межею від безперервної функції дорівнює підінтегральній функції, у якій змінна інтегрування замінена верхньою межею, а якщо підінтегральна функція залежить від цієї змінної верхньої межі, то з'являється ще один доданок у вигляді інтеграла в тих же межах, а замість підінтегральної функції записується похідна по цій змінній x

$$F'_n(t) = f_n(x) = \left(\int_0^x F_{n-1}(x-y) f(y) dy \right)' = F_{n-1}(x-x) f(x) + \int_0^x f_{n-1} \cdot (x-y) \cdot f(y) dy, \quad (2.12)$$

$$F'_n(t) = f_n(x) = \int_0^x f_{n-1} \cdot (x-y) \cdot f(y) dy, \quad (2.13)$$

тоді

$$\sum_{n=0}^{\infty} P(A_n) = P(A_0) + \int_0^t [1 - F(\tau(v) + t - x)] \cdot \sum_{n=1}^{\infty} f_n(x) dx. \quad (2.14)$$

Для визначення та інтерпретації $\sum_{n=1}^{\infty} f_n(x)$ знаходиться $\sum_{n=1}^{\infty} F_n(x)$.

Було прийнято, що $\nu(x)$ число автомобілів, що проїхали повз ЗП за час x . Тоді

$$F_n(x) = P\{t_n \leq x\} = P\{\nu(x) \geq n\}, \quad (2.15)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} F_n(x) = \sum_{n=1}^{\infty} P\{\nu(x) \geq n\} = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot p_n = M \nu(x), \quad (2.16)$$

де $M\nu(x)$ – математичне очікування кількості автомобілів, що проїхали, повз ЗП на проміжку часу $[0, x]$, яке позначається через $H(x)$.

$p_n = P\{\nu(x) = n\}$ – кожна ймовірність p_n у нескінченній сумі (2.16) повториться n раз, тоді

$$p_n = P\{\nu(x) \geq 1\} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n + \dots, \quad (2.18)$$

$$p_n = P\{\nu(x) \geq 2\} = p_2 + p_3 + \dots + p_n + \dots, \quad (2.19)$$

$$p_n = P\{\nu(x) \geq 3\} = p_3 + \dots + p_n + \dots \quad (2.20)$$

При цьому

$$\sum_{n=1}^{\infty} p_n = 1, \text{ а } \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot p_n = M v(x) = H(x).$$

Звідси

$$\sum_{n=1}^{\infty} f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} F'_n(x) = H'(x) = h(x), \quad (2.21)$$

де $h(x)$ – похідна по x від середньої кількості автомобілів, що проїхали за час x . Величина $h(x)$ показує інтенсивність потоку.

Ймовірність настання події B у вигляді

$$P(B) = P(t, \tau(v)) = 1 - F(t + \tau(v)) + \int_0^t [1 - F(t + \tau(v) - x)] \cdot h(x) dx. \quad (2.22)$$

Вираження (2.22) також можливо записати в наступному виді

$$P_t \{ \tau \} = P(B) = \bar{F}(t + \tau(v)) + \int_0^t \bar{F}(t + \tau(v) - x) \cdot h(x) dx, \quad (2.23)$$

де $\bar{F}(t) = 1 - F(t) = P\{\tau_i > t\} = 1 - P\{\tau_i \leq t\}$.

Було підставлено (2.3) в $\bar{F}(t) = 1 - F(t)$:

$$\bar{F}(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t}) = e^{-\lambda t}. \quad (2.24)$$

Вираження (2.24) було підставлено в (2.23)

$$P_t \{ \tau \} = e^{-\lambda(t+\tau(v))} + \int_0^t e^{-\lambda(t+\tau(v)-x)} \lambda dx = e^{-\lambda\tau(v)} \quad (2.25)$$

Для знаходження ймовірності події B (ймовірність того, що автобус безперешкодно виїде з ЗП) (2.2) було підставлено в (2.25).

$$P(B) = e^{-\tau(v)/m_1}. \quad (2.26)$$

Слід зазначити, що при визначені часу затримки виїзду МТЗ з зупиночного пункту в рекурентний потік однорідних подій час посадки та висадки пасажирів не береться до уваги. Тобто час

затримки виїзду МТЗ починає відраховуватися тільки після моменту закриття дверей МТЗ.

$A1\{\zeta_t > \tau(v)\}$ – виїзд МТЗ без затримки при цьому $\tau(v) – \text{const}$. При цьому t – момент закриття дверей та включення водієм поворотного сигналу для виїзду із ЗП, ζ_t – час очікування появи чергового автомобіля, $\tau(v)$ – час виїзду МТЗ, рис. 2.3.

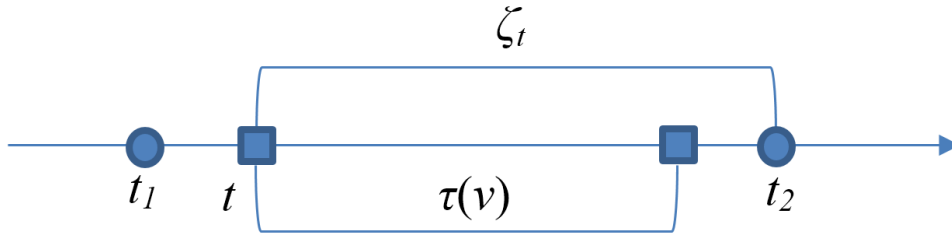


Рис. 2.3. Час виїзду МТЗ без затримки в рекурентний потік

$A\{\tau_n > \tau(v)\}$ – виїзд МТЗ здійснюється після проїзду наступного автомобіля повз ЗП. При цьому τ_n – інтервал руху автомобілів, рис. 2.4.

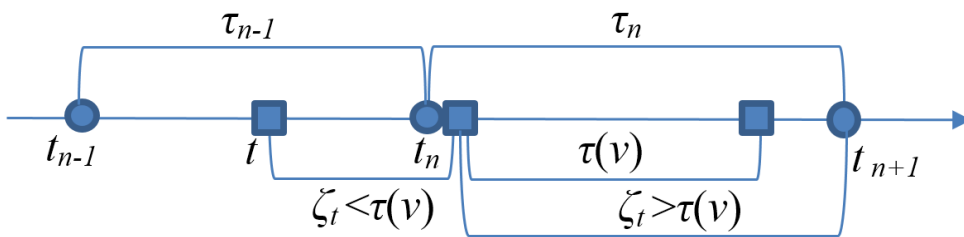


Рис. 2.4. Час очікування виїзду МТЗ з урахуванням проїзду чергового автомобіля біля ЗП

Час виїзду МТЗ з урахуванням можливої затримки в наслідок проїзду автомобілів біля зупиночного пункту.

$$\tau_{зв} = \tau(v) \cdot \chi_{A1} + \chi_{\bar{A}1} \cdot (\xi_t + \tau_{\theta}), \quad (2.27)$$

де χ_{A1} – індекс випадкової події $A1$ виїзду МТЗ без затримки;

$\chi_{\bar{A}1}$ – індекс випадкової події $\bar{A}1$ виїзду МТЗ з затримкою (події $\bar{A}1$ зворотна події $A1$).

τ_{θ} – час очікування виїзду МТЗ з урахуванням можливої затримки від моменту проїзду n автомобілів, (рис. 2.5), с;

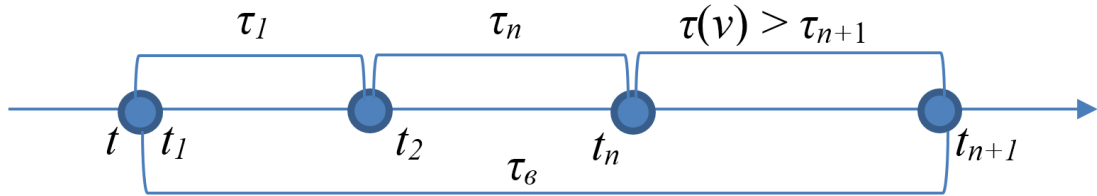


Рис.2.5. Час очікування виїзду МТЗ з урахуванням можливої затримки в наслідок проїзду n - автомобілів

В роботі зроблено припущення, що потік автомобілів проїжджаючих повз зупинку найпростіший (Пуассонівський) з параметром λ , тоді в силу відсутності післядії для показового інтервалу найпростішого потоку τ_3 – має такий самий розподіл, як і τ_6 , так як ζ_t і τ_n мають один і той же показовий розподіл. Відповідно $\tau_{3\theta} = \tau_6$, рис. 2.6

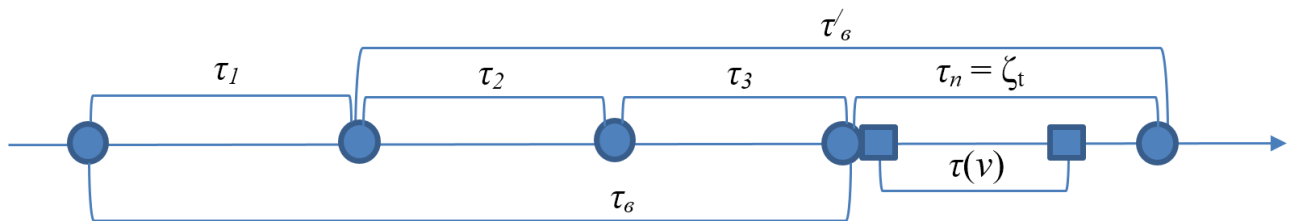


Рис. 2.6 – Час очікування виїзду МТЗ з урахуванням проїзду певної кількості автомобілів біля ЗП

Виходячи з вище наведеного можливо стверджувати, що $\tau_{3\theta} = \tau_6$, звідси можливо записати час виїзду МТЗ з урахуванням можливої затримки, як

$$\tau_6 = \tau(v) \cdot \chi_{A1} + \chi_{\bar{A}1} \cdot (\tau_1 + \tau'_6), \quad (2.28)$$

де $\tau'_6 = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n$.

Тоді

$$\tau(v) \cdot \chi_{A1} + \chi_{\bar{A}1} \cdot (\xi_t + \tau_6) = \tau(v) \cdot \chi_{A1} + \chi_{\bar{A}1} \cdot (\tau_1 + \tau'_6), \quad (2.29)$$

$$\tau_6 = \begin{cases} \tau(v), P(A) \\ \tau_1 + \tau'_6, P(\bar{A}_1) \end{cases}, \quad (2.30)$$

Використовуючи перетворення Лапласа для визначення затримки виїзду МТЗ з ЗП $\tau(v)$. Тобто ймовірність того, що за випадковий час $\tau(v)$ не відбудеться деяка випадкова подія простого потоку (Пуассоновського) інтенсивність настання якого дорівнює S

$$\varphi_{\tau(v)}(S) = Me^{-S\tau(v)}. \quad (2.31)$$

Так як $\tau(v) - \text{const}$, то $Me^{-S\tau(v)} = e^{-S\tau(v)} - \text{const}$. При цьому $a(s) = Me^{-S\tau(v)}$ – пошукова величина. Звідси перетворення Лапласа для часу виїзду з урахуванням затримки МТЗ

$$a(s) = e^{-S\tau(v)} \cdot P(A) + b(s) \cdot a(s), \quad (2.32)$$

де $e^{-S\tau(v)} \cdot P(A)$ – ймовірність того, що не відбудеться додаткова подія, якщо виїзд МТЗ здійсниться без затримки на першому інтервалі. ($P(A)$ – ймовірність умови при якій величина $\tau_e = \tau(v)$ при $e^{-S\tau(v)}$ де $\tau(v) - \text{const}$), формула (2.25);

$b(s) \cdot a(s)$ – ймовірність того, що не відбудеться додаткова подія, якщо виїзд МТЗ здійсниться не з першого разу (не на першому інтервалі);

$b(s)$ – ймовірність того, що не відбудеться додаткова подія на інтервалі тривалість якого менше $\tau(v)$, тобто $\tau_n < \tau(v)$.

Тоді перетворення Лапласа для часу виїзду, якщо на першому проміжку τ_1 виїзд не відбувся матиме вид

$$b(s) = Me^{-S(\tau_n | \tau_n < \tau(v))} \cdot P\{\tau_n \leq \tau(v)\} = M(e^{-S\tau_n} \cdot \chi\{\tau_n \leq \tau(v)\}). \quad (2.33)$$

Функція розподілу інтервалу на якому немає виїзду МТЗ

$$F_{\tau(v)}(x) = P\{\tau_n \leq x | \tau_n \leq \tau(v)\} = \frac{P\{\tau_n \leq x, \tau_n \leq \tau(v)\}}{P\{\tau_n \leq \tau(v)\}}. \quad (2.34)$$

$$F_{\tau(v)}(x) = \int_0^x f_{\tau(v)}(t) dt = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ \frac{1 - e^{-\lambda x}}{1 - e^{-\lambda \tau(v)}}, & 0 \leq x \leq \tau(v), \\ 1, & x > \tau(v). \end{cases} \quad (2.35)$$

Для визначення щільності розподілу інтервалу руху автомобілів було проінтегровано отримане вираження в інтервалі $0 < x < \tau(v)$.

$$f_{\tau(v)}(x) = \begin{cases} \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{1 - e^{-\lambda \tau(v)}}, & 0 \leq x \leq \tau(v) \\ 0, & x \notin [0; \tau(v)] \end{cases}. \quad (2.36)$$

Тоді математичне очікування випадкової величини τ_n з параметром $\tau_n < \tau_v$

$$Me^{-S(\tau_n | \tau_n < \tau(v))} = \int_0^{\tau(v)} e^{-Sx} \cdot \frac{\lambda e^{-\lambda x}}{1 - e^{-\lambda \tau(v)}} dx = \frac{\lambda}{\lambda + S} \left(\frac{1 - e^{x(\lambda+S)}}{1 - e^{-\lambda \tau(v)}} \right). \quad (2.37)$$

Отримане вираження було підставлене в $b(s)$, (2.33)

$$b(s) = Me^{S\tau} \chi_{\{\tau_n < \tau(v)\}} = Me^{-S(\tau_n | \tau_n < \tau(v))} \cdot P\{\tau_i < \tau(v)\} = \frac{\lambda}{\lambda + S} (1 - e^{x(\lambda+S)}). \quad (2.38)$$

Отримане вираження було підставлене в $a(s)$, (2.32)

$$a(s) = e^{-S\tau(v)} \cdot e^{-\lambda \tau(v)} + a(s) \cdot \frac{\lambda}{\lambda + S} \cdot (1 - e^{-\tau(v)(\lambda+S)}), \quad (2.39)$$

$$a(s) - a(s) \cdot \frac{\lambda}{\lambda + S} \cdot (1 - e^{-\tau(v)(\lambda+S)}) = e^{-S\tau(v)} \cdot e^{-\lambda \tau(v)}, \quad (2.40)$$

$$a(s) \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda + S} \cdot (1 - e^{-\tau(v)(\lambda+S)})\right) = e^{-(S+\lambda)\tau(v)}, \quad (2.41)$$

$$a(s) = \frac{e^{-(\lambda+S)\tau(v)}}{1 - \frac{\lambda}{\lambda + S} (1 - e^{-\tau(v)(\lambda+S)})} = \frac{(\lambda + S)e^{-(\lambda+S)\tau(v)}}{S + \lambda e^{-\tau(v)(\lambda+S)}}. \quad (2.42)$$

Так як

$$(Me^{-sx})'_S = M\left[e^{-sx} \cdot (-x)\right] \Big|_{S=0} = M(-x) = -M(x). \quad (2.43)$$

Аналогічно було знайдено математичне очікування часу виїзду МТЗ продиференціювавши отримане вираження (2.42) у точці нуль.

$$a'(s) = \frac{(\lambda + S)'(S \cdot e^{\tau(v)(\lambda+S)} + \lambda) - (\lambda + S)(S \cdot e^{\tau(v)(\lambda+S)} + \lambda)'}{(S \cdot e^{\tau(v)(\lambda+S)} + \lambda)^2}. \quad (2.44)$$

$$a'(s) = \frac{1(S \cdot e^{\tau(\lambda+S)} + \lambda) - (\lambda + S)(1 \cdot e^{\tau(v)(\lambda+S)} + S \cdot \tau(v) \cdot e^{\tau(\lambda+S)})}{(S \cdot e^{\tau(v)(\lambda+S)} + \lambda)^2}. \quad (2.45)$$

$$a'(s)|_{S=0} = a'(0) = \frac{0 + \lambda - (\lambda + 0)(1 \cdot e^{\tau(v)(\lambda+0)} + 0)}{(0 + \lambda)^2} = \frac{1}{\lambda}(1 - e^{\tau(v)\lambda}) \quad (2.46)$$

$$M\tau_g = -a'(0) = -\frac{1}{\lambda}(1 - e^{\tau(v)\lambda}) = \frac{1}{\lambda}(e^{\tau(v)\lambda} - 1). \quad (2.47)$$

Звідси середній час виїзду МТЗ дорівнює

$$\bar{t}_g(v) = \frac{1}{\lambda}(e^{\tau(v)\lambda} - 1). \quad (2.48)$$

Так як

$$\bar{t}_g(v) = \tau(v) + \bar{t}, \quad (2.49)$$

то середній час затримки виїзду МТЗ з ЗП може бути розрахований як

$$\bar{t} = \bar{t}_g(v) - \tau(v) = \frac{1}{\lambda}(e^{\tau(v)\lambda} - 1) - \tau(v), \quad (2.50)$$

На практиці час затримки виїзду МТЗ залежить від розташування ЗП до чи після регульованого перехрестя. При виїзді МТЗ з КЗП можливі декілька варіантів ситуації на дорозі, рис. 2.7.

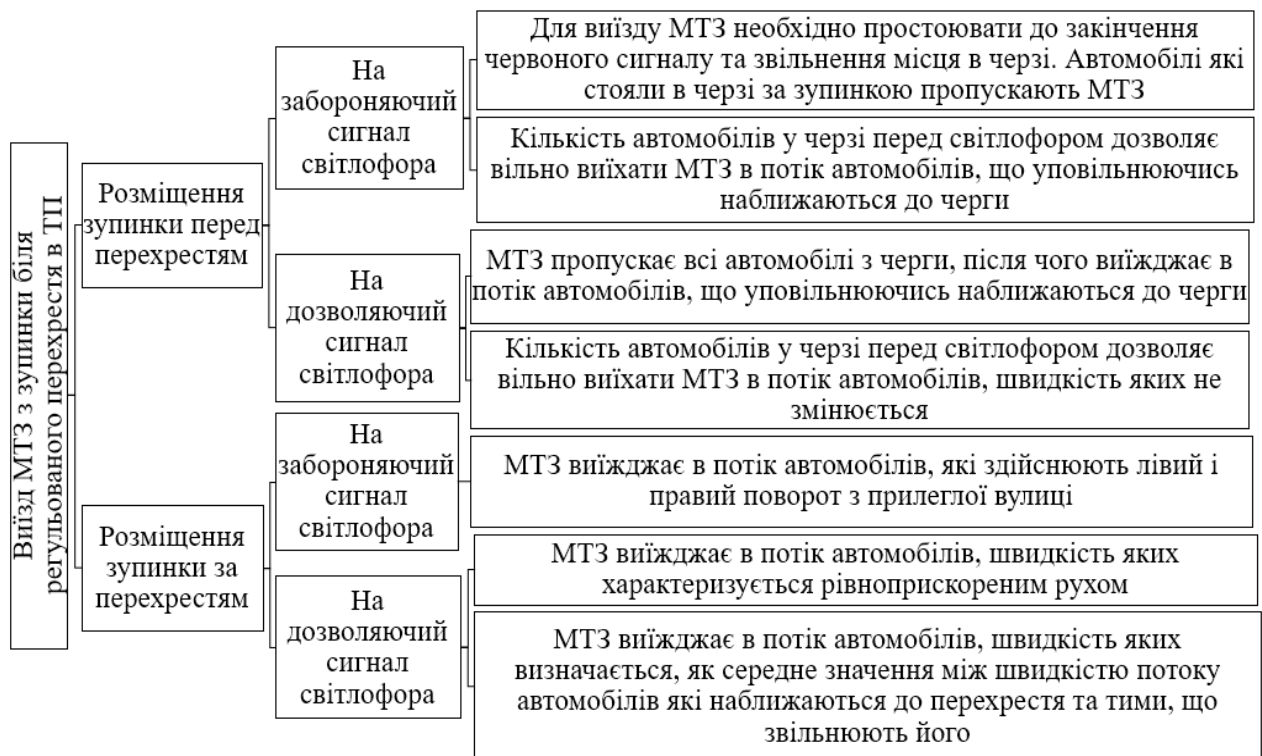


Рис. 2.7. Можливі варіанти ситуацій на дорозі при виїзді МТЗ з КЗП який розташовано біля регульованого перехрестя

Для визначення повної ймовірності часу затримки виїзду МТЗ з КЗП необхідним є врахування всіх ситуацій на дорозі, які зазначені на рис. 2.7. Для цього в роботі можливі варіанти виїзду МТЗ (рис. 2.7) розглянуто більш детально.

Ситуація, коли зупинка розташована перед перехрестям зі світлофорним регулюванням (рис. 2.8) при цьому виникають чотири варіанта можливих ситуації виїзду МТЗ з зупиночного пункту.

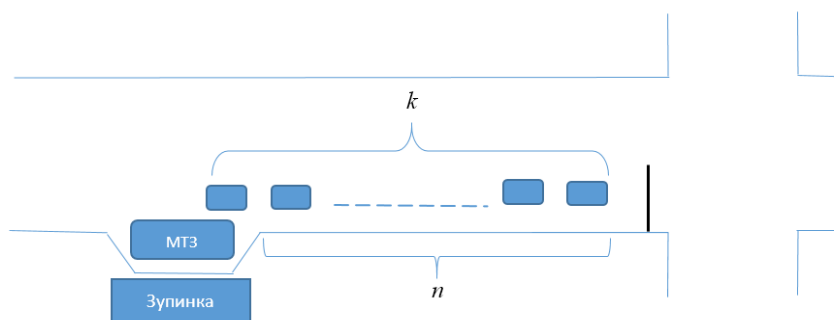


Рис. 2.8. Схема розміщення ЗП перед перехрестям

У момент готовності виїзду МТЗ з ЗП увімкнено забороняючий сигнал і кількість автомобілів у черзі перед світлофором $k \geq n$ –

кількості місць для зупинки автомобілів перед світлофором до ЗП. За цією умовою умовне математичне очікування часу затримки виїзду МТЗ з ЗП складається з математичного очікування, залишкового часу горіння забороняючого сигналу світлофора плюс $T_p(n)$ – математичного очікування часу звільнення місця в черзі перед світлофором для МТЗ, рис. 2.9

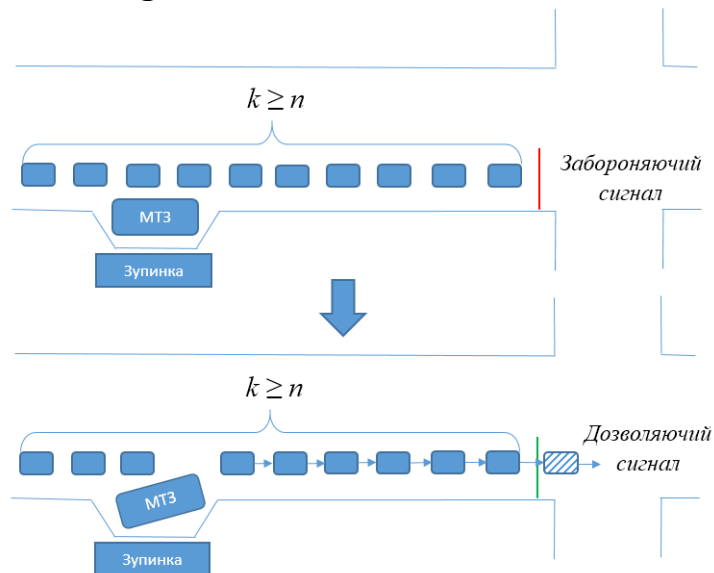


Рис. 2.9. Виїзд МТЗ в потік на забороняючий сигнал світлофора

2. У момент готовності до маневру виїзду МТЗ з ЗП увімкнено забороняючий сигнал світлофора і число автомобілів у черзі перед світлофором рівно $k = 0, 1, 2, \dots, n - 1$. При цій умові математичне очікування часу затримки виїзду МТЗ з ЗП дорівнює \bar{t} – умовному математичному очікуванню часу затримки виїзду автобусу в потік автомобілів, які рухаються повз зупинку зі швидкістю V_q . Швидкість потоку V_q - це швидкість з певним уповільненням щодо кількості автомобілів у черзі. При цьому час виїзду МТЗ з зупинки у вільне вікно потоку, який рухається зі швидкістю V_q розраховується, рис. 2.10.

$$\tau(V_q) = \frac{V_q}{a}, \quad (2.51)$$

де a – прискорення МТЗ м/с².

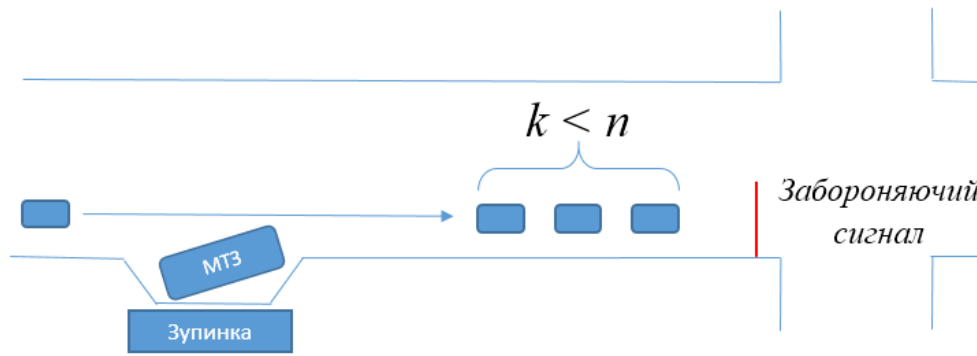


Рис. 2.10. Виїзд МТЗ в потік на забороняючий сигнал світлофора за умови що швидкість потоку дорівнює V_q

У момент готовності виїзду МТЗ з ЗП увімкнено дозволяючий сигнал і кількість автомобілів перед світлофором $k_3 \geq n$, рис. 2.11. При цій умові умовне математичне очікування часу затримки виїзду МТЗ з ЗП складається з $t_p(n)$ – математичного очікування часу звільнення місця в черзі перед світлофором для МТЗ (рис. 2.12) плюс математичне очікування часу проїзду автомобілів, що перебувають у черзі за ЗП $k - n$ так, що останній у цій черзі займає місце $n - 1$, тобто $\Delta t \cdot k + (k - n) \cdot \Delta t = (2k - n) \cdot \Delta t$ та плюс математичне очікування часу затримки виїзду МТЗ $\bar{t}(V_s((n - 1), \lambda))$ в потік автомобілів, які рухаються зі швидкістю $V_s(n - 1)$, яка виникає в результаті вповільнення швидкості потоку через $n - 1$ автомобілів, що залишилися, у черзі перед зупинкою, рис. 2.13.

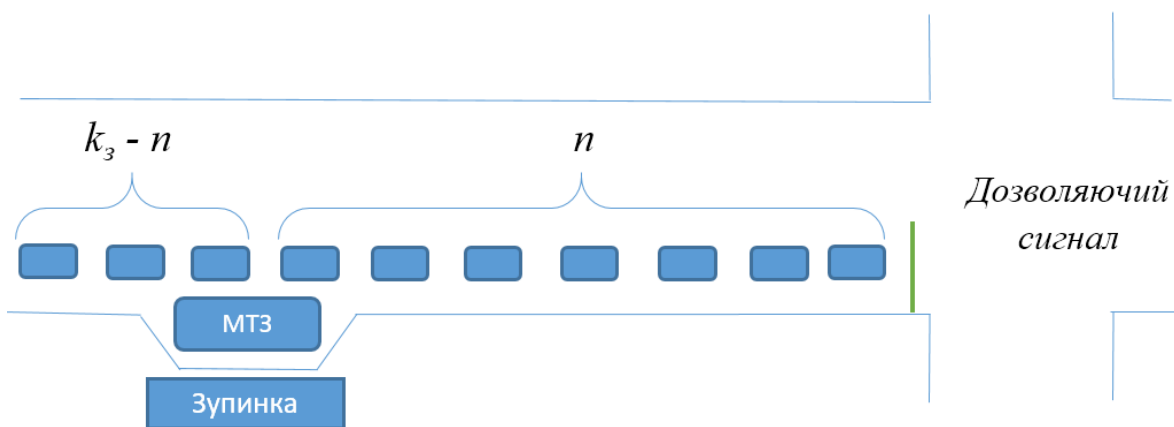


Рис. 2.11. Виїзд МТЗ з ЗП на дозволяючий сигнал при цьому число автомобілів перед світлофором $k_3 \geq n$

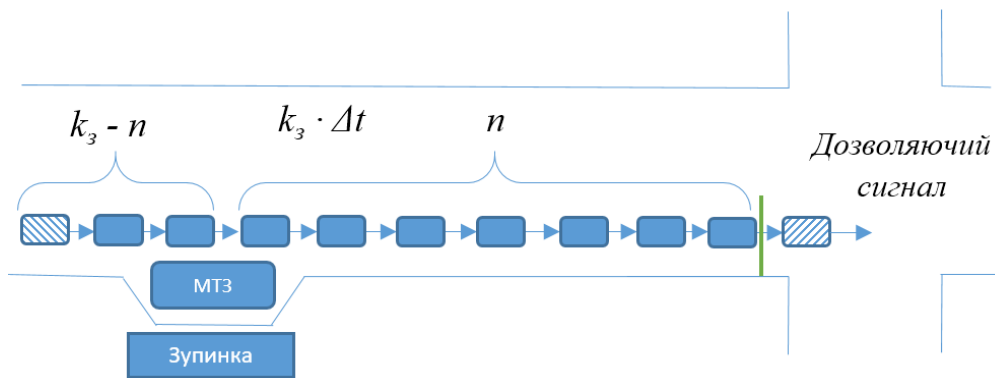


Рис. 2.12. Виїзд МТЗ з ЗП на дозволяючий сигнал після зміщення черги автомобілів на $t_p(n)$

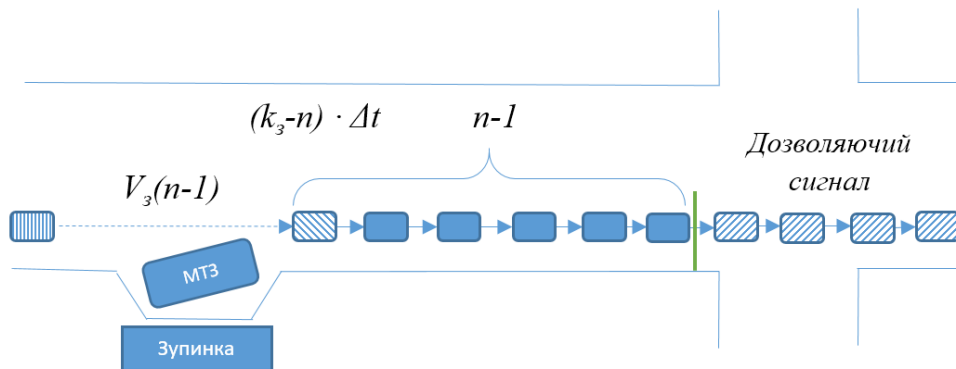


Рис. 2.13. Виїзд МТЗ з ЗП на дозволяючий сигнал після проїзду автомобілів, що перебувають у черзі за ЗП

4. У момент готовності виїзду МТЗ з ЗП увімкнено дозволяючий сигнал і кількість автомобілів у черзі перед світлофором $k_3 < n$. При цьому умовне математичне очікування затримки виїзду МТЗ з ЗП дорівнює \bar{T}_0 – математичному очікуванню часу затримки виїзду МТЗ з ЗП в потік автомобілів, що рухаються повз зупинку, з інтенсивністю λ і швидкістю $V_3(k)$, рис. 2.14.

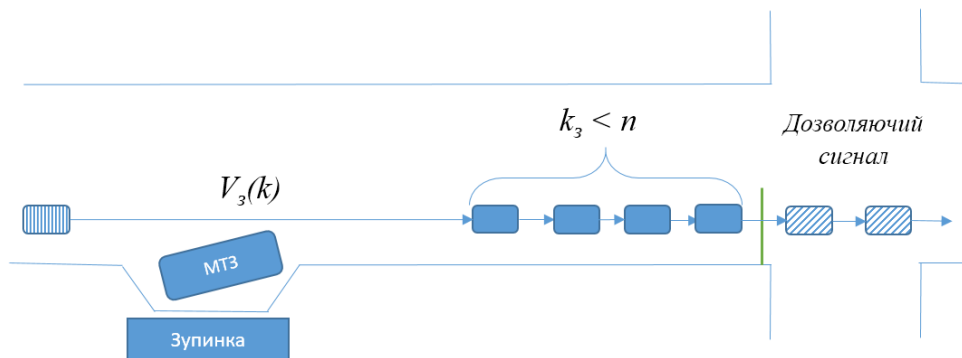


Рис. 2.14. Виїзд МТЗ з ЗП на дозволяючий сигнал при цьому число автомобілів у черзі перед світлофором $k_3 < n$

Повна ймовірність середнього часу затримки виїзду МТЗ з ЗП, який розташований до перехрестя має наступний вид

$$\bar{T}_d = \frac{t_u}{t_u} \left\{ P_{k \geq n} \left[\frac{t_u}{2} + t_p(n) \right] + \sum_{k=0}^{n-1} P_k \cdot \bar{t}_u(V_u, \lambda) \right\} + \frac{t_3}{t_u} \left\{ P_{k \geq n} \cdot (k \cdot \Delta t + (k - n) \cdot \Delta t + \bar{t}_3(V_3(n-1), \lambda)) + \sum_{k=0}^{n-1} P_k \cdot \bar{t}_3(V_3(k), \lambda) \right\}, \quad (2.52)$$

де t_u – час такту забороняючого сигналу світлофора, с;

t_3 – час такту зеленого сигналу світлофора, с;

t_u – час циклу світлофора, с;

$t_p(n)$ – середній час звільнення автомобілем місця в черзі, с;

\bar{t}_u, \bar{t}_3 – математичне очікування затримки виїзду МТЗ з зупинки на забороняючий та дозволяючий сигнал світлофора відповідно, с;

V_u – швидкість потоку на забороняючий сигнал світлофора, м/с;

Δt – час звільнення одним автомобілем свого місця в черзі, с;

λ – інтенсивність потоку автомобілів, од/с;

$V_3(n-1)$ – швидкість потоку з урахуванням уповільнення через чергу з кількістю $(n-1)$ автомобілів, яка почала рух на дозволяючий сигнал, м/с;

$V_3(k)$ – швидкість потоку з урахуванням уповільнення через чергу з кількістю (k) автомобілів, яка почала рух на дозволяючий сигнал, м/с;

$P_{k \geq n}$ – ймовірність того, що всі місця перед світлофором до ЗП зайняті;

P_k – ймовірність того, що в черзі буде k автомобілів при цьому кількість вільних місць буде рівно $n - k$ при $k < n$;

n – кількість місць для зупинки на ділянці від світлофора до ЗП під час забороняючого сигналу світлофора, од;

k – кількість автомобілів у черзі перед світлофором на забороняючий сигнал, од.

Середній час звільнення автомобілем місця в черзі

$$t_p(n) = \Delta t \cdot n. \quad (2.53)$$

Швидкість потоку на забороняючий сигнал світлофора

$$V_v = V_0 \left(1 - \frac{k}{n-1} \right), \quad (2.54)$$

де V_0 – швидкість руху в потоці у відсутності черги перед світлофором, м/с.

Швидкість потоку з урахуванням уповільнення через чергу з кількістю $(n-1)$ автомобілів яка почала рух на дозволяючий сигнал

$$V_3(n-1) = V_\epsilon + \frac{V_0 - V_\epsilon}{n}, \quad (2.55)$$

де V_ϵ – швидкість від'їзду автомобіля з перехрестя на дозволяючий сигнал, м/с;

$$V_\epsilon = \frac{l_a + d}{\Delta t}, \quad (2.56)$$

де l_a – середня довжина автомобілів, м;

d – середня дистанція між автомобілями в черзі, м.

Швидкість потоку з урахуванням уповільнення через чергу з кількістю k автомобілів, яка почала рух на дозволяючий сигнал

$$V_3(k) = V_\epsilon + \frac{(n-k) \cdot (V_0 - V_\epsilon)}{n}. \quad (2.57)$$

На основі теорії системи масового обслуговування на прикладі одноканальної системи з пуассонівським вхідним потоком і експоненційним розподілом інтервалів, було записано ймовірності створення черги [162].

Ймовірність того, що всі місця перед світлофором до ЗП заповнені

$$P_{k \geq n} = 1 - \frac{1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^{n-1}}{1 + \rho + \rho^2 + \rho^k + \dots + \rho^{K_0}}, \quad \setminus \quad (2.58)$$

де ρ – ймовірність створення черги;

K_0 – максимальна кількість автомобілів в черзі, од.

$$\rho = \frac{\lambda \cdot t_y}{t_3 \cdot \mu} < 1 \quad (2.59)$$

Ймовірність того, що в черзі буде k автомобілів при цьому кількість вільних місць буде рівно $n - k$ при $k < n$.

$$P_k = \frac{\rho^k}{1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \dots + \rho^{K_0}}, \quad (2.60)$$

де μ – інтенсивність роз'їзду автомобілів з перехрестя, од/с.

Ситуація, коли зупинка МТЗ розташована на відстані l за перехрестям зі світлофорним регулюванням (рис. 2.15).

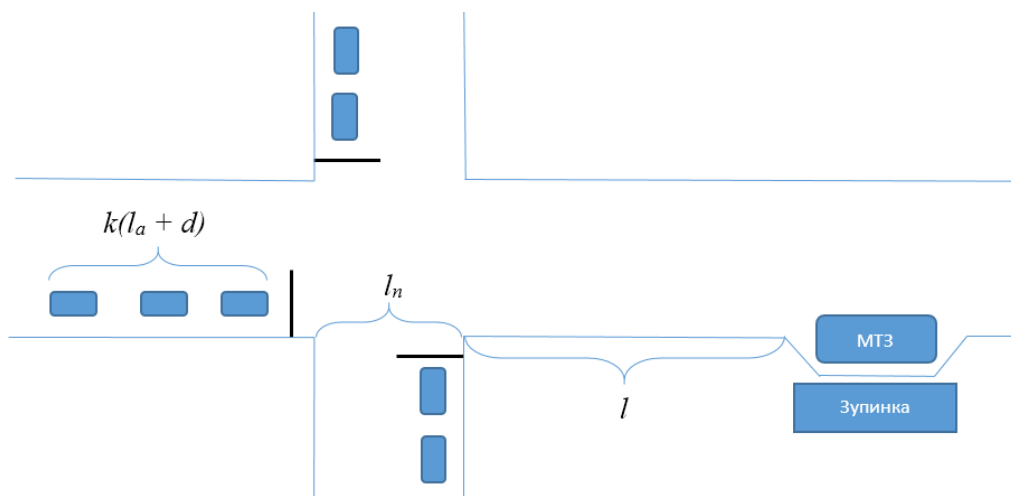


Рис.2.15. Розміщення ЗП за регульованим перехрестям

При цьому виникають дві ситуації виїзду МТЗ з ЗП:

1. У момент готовності виїзду МТЗ з ЗП увімкнено дозволяючий сигнал та кількість автомобілів перед світлофором дорівнює k і при цій умові середній час затримки виїзду МТЗ можна визначити за формулою

$$\bar{t}_3(V_3(l, k, a_1)) = \frac{1}{\lambda_3} \left\{ e^{\lambda_3 \tau_\theta(V_3, \lambda_3)} - 1 \right\} - \tau_\theta(V_3, \lambda_3). \quad (2.61)$$

Інтенсивність потоку на дозволяючий сигнал

$$\lambda_3 = \begin{cases} \mu; & \mu \cdot t_3 \leq k \\ \mu \cdot \frac{k}{\mu} + \left(t_3 - \frac{k}{\mu} \right) \cdot \lambda & \\ \frac{\mu \cdot \frac{k}{\mu} + \left(t_3 - \frac{k}{\mu} \right) \cdot \lambda}{t_3}; & k < \mu \cdot t_3 \end{cases} \quad (2.62)$$

При цьому швидкість проїзду потоку автомобілів повз зупинку залежить від кількості автомобілів у черзі на дозволяючий сигнал. Необхідно розрахувати скільки автомобілів з черги в k автомобілів, проїде перехрестя на дозволяючий сигнал світлофора. Для цього було визначено – час виїзду i -го автомобіля в черзі, який останнім проїде на дозволяючий сигнал перехрестя, як суму часу до початку руху i -го автомобіля $(i-1)\Delta t$ та часу рівноприскореного руху автомобіля $t_{np}(i)$ з прискоренням a_1 до виїзду на перехрестя. При цьому i -й автомобіль повинен проїхати відстань l_i . Для визначення можливої кількості автомобілів, що проїхали на дозволяючий сигнал необхідне виконання умови, час $t_{np}(i)$ повинне бути максимальним, але не більше t_3 . Останній автомобіль у черзі який виїде на перехрестя за час t_3 можна визначити як

$$i_{np} = \max_{1 \leq i \leq k} \{i : (i-1)\Delta t + t_{np}(i) \leq t_3\}. \quad (2.63)$$

Час рівноприскореного руху автомобіля

$$t_{np}(i) = \sqrt{\frac{2 \cdot l_i}{a_1}}, \quad (2.64)$$

де

$$l_i = i \cdot (l_a + d). \quad (2.65)$$

При цьому може бути дві ситуації:

Не всі автомобілі із черги за час t_3 виїдуть на перехрестя, тобто $i \leq k-1$, рис. 2.16.

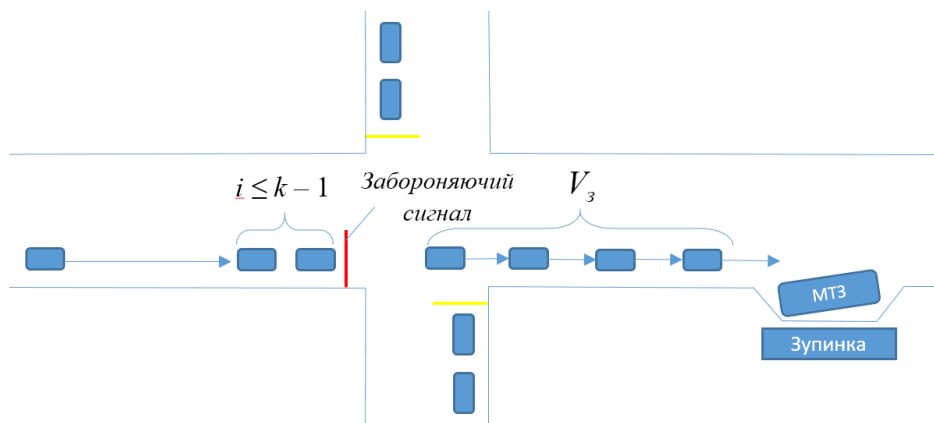


Рис. 2.16. Виїзд МТЗ з ЗП на забороняючий сигнал світлофора за умові, коли кількість автомобілів $i \leq k - 1$

У цьому випадку було визначено середню швидкість автомобілів, що проїхали через перехрестя в момент проїзду повз МТЗ на зупинці по формулі

$$V_p = \frac{l_n + l + \frac{i_{np}(l_a + d)}{2}}{t_{np(i)}}, \quad (2.66)$$

де l – довжина шляху від перехрестя до початку зупиночного пункту, м;

l_n – довжина перехрестя, м.

Виходячи з формули (2.66) було визначено швидкість потоку на дозволяючий сигнал

$$V_3 = \min \{V_0 ; V_p \}. \quad (2.67)$$

1.2. Усі автомобілі з черги довжиною k проїдуть перехрестя за час t_3 , тобто $(k-1)\Delta t + t_{np}(k) \leq t_3$, в цій сумі ліворуч перший доданок означає час початку руху останнього автомобіля в черзі $(k-1)\Delta t$, а другий доданок є час рівноприскореного руху $t_{np}(k)$ із прискоренням a_1 на відстань L , рис. 2.17.

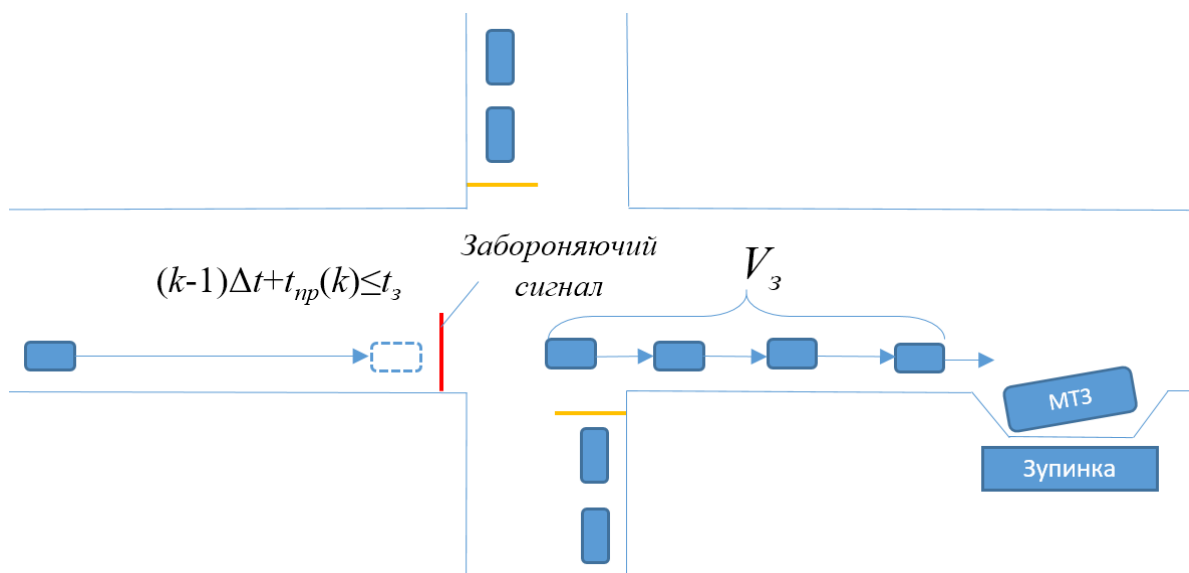


Рис. 2.17. Виїзд МТЗ з ЗП на забороняючий сигнал світлофора, коли всі автомобілі в черзі довжиною k проїдуть перехрестя

Тоді швидкість проїзду останнього автомобіля із черги на дозволяючий сигнал повз ЗП матиме вид

$$V_p = \frac{l_n + l + \frac{k(l_a + d)}{2}}{t_{np}(k)}. \quad (2.68)$$

При цьому час рівноприскореного руху можна знайти як

$$t_{np}(k) = \sqrt{\frac{2 \cdot L}{a_1}}. \quad (2.69)$$

$$L = k \cdot (l_a + d) + l_n + l. \quad (2.70)$$

Якщо швидкість $V_p > V_0$, тоді $V_3 = V_0$. Якщо швидкість $V_p < V_0$, тоді V_3 визначається, як середньозважене за часом двох швидкостей V_p з коефіцієнтом $t_{np}(k)$ і V_0 з коефіцієнтом $(t_3 - t_{np}(k))$

$$V_3 = \frac{V_p \cdot t_{np}(k) + V_0 \cdot (t_3 - t_{np}(k))}{t_3} = \frac{V_0 \cdot t_3 - t_{np}(k) \cdot (V_0 - V_p)}{t_3}. \quad (2.71)$$

2. У момент готовності виїзду МТЗ з ЗП увімкнено дозволяючий сигнал для автомобілів, які рухаються з прилягаючої вулиці здійснюючи поворот у бік ЗП, рис. 2.18.

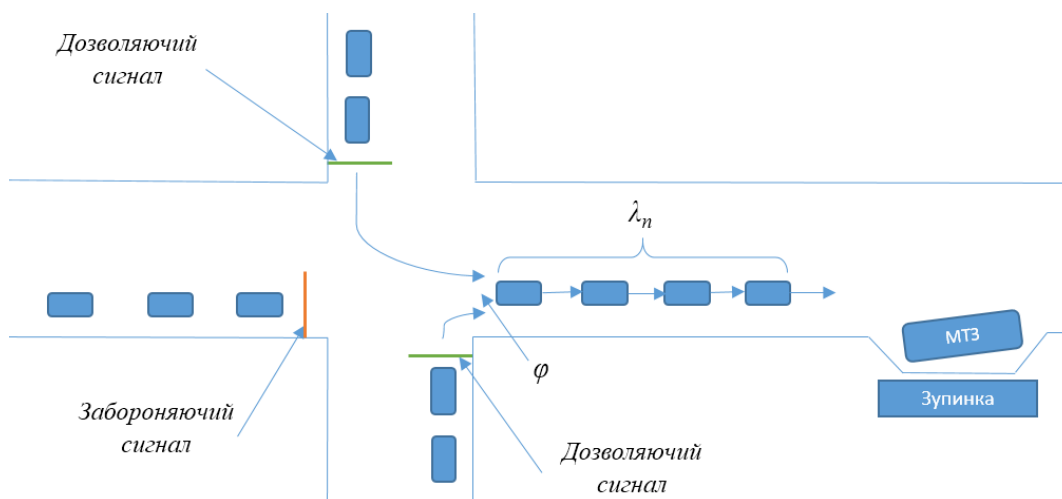


Рис. 2.18. Виїзд МТЗ з ЗП, коли увімкнено дозволяючий сигнал для автомобілів, які здійснюють поворот у бік руху МТЗ.

Інтенсивність цього потоку автомобілів, що повертають, λ_n заміряється в момент їх появи на лінії руху МТЗ після здійснення повороту в точці (φ) швидкість руху в цей момент було позначено через V_n . Після цього моменту рух автомобілів, що повернули, може бути рівноприскореним із прискоренням a_1 . При цьому час, за який автомобілі досягнуть зупинки після здійснення повороту, яка розташована на відстані l від перехрестя можливо знайти з формули рівноприскореного руху.

$$l = V_n \cdot t + \frac{a_1 t^2}{2}. \quad (2.72)$$

Із цього квадратного рівняння за допомогою дискримінанту час t матиме вид

$$t = \frac{-V_n + \sqrt{V_n^2 + a_1 2l}}{a_1}. \quad (2.73)$$

З формули (2.73) швидкість руху цих автомобілів біля зупиночного пункту V_n дорівнює

$$V_n = V_n + a_1 t. \quad (2.74)$$

У даному випадку при розрахунку швидкості руху автомобілів, які здійснюють поворот V_n з прилеглої вулиці припускається, що маневр всі автомобілі виконують з однаковою швидкістю V_n .

З вище наведеного середній час затримки виїзду МТЗ з зупиночного пункту матиме вид

$$\bar{t}_y(V_n(l, k, a_1)) = \frac{1}{\lambda_n} \left\{ (e^{\lambda_n \tau_y(V_n, \lambda_n)} - 1) \right\} - \tau_y(V_n, \lambda_n), \quad (2.75)$$

де λ_n – інтенсивність потоку автомобілів, що повертають, авт/с.

По формулі повної ймовірності середній час затримки виїзду МТЗ з ЗП за перехрестям буде мати вигляд

$$\bar{T}_3 = \frac{t_3}{t_y} \left\{ \sum_{k=0}^{K_0} P_k \cdot \bar{t}_3(\lambda_3(k)) \right\} + \frac{t_y}{t_y} \cdot \bar{t}_y(V_n(l, k, a_1)), \quad (2.76)$$

Обмеженням для одержаних функцій (2.52) та (2.76) буде довжина кількості автомобілів на перегоні

$$k < \frac{L_{ng} - l_{av} - \frac{V_i^2}{2a}}{l_a}, \quad (2.77)$$

де L_{av} – довжина МТЗ, м;

L_{ng} – довжина перегону, м.

Отримані залежності дозволяють розраховувати час затримки МТЗ для вирішення поставлених в дисертаційній роботі питань.

2.2 Формування методики визначення місткостей транспортних районів

Основними завданнями експериментального дослідження для визначення матриці кореспонденцій є одержання вихідних даних для розрахунків місткостей ТР. При цьому об'єктами експериментальних досліджень є ТП, які змінюються в часі на в'їздах до ЦЧМ, інтенсивність обміну автомобілів на парковці та їх щільність. Достовірні відомості про об'єкт можна одержати тільки в результаті натурних спостережень (експериментів при фактичних умовах функціонування). Якщо транспортна система складна така, як ЦЧМ Харкова, то для точної оцінки характеристик потрібне величезна кількість експериментів. Ресурси (людські, технічні й ін.), необхідні для проведення всіх необхідних експериментів, навіть з обмеженою тривалістю досліджень дослідниками, періодом години пік, звичайно значно перевищують реальні можливості. Тому оцінити характеристики процесу функціонування системи можна тільки шляхом спільного використання натурних і модельних випробувань.

Розрахунок місткостей ТР починається з районування, тобто розбиття досліджуваної території на ТР. Районування проводиться за наступними правилами:

пересування всередині ТР можуть здійснюватися пішки, а всі пересування між ТР зводяться до пересувань між їхніми центрами;

ріки, залізничні колії, яри та інші перешкоди, а також границі адміністративних районів міста служать природними границями ТР, і не повинні перебувати всередині нього;

границі ТР не повинні ділити будинки, парки, заводські території;

границя ТР не може проходити по великим магістралям і повинна перетинати її під прямим кутом;

ТР повинні мати забудову з однаковою етажністю будинків.

Місткість ТР по прибуттю та відправленню автомобілів можна визначити за наступною залежністю

$$A_j = \sum_{i=1}^n Z_i^m + Z_j^d, \quad D_j = \sum_{i=1}^n Y_i^m + Y_j^d, \quad (2.78)$$

де A_j – місткість прибуття автомобілів до j -го ТР, од.;

D_j – місткість відправлень автомобілів з j -го ТР, од.;

Z_i^m - кількість автомобілів, що прибувають до i – й ділянки ВДМ, од.;

Z_j^d – кількість автомобілів, що прибувають до місць стоянки у дворах

житлових будинків j -го ТР, од.;

Y_i^m - кількості автомобілів, що від'їжджають з місць стоянки на i – й ділянці ВДМ, од.;

Y_j^d – кількості автомобілів, що від'їжджають з місць стоянки в дворах житлових будинків j -го ТР, од.

Інтенсивність обміну ТЗ є характеристикою ступеню використання елемента транспортної мережі. Вона складається з кількості автомобілів, які прибувають до певного транспортного елемента та від'їжджають з нього за певний проміжок часу, тобто інтенсивність з прибуття та відправлення.

Як елементи транспортної мережі виступають території для зберігання автомобілів [164], які поділяються на кілька типів за тривалістю знаходження на них автомобілів:

1. Автостоянки для постійного зберігання, на яких автомобілі зберігаються біля житлових будинків та у спеціально відведених місцях тривалістю більше 1 доби.

2. Автостоянки великої тривалості зберігання, на яких автомобілі зберігаються біля підприємств, установ і міських комплексів для розміщення автомобілів, що належать робітникам, службовцям і відвідувачам тривалістю більше 8 год.

3. Автостоянки середньої тривалості зберігання, на яких автомобілі зберігаються біля будинків і споруджень, що періодично збирають великі маси людей на період 2-4 год.

4. Автостоянки короткочасної тривалості зберігання, на яких автомобілі зберігаються біля узбіччя дороги тривалістю до 2 год.

Автостоянки для постійного зберігання та зберігання великої тривалості розташовуються на окремих ділянках та у дворах житлових будинків, підприємств, установ і заводів. З іншого боку автостоянки середньої та короткочасної тривалості зберігання знаходяться переважно на узбіччі проїзної частини ВДМ. Враховуючи вищенаведене, для досліджень, що проводяться, найбільш важливими є автостоянки середньої тривалості зберігання 2 – 4 год. та автостоянки короткочасної тривалості зберігання до 2 год. Ці два види автостоянок переважають в ЦЧМ, та потребують специфічних підходів до їх вивчення.

За допомогою відношення середньої кількості автомобілів, що приїжджають на 100 м дорожнього полотна до середньої кількості зайнятих місць стоянки було визначено кількість автомобілів, що паркуються за такою залежністю

$$Z_i^m = \frac{F_m}{R_m} \cdot A_i^m, \quad Z_j^d = \frac{F_d}{R_d} \cdot A_j^d, \quad (2.79)$$

де F_m – середня кількість автомобілів, що приїжджають на досліджувані ділянки ВДМ під час проведення спостережень, од.;

F_d – середня кількість автомобілів, що приїжджають на досліджувані ділянки дворів житлових будинків під час проведення спостережень, од.;

R_m – середня кількість автомобілів, які припарковано на ВДМ під час проведення спостережень, од.;

R_d – середня кількість автомобілів, які припарковано у дворі житлового будинку під час проведення спостережень, од.;

A_i^m , – середня кількість автомобілів, які припарковано протягом двох годин на i -й ділянці ВДМ, од.;

A_j^d , – середня кількість автомобілів, які припарковано протягом двох годин в j -м ТР, од

Аналогічно проводяться розрахунки кількості автомобілів, що від'їжджають з місць стоянки

$$Y_i^m = \frac{S_m}{R_m} \cdot A_i^m, \quad Y_j^d = \frac{S_d}{R_d} \cdot A_j^d, \quad (2.80)$$

де S_m – середня кількість автомобілів, що від'їжджають з досліджуваних місць стоянки на ВДМ під час проведення спостережень, од.;

S_d – середня кількість автомобілів, що від'їжджають з досліджуваних місць стоянки в дворах житлових будинків під час проведення спостережень, од.

Відносно щільності паркування на ВДМ можливо визначити середню кількість автомобілів, що припарковано протягом двох годин

$$A_i^m = \Pi_i^m \cdot l_i, \quad A_j^d = \Pi_j^d \cdot P_j, \quad (2.81)$$

де Π_i^m – щільність стоянки автомобілів на i -й ділянці ВДМ, од./100м;

Π_j^d – щільність стоянки автомобілів в дворах j -го ТР, од./100м²;

l_i – довжина i – й ділянки ВДМ, м;

P_j – середня площа місць стоянки автомобілів в дворах житлових будинків j – го ТР, м².

Розрахунки місткостей транспортних районів є першим кроком для кількісного аналізу величини й структури пересувань автомобілів на ВДМ. При цьому в разі виникнення нерівності кількості прибуваючих та від'їжджаючих автомобілів в сумарних місткостях ТР для подальших розрахунків стає необхідним проведення їх корегування.

2.3 Теоретичні основи корегування сумарних місткостей транспортних районів та розрахунку матриці кореспонденцій

Матриці кореспонденції є найважливішою інформацією, що характеризує розподіл ТП між ТР міста, і широко використовуються в транспортному плануванні й проектуванні ОДР. Розрахунок матриці кореспонденцій базується на всіх наявних відомостях про

систему, отриманих в ході попередніх досліджень, при проведенні натурних спостережень.

Вихідною інформацією для розрахунку матриці кореспонденцій для даних моделей є місткість відправлення та прибуття автомобілів у кожному ТР. Оскільки натурні спостереження для визначення місткостей ТР проводяться в обмеженому числі точок у заданий проміжок часу, то місткості ТР зазвичай потребують коректування. Це викликано тим, що для розрахунку матриці кореспонденцій необхідним є строге виконання умови рівності загальної кількості автомобілів, що прибувають і від'їжджають [165]

$$\sum_{j=1}^n D_j = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (2.82)$$

де n – кількість ТР.

Слід зазначити, що на практиці умову (2.81) складно досягти, через особливості проведення натурних спостережень і динамічність структури об'єкта дослідження, при якій кожне пересування починається та закінчується в різні періоди часу. При цьому вихідні дані, які не задовольняють умові (2.81), в загальному випадку коректуються за допомогою деяких постійних коефіцієнтів [166, - 168]. Коректування вихідних даних таким способом не дозволяє виявити дійсні причини виникнення дисбалансу, що не дає можливості створити достовірну модель попиту на пересування. Щоб сформулювати обґрунтовані рекомендації з корегування місткостей ТР шляхом усунення їх дисбалансу спочатку необхідно визначити можливі причини виникнення такого дисбалансу, до яких можна віднести:

- системні – об'єкт дослідження має складну динамічну структуру, для якої характерна безперервність і стохастичність процесу переміщення автомобілів упродовж доби (тобто прибуття та відправлення автомобілів здійснюється в різний час), що приводить до постійно змінюючихся результатів моделювання;

- технологічні – при проведенні натурних спостережень можуть виникати помилки та погрішності, пов'язані з технологією проведення вимірів, точністю технічних засобів виміру та людським фактором;

- організаційні – проведення натурних спостережень різними методами призводить до одержання різнотипної статистичної інформації, що найчастіше ставиться до різних періодів часу, що не дозволяє охопити всіх станів об'єкта.

Технологічні і організаційні причини виникнення дисбалансу місткостей ТР зазвичай викликані прагненням спростити проведення натурних обстежень, чого при достатніх ресурсах можна уникнути.

Системні причини обумовлені динамічною структурою самого об'єкта дослідження, у якому процес переміщення автомобілів характеризується зміною положення в часі та просторі. Системною причиною виникнення дисбалансу також являються різні підходи до формування місткостей ТР, які в будь-якій моделі поділяються на два класи: внутрішні (звичайні) та граничні (транзитні). Останні, в чистому вигляді, не мають власної території, а описують точки на ділянках ВДМ, що відокремлюють територію об'єкта дослідження від його транспортного оточення. Тому, якщо місткості внутрішніх ТР визначаються на основі постійних характеристик територій, які вони описують в транспортній моделі, то місткості граничних ТР формуються на основі спостережень за ТП, що проходять через межі об'єкту моделювання. Ще одною системною причиною виникнення дисбалансу місткостей ТР є випадковий характер процесів, пов'язаних з переміщеннями автомобілів, що призводить до результатів моделювання, які постійно змінюються, тому повна відповідність кількості відправлень та прибуттів за певний час може бути отримана лише випадково.

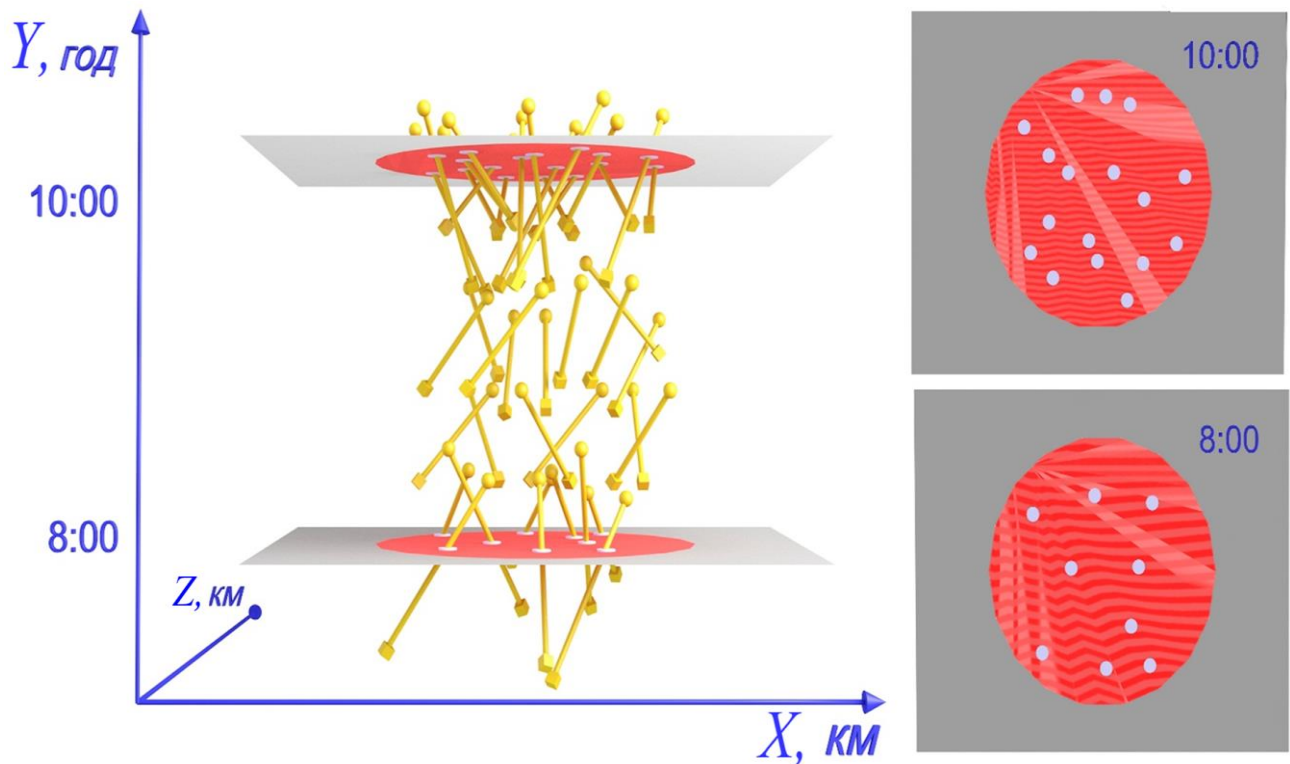
Головною особливістю об'єкту дослідження є неможливість простежити за маршрутом руху кожного автомобіля в місті. Тому спостереження проводились за трьома подіями: відправленням, рухом і прибуттям автомобіля. При цьому маршрут руху автомобілів залишався невідомим.

Наявність невідповідностей між місткостями ТР пояснюється існуванням двох інших системних причин дисбалансу, які призводять до того, що відправлення автомобілів до початку досліджуваного періоду, та їх прибуття після його закінчення, не можуть бути зафіксовані.

Дисбаланс сумарних місткостей ТР особливо помітний, якщо натурні спостереження проводяться неповну добу, що при досить великому об'єкті дослідження є єдино можливим методом одержання

інформації про ТП. При такій формі проведення дослідження повна фіксація всіх трьох подій (відправлення, рух і прибуття) відбувається лише в тому випадку, якщо всі три події зроблені автомобілем у проміжку між початком і закінченням натурних спостережень. Якщо відправлення та прибуття автомобілів відбувається в межах однієї території, або об'єкту моделювання, або його оточення, це ніяким чином не впливає на ступінь збалансованості місткостей ТР. Але, якщо автомобіль розпочинає поїздку з досліджуваного району, а закінчує її за його межами, або навпаки, неможливість фіксації початку або закінчення поїздки поза періодом спостереження може призводити до суттєвих розбіжностей між місткостями ТР з відправлення та прибуття. Це також стосується транзитних поїздок через досліджуваний район, якщо автомобіль знаходився на його території у момент початку або закінчення обстеження. Тому наявність невіпадкових розбіжностей між місткостями ТР пояснюється існуванням двох інших системних причин дисбалансу, які призводять до того, що відправлення автомобілів до початку досліджуваного періоду, та їх прибуття після його закінчення, не можуть бути зафіксовані.

Взагалі, ті автомобілі, що знаходяться на транспортній мережі досліджуваного району, характеризують часові межі розглянутого періоду моделювання, так як один з часових параметрів: момент початку або закінчення поїздки, відноситься до періоду проведення обстеження, а інший знаходиться поза ним. Кількість цих автомобілів на момент початку обстеження є частиною місткостей ТР з відправлення, на момент закінчення – місткостей з прибуття. Тому, якщо на моменти початку та закінчення обстеження на транспортній мережі досліджуваного району знаходилася різна кількість автомобілів, між сумарними місткостями ТР з прибуття та відправлення автомобілів вочевидь буде існувати дисбаланс, викликаний саме цією різницею. Це добре ілюструється рисунком 2.19, який зображає переміщення автомобілів у часі та просторі, а коло обмежує досліджуваний район.



● – прибуття автомобіля; ■ – відправлення автомобіля;

Рис. 2.19. Кількість автомобілів на мережі на початку та кінці проведення натурних спостережень

Площа простору з постійним часом показує кількість автомобілів, які знаходяться на транспортній мережі, що моделюється в цей час. Якщо провести площі в моменти початку та закінчення спостережень за кількістю автомобілів, що прибувають та від'їжджають, то на них буде відображатися кількість автомобілів, які рухаються в той момент по транспортній мережі району досліджень та не охоплені обстеженням, хоча й є частиною місткостей ТР.

Слід зазначити, що дисбаланс між прибуттям і відправленням у сумарних місткостях виникає, коли кількість неврахованих автомобілів переважає на початку або кінці проведення досліджень, рис. 2.19. У першу чергу, це пов'язано з нерівномірністю інтенсивності та щільності автомобілів на мережі по годинам доби. Оскільки найбільш суттєві коливання щільності ТП спостерігаються протягом доби, самим кардинальним способом подолання системних причин виникнення дисбалансу місткостей є початок та закінчення

обстеження в один й той же час доби. Тоді з усіх системних причин залишаються лише коливання щільності ТП по днях тижня та випадковий характер процесів, пов'язаних з переміщеннями автомобілів. Тобто невідповідності системні причини дисбалансу місткостей шляхом цілодобового спостереження можуть бути зведені практично до нуля. Але найзначні коливання навантаження на транспортну мережу обумовлюють доцільність вирішення значної кількості задач, пов'язаних з організацією роботи транспорту в досліджуваному районі, для найбільш навантаженого, пікового періоду. А матриця кореспонденцій повинна відображати потреби у пересуваннях протягом саме досліджуваного періоду пік, тому й період проведення обстеження визначається межами пікового періоду. Для цього випадку усунення невідповідностей системних причин дисбалансу місткостей ТР неможливе, тому необхідно використання інших інструментів їхнього врахування.

З вище сказаного виходить що, різниця між сумами місткостей ТР по прибуттю та відправленню зводиться до різниці кількості автомобілів, які перебували на ВДМ у момент початку та закінчення натурних обстежень. При цьому автомобілі, які знаходяться на мережі на початку проведення спостережень будуть відповідати автомобілям, які відправляються, а автомобілі, які знаходяться на мережі в кінці проведення спостережень будуть відповідати автомобілям які прибувають.

$$\Delta = A_n - D_n, \quad (2.83)$$

де D_n – кількість автомобілів на транспортній мережі в кінці проведення натурних спостережень, од.;

A_n – кількість автомобілів на транспортній мережі на початку проведення натурних спостережень, од.

Кількість автомобілів на ВДМ можна визначити, як добуток середньої щільності ТЗ на довжину транспортної мережі.

$$D_n = \sum_{i=1}^m \rho_d \cdot L_i^s \cdot n_i^s \cdot k_s, \quad A_n = \sum_{i=1}^m \rho_a \cdot L_i^s \cdot n_i^s \cdot k_s, \quad (2.84)$$

де ρ_d, ρ_a – середня щільність автомобілів на ВДМ, на початку та в кінці спостережень, авт/км;

L_i^s – довжина i – й ланки ВДМ, км;

n_i^s - кількість смуг руху на i – й ланці ВДМ, од.;

k_s - коефіцієнт розосередження автомобілів по смугам руху,

$k_s = 0,6$, при $n_i^s = 1$, $k_s = 1$.

Змістовний сенс невивадкових системних причин дисбалансу місткостей ТР вимагає включити в розрахунки матриці кореспонденцій для пікового періоду додатковий умовний транспортний район (УТР) "Транспортна мережа" який відображає наявність автомобілів, що рухаються на ВДМ у моменти початку та закінчення обстеження. Згідно з наведеними вище міркуваннями, місткістю УТР по відправленню є кількість автомобілів, що знаходились на ВДМ досліджуваного району в момент початку обстеження, а місткістю УТР по прибуттю – кількість автомобілів, що знаходились на ВДМ у момент закінчення обстеження. Збалансована за допомогою УТР "Транспортна мережа" МТК в укрупненому вигляді може бути представлена у табличному вигляді, табл. 2.1.

Кожний з основних осередків табл. 2.1 у розгорнутому виді являє собою відповідну МТК, в якій реалізуються внутрішні H_{dd} , внутрішньо-периферійні H_{ds} , H_{sd} та транзитні H_{ss} кореспонденції.

Таблиця 2.1

Укрупнена збалансована матриця кореспонденцій відправлення та прибуття автомобілів, авт/період*

Транспортні райони відправлення	Транспортні райони прибуття			Місткості відправлення, $D_{d,s,n}$
	A_d	A_s	A_n	
D_d	H_{dd}	H_{ds}	H_{dn}	$\sum_{j=1}^n H_{ij}$
D_s	H_{sd}	H_{ss}	H_{sn}	$\sum_{j=1}^n H_{ij}$
D_n	H_{nd}	H_{ns}	H_{nn}	$\sum_{j=1}^n H_{ij}$
Місткості прибуття, $A_{d,s,n}$	$\sum_{i=1}^n H_{ij}$	$\sum_{i=1}^n H_{ij}$	$\sum_{i=1}^n H_{ij}$	Q / Q

* d – індекс центральних районів, s – індекс периферійних районів, n – індекс транспортної мережі.

Математично укрупнену збалансовану матрицю кореспонденцій з табл. 2.1 можливо записати як

$$A = \{H_{kr}\} \quad (2.85)$$

де k, r – індекси ТР (d, s, n), $k = 1, \dots, m$, $r = 1, \dots, m$;

m – кількість ТР, од.;

H_{kr} – складова матриця.

У свою чергу складова матриця представляється як:

$$H_{kr} = \{h_{ij}^{kr}\} \quad (2.86)$$

де h_{ij}^{kr} - кореспонденція складової матриці, авт.;

i, j – індекси рядка та стовпця складової матриці, $i = 1, \dots, m_{kr}$,
 $j = 1, \dots, m_{kr}$.

Матриця у вигляді (2.85) має згорнутий вигляд і використовується на етапі коректування нерівності сумарних місткостей прибуття та відправлення автомобілів. У свою чергу, розгорнутий її вид при якому повністю розписуються всі її складові матриці H_{kr} необхідний для розрахунку кореспонденцій поїздок на автомобілі. Які в подальшому використовуються в якості вхідної інформації для моделювання ТП на ВДМ.

У загально прийнятому розумінні МТК повинна відображати потреби населення у переміщеннях на індивідуальному або громадському транспорті між ТР, які заздалегідь сформовані для дослідження ТП. Слід також зазначити, що транспортна система характеризується складною поведінкою в наслідок нерегулярного, стохастичного розподілу часу виникнення зовнішніх збурювань, а також складними взаємозв'язками, коли зміна однієї змінної призводить до зміни багатьох інших [169 - 172].

На практиці процес формування пари " житло-робота" носить випадковий характер [77]. У зв'язку із цим, значення кореспонденції можна представити у вигляді наступної функції

$$h_{ij} = f(D_i, A_j, c_{ij}), \quad (2.87)$$

де c_{ij} – випадкові фактори.

При цьому система обмежень має наступний вигляд

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n h_{ij} = D_i, \\ \sum_{i=1}^n h_{ij} = A_j, \\ \sum_{i=1}^n D_i = \sum_{j=1}^n A_j = Q, \\ D_i, A_j > 0, \end{cases} \quad (2.88)$$

де n – кількість ТР, од.;

Q – загальна кількість поїдок, од.

При включенні у розрахунок УТР стає неможливим врахування впливу відстані на ймовірність виконання поїздки при $(k, r) \neq (s:s)$. Виходячи з цього в роботі функцію тяжіння пропонується визначати на основі ймовірнісного підходу [173]

$$c_{ij}^{kr} = p_i \cdot p_j, \quad (2.89)$$

де p_i – ймовірність відправлення з i – го ТР;

p_j – ймовірність прибуття в j - ий ТР.

$$p_i = D_i / Q, \quad p_j = A_j / Q, \quad (2.90)$$

На відміну від [173] розрахунок коефіцієнтів тяжіння для транзитних потоків визначається через ймовірність їх проїзду через центр міста. Для цього будуються два найкоротших маршрути, що з'єднують кожну пару периферійних ТР досліджуваного району. Один проходить через центр, а інший обминає його по периферії. У кожному випадку виявляється мінімальний із двох і щодо більшого визначається ймовірність проїзду транзитом, рис. 2.20.

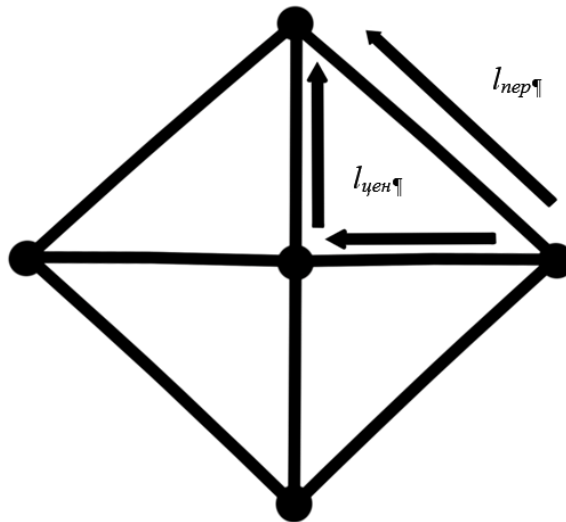


Рис. 2.20. Схема можливого руху автомобілів

Коефіцієнти тяжіння для транзитних потоків при $(k, r) = (s:s)$ визначаються за формулою

$$c_{ij}^{ss} = f(l_{пер}, l_{цен}) \begin{cases} \frac{0,5l_{пер}}{l_{цен}}, & 0 < l_{цен} \leq l_{пер} \leq 2l_{цен}; \\ 1, & l_{пер} > 2l_{цен} > 0; \\ 1 - \frac{0,5l_{цен}}{l_{пер}}, & 0 < l_{пер} \leq l_{цен} \leq 2l_{пер}; \\ 0, & l_{цен} > 2l_{пер} > 0. \end{cases} \quad (2.91)$$

де $l_{пер}$ – довжина маршруту руху автомобіля між периферійними районами минаючи центральні, км;

$l_{цен}$ – довжина маршруту руху автомобіля через центральні райони, км.

За допомогою одержаної функції тяжіння можливо знайти кореспонденції за наступною залежністю

$$h_{ij} = Q \cdot c_{ij}^{kr}. \quad (2.92)$$

Відповідно до цілей даної роботи подальший розрахунок інтенсивності руху транспорту на ВДМ ЦЧМ Харкова буде виконуватися в програмі VISUM. При цьому поступове збільшення кореспонденцій в розрахованій матриці дасть змогу спрогнозувати

інтенсивність руху автомобілів при збільшені кількості поїздок між кожною парою кореспондуючих районів.

Висновки

Аналітичне моделювання часу затримки МТЗ при виїзді з ЗП, засноване на використанні даних про параметри ВДМ, організації світлофорного регулювання та інтенсивності руху ТЗ, дозволило отримати залежності для розрахунку часу затримки для можливих варіантів розташування ЗП відносно регульованого перехрестя.

При формуванні аналітичних моделей за основу було прийнято припущення, що потік ТЗ біля зупинки є стаціонарним та кількість автомобілів, що проїжджають біля зупинки розподіляється за законом Пуассона, а інтервали між автомобілями за показниковим законом. Таке припущення потребує обов'язкової експериментальної перевірки адекватності моделей.

Розроблена методика визначення місткостей ТР дозволяє знизити трудомісткість натурних спостережень, оскільки не включає анкетування водіїв ТЗ, а також припускає використання вибіркового дослідження кількості прибуваючих та від'їжджаючих автомобілів та щільності їх стоянки.

Головними причинами виникнення нерівності сумарних місткостей ТР являються системні, технологічні і організаційні. При високій інтенсивності взаємодії досліджуваного об'єкту з його оточенням системні причини, а саме неможливість фіксації початку або закінчення поїздок поза періодом спостереження, виходять на перший план та можуть призводити до суттєвого дисбалансу місткостей ТР.

Шляхом вирішення проблеми дисбалансу між сумарними місткостями ТР з прибуття та відправлення автомобілів є включення в розрахунки матриці кореспонденцій для досліджуваного періоду додаткового УТР "Транспортна мережа", який відображає наявність автомобілів, що рухаються на ВДМ досліджуваного району в моменти початку та закінчення обстеження.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ТА ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ

Для проведення експериментальних досліджень раціонального розміщення ЗП в роботі було обрано транспортну мережу та мережу зупинок в ЦЧМ Харкова. Це обумовлене радіально-кільцевою забудовою міста в якій більшість поїздок здійснюються в центр або через центр, що призводить до його значного перенасичення ТП та негативно впливає на рух транспорту. Тому визначення величини ТП, а також прогнозування їх на майбутнє допоможе більш ефективно спланувати розміщення ЗП. Для прогнозування ТП не достатньо проводити розрахунки лише для окремих вулиць на яких розташовані зупиночні пункти. Так як це повністю виключає варіативність маршрутів, які обирають водії індивідуального транспорту. Тому більш доцільним буде проводити прогнозування для всієї центральної частини міста.

Однак визначити чіткі границі ЦЧМ у більшості випадків дуже складно. Існують лише загальні вказівки [27], згідно з якими питома вага території для системи загальноміського центру і його основних елементів у балансі територій міста становить 3,5 – 8 відсотків від загальної площі міста. В цьому відношенні територія ЦЧМ Харкова має унікальне географічне розташування, при якій її границі достатньо чітко відділені природними перешкодами: береговою лінією рік Лопань і Харків, а також Саржиним Яром і Журавлівським спуском. Ці природні межі окреслюють центральний район, площа якого становить 12,25 км², що складає 3,5% від загальної площі території міста. Таке розташування значно спрощує контроль за прибуттям і відправленням автомобілів у ЦЧМ, тому що більшість таких поїздок здійснюється через обмежену кількість мостів вище названих рік або інших перешкод, рис. 3.1.

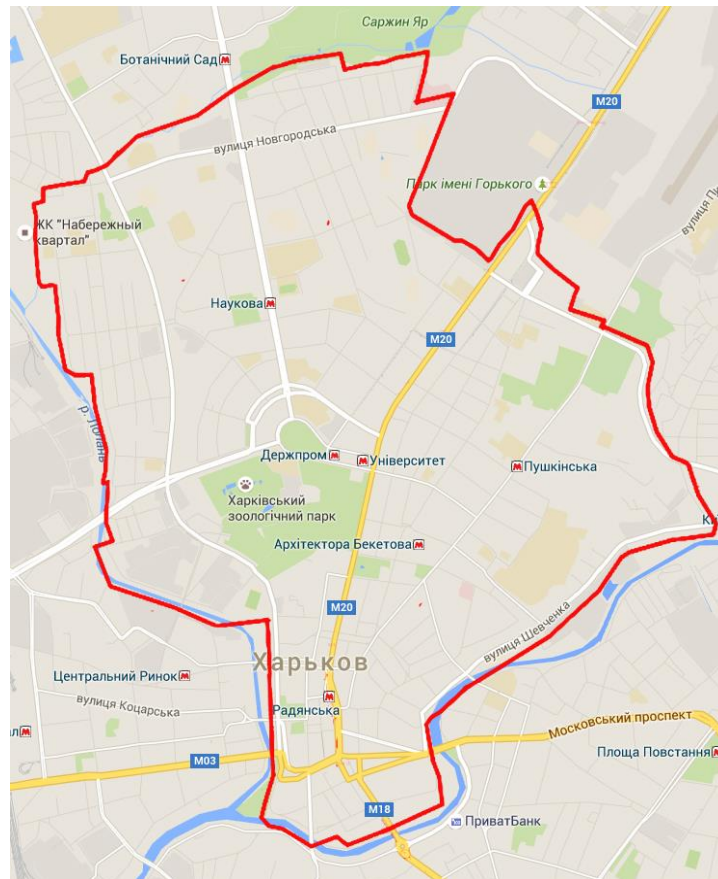


Рисунок 3.1 – Межі центральної частини м. Харкова

3.1 Побудова транспортної моделі центральної частини м. Харкова

Для проведення прогнозування інтенсивності та швидкості ТП в роботі було використано програмний продукт PTV VISION VISUM. Програма VISUM на сьогодні є ведучою в сфері транспортного моделювання, а її широке поширення у світі доводить її ефективність та практичну значимість. Програма VISUM базується на побудові моделі мережі та в якості вхідної інформації використовує модель попиту. При цьому модель мережі містить транспортні системи (громадського, індивідуального транспорту і т.д.), транспортні вузли (перехрестя), відрізки (ділянки дороги від одного вузла до іншого) ЗП громадського транспорту, транспортні райони, примикання (віртуальні відрізки для зв'язку центру району з мережею через транспортні вузли й зупиночні пункти), маршрути громадського транспорту.

В роботі для побудови моделі ЦЧМ Харкова доцільно поділити цю територію на 15 транспортних районів, які в подальшому названі внутрішніми транспортними районами (ВТР). ВТР визначають межі проведення натурних обстежень і групують територію по видах і ступеню щільності забудови, що призводить до їх неоднакової площі. Так як об'єкт дослідження є центром міста, а його оточують периферійні райони, то в цьому випадку до моделі ЦЧМ Харкова також було добавлено 15 периферійних районів. На відміну від ВТР, периферійні розміщаються на виїздах і в'їздах до району дослідження і служать для опису взаємозв'язку об'єкту моделювання з навколишньою територією. При цьому 15 периферійних районів цілком достатньо, щоб повністю покрити всі в'їзди до ЦЧМ Харкова. Слід зазначити, що периферійні ТР є точками обміну ТП між районом дослідження та периферією, а не ТР в загальноприйнятому розумінні, рис. 3.2.

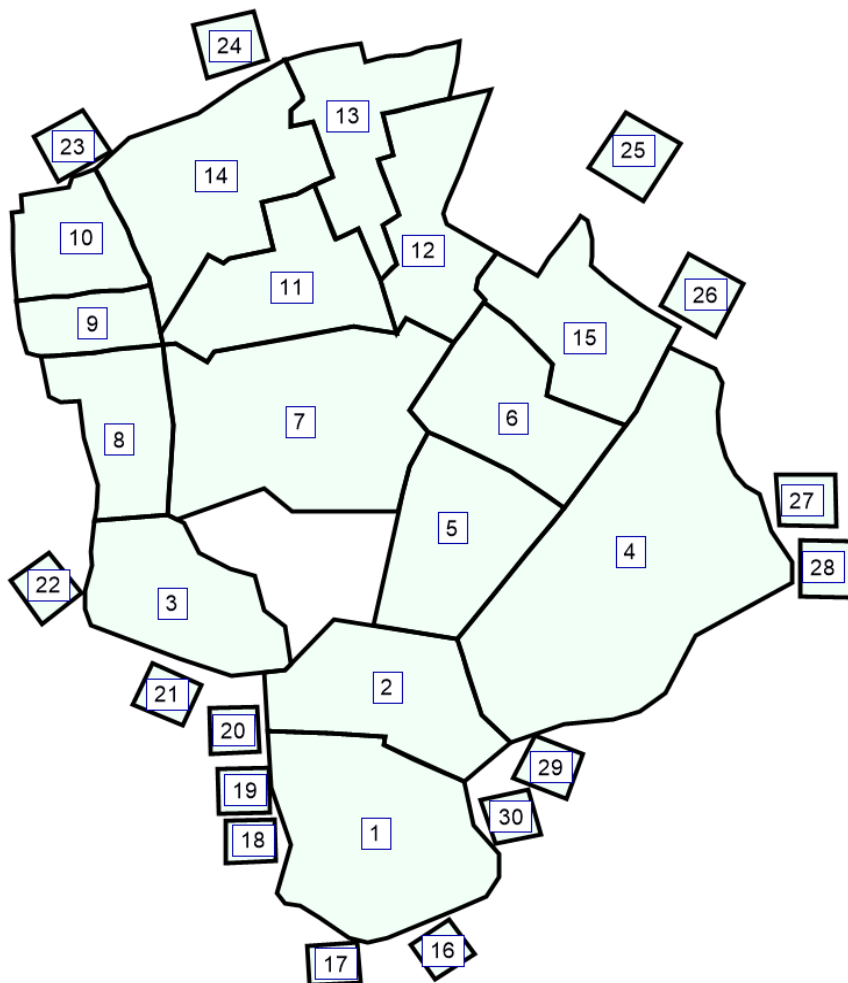


Рис.3.2 Розділення ЦЧМ Харкова на ТР

В програмі VISUM було побудовано модель транспортної мережі, яка складається з 509 відрізків сумарна довжина яких становить 240 км (рис. 3.3). Також до баз даних програми VISUM по кожному з відрізків була занесена інформація: назва вулиць, кількість смуг, гранична швидкість руху, гранична пропускна здатність дороги та дозвіл на одно або двосторонній рух. На кожному вузлі зазначаються правила проїзду перехрестя тобто дозволи на здійснення повороту. Назви вулиць та перехресть з кодовими номерами представлено у [174].

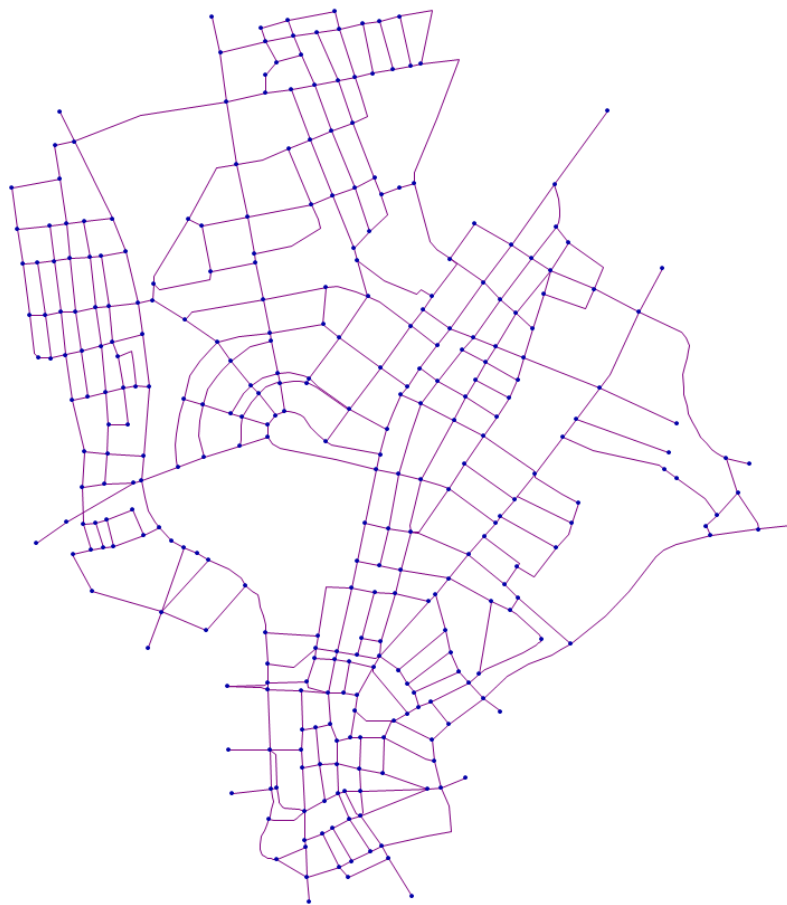


Рис.3.3 Дорожня мережа ЦЧМ Харкова

Побудована в програмі VISUM модель дозволяє визначити інтенсивності та швидкість руху ТП на найбільш завантажених вулиць ЦЧМ Харкова, а також як ці параметри змінтимуться в залежності від підвищення рівня транспортних кореспонденцій, що в подальшому дозволить виявити границі ефективного застосування розробленого методу раціонального розташування ЗП.

3.2 Результати та обробка інформації для формування моделі попиту на пересування автомобілів

Завантаження ЦЧМ Харкова автомобілями тісно пов'язане з процесом паркування та накопичення автомобілів на стоянках. Найважливішими параметрами функціонування всіх видів автостоянок вважаються: інтенсивність використання одного місця паркування, середньодобове накопичення стоянки, тобто середня кількість зайнятих місць, а також середня щільність заповнення, тобто кількість зайнятих місць відносно довжини або площі стоянки. Для визначення зазначених параметрів було проведено два етапи спостережень. На першому, визначено інтенсивність обміну (кількість прибуваючих та від'їжджаючих автомобілів) та середнє наповнення стоянки, на другому – щільність паркування автомобілів.

Необхідно відзначити принципову неможливість проведення масштабних натурних спостережень в галузі макромодельовання транспортних систем. Ця неможливість визначена, матеріальними й трудовими витратами на проведення досліджень. У зв'язку з чим в роботі було проведено вибіркові обстеження, як інтенсивності обміну, так і щільності паркування автомобілів.

Важливим питанням при експериментальних дослідженнях дорожнього руху є забезпечення достатнього обсягу інформації, що дозволяє дати об'єктивну оцінку досліджуваного параметра. Для цього кількість спостережень було розраховано на одержання 95% надійності результатів при цьому адреси місць проведення досліджень обирались випадково.

При вибіркового дослідженні ТЗ реєструються в окремі періоди часу доби. Для визначення часу найбільшої концентрації інтенсивності обміну автомобілів було проведено загальне обстеження прибуття та відправлення автомобілів протягом робочого дня з 8⁰⁰ до 19⁰⁰ на ділянці дороги довжиною 100 м по вул. Пушкінській між вул. Маршала Бажанова та вул. Дарвіна (рис. 3.4, 3.5), результати яких представлені у [174].



Рис. 3.4. Приклади заповнення автомобілями місць паркування



Рис. 3.5. Прибуття та відправлення автомобілів з 8⁰⁰ до 19⁰⁰

Ділянка на вул. Пушкінській була обрана не випадково, так як вул. Пушкінська є одною з складних вулиць з точки зору ОДР, яка знаходиться в ЦЧМ. За результатами досліджень встановлено, що процес накопичення автомобілів на крайній правій смузї ВДМ займає малий проміжок часу та досягає максимуму з 8⁰⁰ до 10⁰⁰, а ступінь заповнення місць паркування має незначні коливання протягом періоду обстеження. Тому всі подальші спостереження інтенсивності використання місць паркування проводилися протягом двох годин (з 8⁰⁰ до 10⁰⁰). При цьому навіть якщо, спостереження проводити неповний робочий день за допомогою спостерігачів, ця задача все одно є трудомісткою, тому доцільним було замість спостерігачів використовувати відео спостереження. Це дозволило з мінімальними витратами ресурсів зібрати необхідну статистичну інформацію [174].

Для більш точних даних про інтенсивності обміну автомобілів окрім правої смуги відеоспостереження також проводилось у дворах житлових будинків та прилеглих територіях державних та комерційних установ [174].

Одним з наукових принципів теорії вибіркового методу є забезпечення достатнього числа спостережень. Теоретично необхідність дотримання цього принципу представлена в доказах граничних теорем теорії ймовірностей, які дозволяють встановити, який обсяг серій досліджень слід провести в загальному обсязі генеральної сукупності, щоб він був достатнім і забезпечував репрезентативність вибірки.

Зменшення стандартної помилки вибірки, а отже, збільшення точності оцінки завжди пов'язане зі збільшенням обсягу вибірки, тому вже на стадії організації вибіркового спостереження доводиться вирішувати питання про те, який повинен бути обсяг вибіркової сукупності, щоб була забезпечена необхідна точність результатів спостережень. Розрахунки необхідного обсягу вибірки визначається на підставі граничних помилок вибірки, що відповідають тому або іншому виду й способу відбору. Так, для випадкової повторної вибірки її обсяг дорівнює [175]:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (3.1)$$

де t – квантиль розподілу Стюдента, ($t = 1,96$);

σ – середньоквадратичне відхилення;

Δ – гранична помилка вибірки (приймаємо по відношенню до середнього 15 – 16 % для од. на 100 м та 24% для од. на 100 м²).

Після обробки проведених досліджень середня кількість прибуваючих та від'їжджаючих автомобілів були отримані результати, які представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Результати проведення спостережень кількості прибуваючих та від'їжджаючих автомобілів

Параметри	Кількість автомобілів		
	що приїжджають	що від'їжджають	що припарковано
Дослідження на ділянках ВДМ, од. на 100 м			
Середнє значення	32	20	8
Середньоквадратичне відхилення	20,34	13,15	5,73
Фактично проведена кількість спостережень	81	81	81
Необхідний обсяг спостережень	69	75	75
Дослідження в дворах житлових будинків та прилеглих територіях установ, од. на 100 м ²			
Середнє значення	0,49	0,52	
Середньоквадратичне відхилення	0,35	0,33	
Фактично проведена кількість спостережень	36	36	
Необхідний обсяг спостережень	34	26	

Також в ЦЧМ Харкова є місця скупчення великої кількості автомобілів, на площах, яких влаштовані автомобільні стоянки зі значною кількістю місць для паркування та гаражні кооперативи. Оскільки таких місць в ЦЧМ Харкова дорівнює чотирьом, кількість прибуваючих та від'їжджаючих автомобілів визначалося окремо для кожної ділянки табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Кількість прибуваючих та від'їжджаючих автомобілів на стоянках зі значною кількістю місць для паркування та гаражних кооперативах

Параметри	Кількість автомобілів од./2год.	
	що приїжджають	що від'їжджають
вул. Шатилова Дача, 9	39	62
проїзд Рогатинський, 3	28	54
пров. Фанінський, 3	16	28
вул. Пушкінська, 83	32	43

Для визначення щільності паркування автомобілів було використано метод фото фіксації ділянок ВДМ за період доби з 8⁰⁰ до 10⁰⁰ [174]. Ділянки для спостереження обирались випадково. Для проведення даного дослідження спостерігач прибував на зазначену вулицю і фотографував автомобілі, які припарковано на крайній правій смузі, рис 3.6.



Рис.3.6 Елементи фото фіксації ділянок ВДМ

Аналогічним чином також було визначено щільність паркування автомобілів в дворах жилих будинків та на територіях для паркування установ, де також було проведено фото фіксацію автомобілів, які припарковано [174].

Після обробки результатів спостережень було встановлено вид закону розподілу. Параметри закону розподілу щільності паркування автомобілів оцінювалися за допомогою методу максимальної правдоподібності [176], гіпотеза про відповідність емпіричного та теоретичного розподілу перевірялася за допомогою критеріїв Пірсона й Колмогорова – Смірнова, рис. 3.7, 3.8, [177].

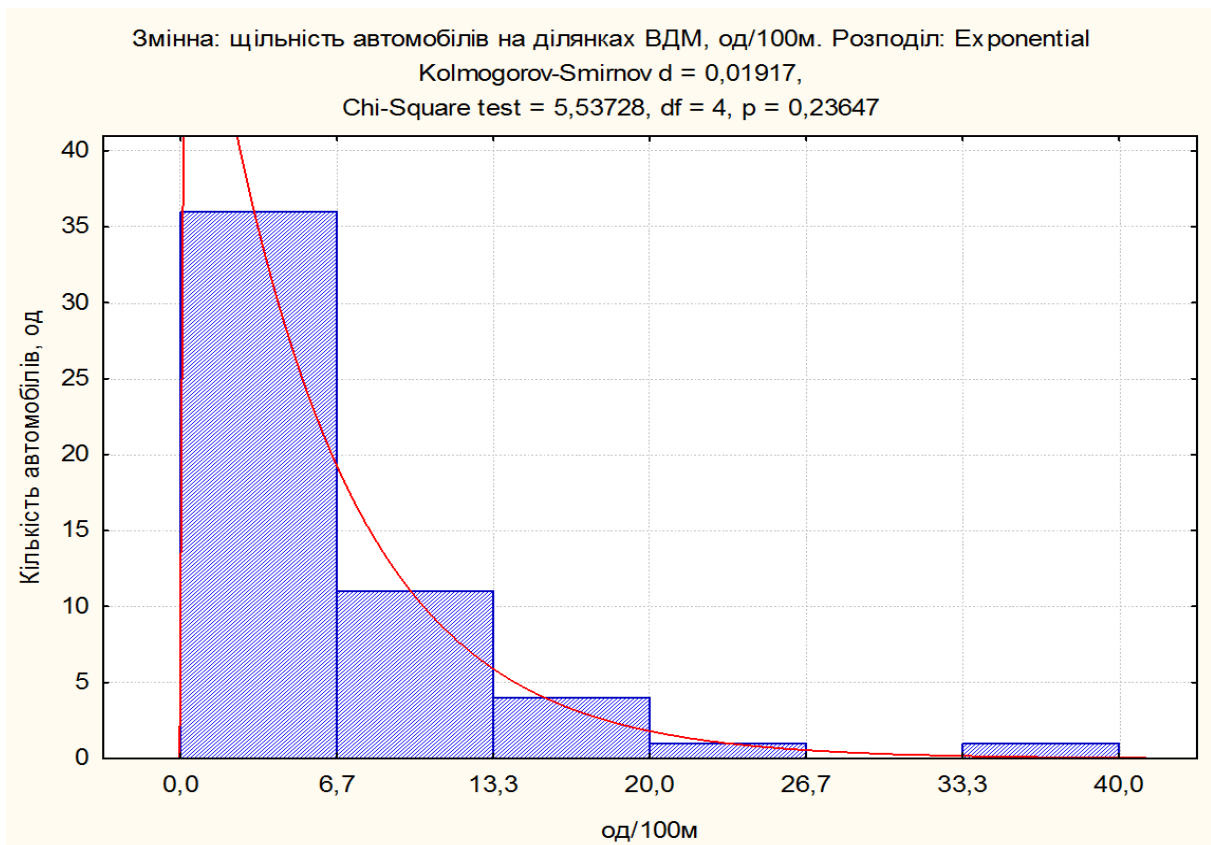


Рис. 3.7. Розподіл щільності автомобілів, які припарковано на правій смузі

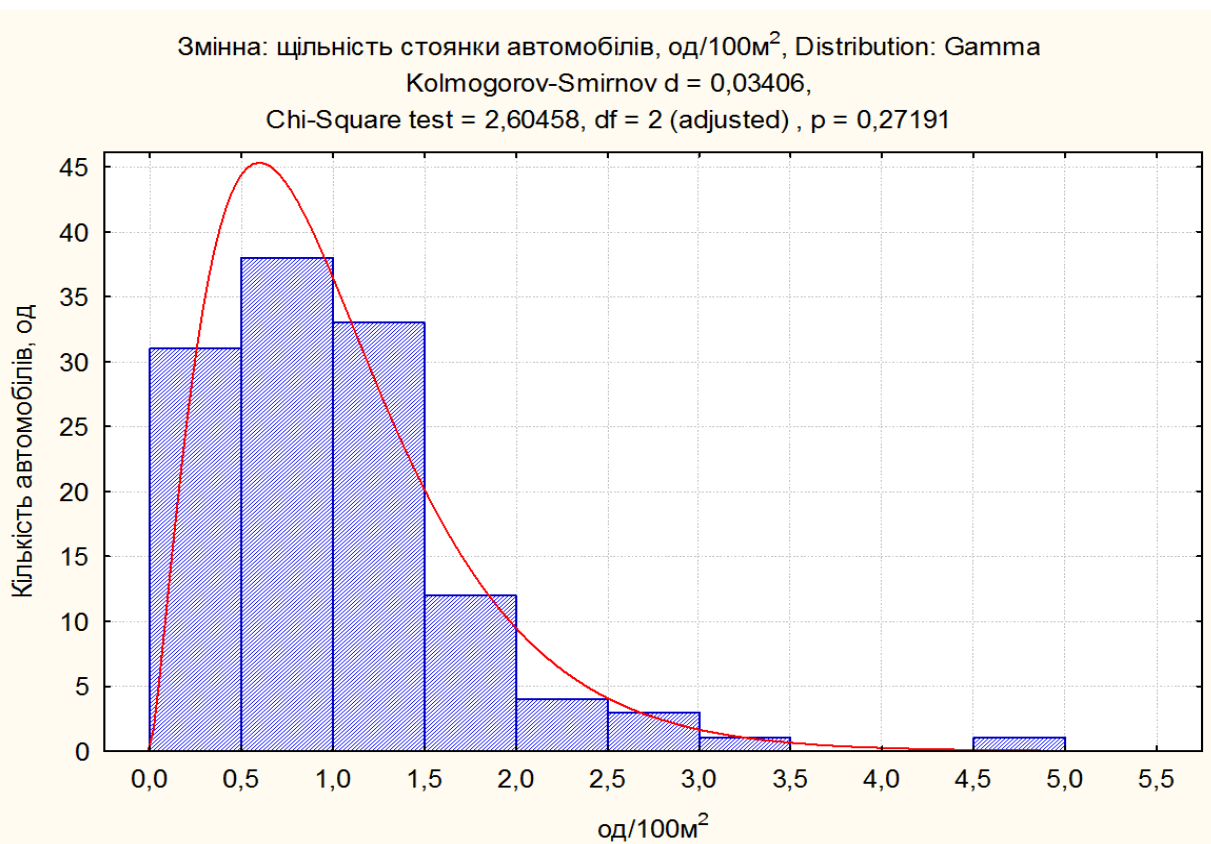


Рис. 3.8. Розподіл щільності автомобілів, які стоять у дворах житлових будинків

На підставі аналізу можна стверджувати, що випадкова величина щільності стоянки автомобілів на ВДМ розподіляється згідно з показовим законом (рис. 3.7), а випадкова величина щільності стоянки в дворах житлових будинків за гамма розподілом, рис. 3.8.

На відміну від щільності автомобілів на дорожньому полотні де щільність залежить тільки від довжини відрізка, яка нам відома заздалегідь, щільність стоянки у дворах суттєво відрізняється, так як ЦЧМ Харкова має різноманітну забудову, що суттєво ускладнює визначення середньої площі дворів та як наслідок середньої щільності паркування. Тому для спрощення цих підрахунків було проведено вибіркове дослідження середньої площі дворів. Для цього в програмі SASPlanet було проведено розмежування ЦЧМ Харкова на рівні квадрати площею $0,0388 \text{ км}^2$, тобто на карту ЦЧМ Харкова була нанесена сітка у відповідному масштабі. Кожний окремий квадрат такої сітки абсолютно випадково накладається на карту та не як не залежить від забудови та геометрії вулиць (рис 3.9).



Рисунок. 3.9 – Фрагмент ЦЧМ Харкова після розділення

Далі було визначено координати центру кожного з одержаних квадратів за допомогою генерації випадкових координат. В такий спосіб було відібрано масив випадкових координат. В квадратах, які відповідають відібраним координатам було проведено замір площі дворів, рис. 3.10.



Рисунок. 3.10 – Фрагменти території для визначення середньої площі дворів

Результати розрахунку площі дворів в випадково відібраних квадратах представлені у [174]. При цьому кількість таких квадратів розрахована на одержання 95% надійності результатів визначення площі дворів за формулою для неповторної вибірки [175]

$$n = \frac{t^2 \sigma^2 N}{\Delta^2 N + t^2 \sigma^2}, \quad (3.2)$$

де N – обсяг генеральної сукупності;

Δ – гранична помилка вибірки (приймаємо 10 % від середнього).

У випадку визначення необхідної кількості серій замірів площі дворів в квадратах, які відібрані випадково, загальну їх кількість можливо визначити як відношення площі ЦЧМ до площі одного випадкового квадрату 0,0388 км². Результати розрахунку за формулою (3.2) представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Необхідний обсяг серій спостережень площі дворів

Параметри	Значення
Середнє значення, м ²	5886
Стандартне відхилення, м ²	1748
Обсяг генеральної сукупності, од.	170
Фактично проведена кількість спостережень, од.	30
Необхідний обсяг спостережень, од.	28

Для визначення середньої площі дворів в ТР було використано наступну залежність

$$P_j = \frac{P_{mp}}{P_k} \cdot \bar{P}_\partial \cdot k_3, \quad (3.3)$$

де P_{mp} – площа ТР, м²;

P_k – площа квадрату ($P_k = 38809$), м²;

\bar{P}_∂ – середня площа двору у випадково відібраному квадраті ($\bar{P}_\partial = 5886$), м²;

k_3 – коефіцієнт багатоповерхової забудови.

Результати розрахунку середньої площі дворів в транспортних районах представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Визначення середньої площі дворів в ТР

Номер району	Коефіцієнт багатоповерхової забудови	Площа транспортного району, м ²	Середня площа дворів у транспортному районі, м ²
1	0,98	619000	92000,4
2	0,9	414900	56631,6
3	0,25	376400	14271,3
4	0,6	1172300	106675,1
5	0,8	401000	48652,8
6	0,98	362200	53832,9
7	0,9	750300	102411,9
8	0,6	272000	24751
9	0	139700	8474,8
10	0,8	219600	26643,8
11	0,6	376400	34251,1
12	0,5	329000	24948,2
13	0	324800	9851,9
14	0,8	528400	64110
15	0,8	349600	42416,5

3.3 Моделювання інтенсивності руху автомобілів в центральній частині міста Харкова

Питання визначення завантаження елементів ВДМ традиційно розділяється на два взаємозалежні етапи. На першому етапі визначають міжрайонні кореспонденції, на другому - розподіляють зазначені кореспонденції по транспортній мережі. Таким чином, моделі даного типу дають відповідь по яких шляхах здійснюються пересування й скільки учасників руху використовують той або інший шлях. Таким чином, моделювання міських транспортних мереж головним чином спрямоване на одержання даних, що характеризують параметри шляхово-транспортних умов на досліджуваній ВДМ. При цьому в якості основних мережних характеристик виступають: матриці кореспонденції ТП, розподіл ТП по ВДМ, завантаження елементів ВДМ рухом, швидкість ТП.

Вихідною інформацією для проведення моделювання завантаження ЦЧМ Харкова автомобілями є МТК, яка визначається на підставі одержаних місткостей ТР, сформованих з кількості автомобілів, що приїжджають і від'їжджають з місць паркування.

При проведенні моделювання час для розрахункового етапу імітації було обрано дві години з 8⁰⁰ до 10⁰⁰, оскільки саме на цей період припадає максимальне накопичення транспорту на вулицях міста. Кожна серія в результаті проведення моделювання дає набір випадкових значень кількості автомобілів, що стоять на правій смузі дороги, після підстановки генерованої випадкової величини в формули (2.80). Генерація випадкової величини проводиться за формулами (3.4, 3.5) [178].

Формула для генерації експоненціальних величин щільності стоянки автомобілів на i -й ділянці ВДМ

$$P_i^m = \frac{-\ln \xi_k}{\lambda}, \quad (3.4)$$

де ξ_k – рівномірно розподілена випадкова величина;

λ – параметр показового закону розподілу, $\lambda = 7,85$ од/100м.

Формула для моделювання гамма-величин щільності стоянки автомобілів в дворах j -го ТР

$$P_j^d = -b \ln\left(\prod_{k=1}^c \xi_k\right), \quad (3.5)$$

де b – параметр масштабу (0,435);

c – параметр форми (2,374).

Для моделювання кількості автомобілів, які припарковано на крайній правій смузі та в дворах житлових будинків і установ необхідна довжина ланок ВДМ та площа дворів. Значення всіх довжин ланок ВДМ представлені в [174], а площі дворів ТР в табл. 3.4. Підставивши ці значення в формулу (2.80) було визначено теоретичну кількість автомобілів, які стоять на правій смузі та в дворах житлових будинків.

Результати обробки обстеження кількості прибуваючих та від'їжджаючих автомобілів (табл. 3.1, 3.2) дають можливість для подальших розрахунків місткостей прибуття та відправлення автомобілів в ТР. З метою виключення впливу транзитних потоків на результати експерименту, ділянки ВДМ, на яких автомобілі проходять виключно транзитом, до моделювання не входять.

Отже, використовуючи дані кількості автомобілів, які стоять на ВДМ і в дворах житлових будинків, а також середньої кількості прибуваючих та від'їжджаючих автомобілів було проведено моделювання процесу паркування автомобілів використовуючи формули (2.78) та (2.79). Використовуючи формулу (2.77) було визначено місткості прибуття та відправлення автомобілів в ТР. Так як побудована модель визначення місткостей ТР ймовірнісна, в якій генеруються значення щільності паркування автомобілів, то в цьому випадку було проведено 30 серій розрахунків, результати сумарних значень місткостей ТР наведено в таблиці 3.5.

Для врахування довжини ланок транспортної мережі при визначенні місткостей ТР було використано наступні залежності

$$A_j^l = \sum_{i=1}^n Z_i^l + Z_j^d, \quad D_j^l = \sum_{i=1}^n Y_i^l + Y_j^d, \quad (3.6)$$

де

$$Z_i^l = \sum_{y=1}^h \sum_{j=1}^m A_j / h \cdot l_i / \sum_{i=1}^n l_i, \quad Y_i^l = \sum_{y=1}^h \sum_{j=1}^m D_j / h \cdot l_i / \sum_{i=1}^n l_i, \quad (3.7)$$

де h – кількість серій спостережень, ($h = 30$).

Таблиця 3.5

Сума місткості транспортних районів в серії дослідів

Серія	Кількість автомобілів, що прибувають, од	Кількість автомобілів, що убувають, од
1	9754	6448
2	10276	7254
3	10597	7298
4	10322	6939
5	10248	7284
6	10508	7642
7	9222	6339
8	10707	7033
9	10894	7757
10	11171	7353
11	10022	7305
12	9696	6509
13	10175	7242
14	10488	7505
15	10654	7204
16	9640	6449
17	10451	7032
18	9799	6985
19	9737	7194
20	10853	7323
21	9639	6557
22	10171	6898
23	9045	6088
24	10027	6581
25	10103	6792
26	9963	6698
27	9953	6257
28	9505	6558
29	10016	6642
30	10138	6749
Середнє значення	10126	6930

Результати скоректованих відносно довжини ланок місткостей ТР прибуття та відправлення автомобілів представлені в таблиці 3.6.

Місткості внутрішніх ТР

Район	Скоректована кількість автомобілів, що прибувають, од	Скоректована кількість автомобілів, що убувають, од
1	1253	910
2	1471	1065
3	576	407
4	581	433
5	576	438
6	1050	803
7	1244	919
8	671	480
9	347	248
10	353	261
11	565	397
12	312	230
13	709	490
14	637	534
15	892	685
Сума	11238	8299

Окремо було визначено кількість автомобілів, які прибувають та від'їжджають з периферійних районів до ЦЧМ. Для цього було встановлені пости спостереження на всіх в'їздах до ЦЧМ (ТР з 16 до 30, рис. 3.1), у яких обліковці фіксували інтенсивність прибуття та відправлення автомобілів у ЦЧМ [174]. Сумарні значення інтенсивності прибуття та відправлення з 8^{00} до 10^{00} представлені в таблиці 3.7.

Кількість прибуваючих та від'їжджаючих автомобілів на в'їздах до ЦЧМ Харкова.

Район	Кількість автомобілів що від'їжджають з ЦЧМ	Кількість автомобілів що прибувають до ЦЧМ
1	2	3
16	744	2320
17	2144	1624
18	1368	1176
19	1318	1608

1	2	3
20	696	728
21	597	863
22	1872	1728
23	1824	2136
24	2232	3096
25	1944	3420
26	554	1030
27	2482	2530
28	1776	1512
29	1488	2208
30	2064	3120
Сума	23103	29099

З одержаних місткостей ТР (табл. 3.6, 3.7) можливо побачити, що їх сумарне значення по прибуттю та відправленню відрізняється на 3057 автомобілів. Як зазначалося в розділі 2.3 різниця між сумами місткостей ТР по прибуттю та відправленню зводиться до різниці кількості автомобілів, які перебували на ВДМ у момент початку та закінчення натурних спостережень (2.82). Кількість автомобілів на ВДМ можна визначити, як добуток середньої щільності ТЗ на довжину транспортної мережі. Середня щільність ТЗ ρ , визначається на основі підрахунку довжини черги автомобілів перед регульованими перехрестями. Для цього була проведена серія відеоспостережень у різних точках ЦЧМ. Так як період моделювання місткостей зовнішніх і внутрішніх ТР для даної роботи становить дві години ранкового часу пік з 8^{00} до 10^{00} , то для визначення щільності автомобілів на мережі, спостереження проводилися для відправлення ρ_d з 7^{50} до 8^{10} , а для прибуття ρ_a з 9^{50} до 10^{10} по будніх днях. Результати досліджень представлено в [174] та за визначеними середніми значеннями було побудовано гістограму, рис. 3.11.

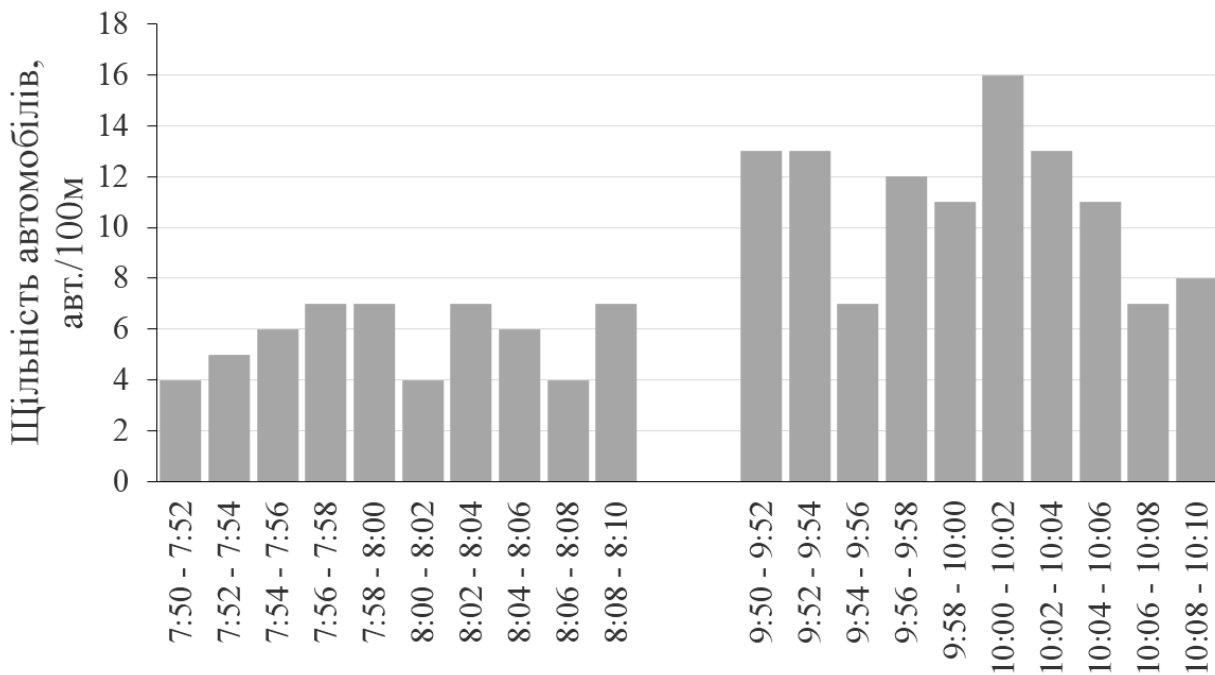


Рис. 3.11. Щільність автомобілів на ВДМ на межах ранкового піку

З рис. 3.11 видно, що щільність автомобілів на початку та в кінці проведення натурних спостережень різна, що у свою чергу пояснює появу дисбалансу між прибуттям і відправленням автомобілів. Підставивши в формулу (2.83) середні значення щільності автомобілів $\rho_d = 0,016$ од./м та $\rho_a = 0,0316$ од./м [174], було визначено обсяг автомобілів, які рухаються по ВДМ в момент початку та закінчення натурних спостережень на всіх ділянках ЦЧМ, де сумарне їх значення наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Сумарні місткості прибуття та відправлення автомобілів

Транспортні райони відправлення	Транспортні райони прибуття			Місткості відправлення, $D_{d,s,n}$, авт./2год
	A_d	A_s	A_n	
D_d	H_{dd}	H_{ds}	H_{dn}	8299
D_s	H_{sd}	H_{ss}	H_{sn}	29099
D_n	H_{nd}	H_{ns}	H_{nn}	3255
Місткості прибуття, $A_{d,s,n}$, авт./2год	11238	23103	6431	40772 / 40653

Після врахування автомобілів, які знаходились у русі на момент початку та закінчення натурних спостережень, різниця між сумами

місткостями ТР по відправленню та прибуттю зменшується з 3057 до 119 автомобілів. Отримане відхилення не може критично вплинути на наступні результати моделювання, а 119 автомобілів можуть бути віднесені до технічних причин дисбалансу місткостей. З вище сказаного стає можливим обґрунтоване усунення причин дисбалансу місткостей прибуття та відправлення автомобілів у ТР, які в свою чергу, нерозривно пов'язані з динамічним характером об'єкту дослідження.

На підставі одержаних місткостей (табл. 3.6, 3.7) та розрахованих місткостей УТР (табл. 3.8) було розраховано МТК [174]. При цьому МТК визначалась за допомогою ймовірнісного методу за формулами (2.88, 2.90, 2.91), а її балансування виконувалося за допомогою включення до МТК додаткової строки та стовпчика в яких відображаються кореспонденції УТР.

Для проведення подальших розрахунків необхідно визначити параметри руху автомобілів на окремих ділянках ВДМ ЦЧМ Харкова. Вирішення цього завдання неможливе без математичного моделювання в програмі VISUM, головним завданням якого є визначення основних параметрів функціонування транспортної мережі, таких як інтенсивність руху на елементах транспортної мережі й середні швидкості руху ТП. Використовуючи розрахункові значення МТК в якості вхідної інформації у програмі VISUM були розраховані інтенсивності ТП, рис. 3.12, значення для вулиць Сумська, Пушкінська та просп. Науки наведено в [174].

З кожним роком в крупних містах спостерігається зростання рівня автомобілізації при цьому розвиток транспортної мережі значно відстає, що викликає перевантаження ВДМ. Ця суттєва невідповідність значно погіршує рух транспорту, особливо це відчувається в ЦЧМ. Як наслідок в результаті значно погіршується ефективність функціонування транспортної системи та безпеки руху. Сьогоднішні обстеження ТП показують зменшення швидкості руху автомобілів, збільшення затримок руху, часу пересування, шкідливих викидів відпрацьованих газів [179].



Рис. 3.12. Картограма ТП на ВДМ ЦЧМ Харкова

Для аналізу впливу рівня автомобілізації на інтенсивності руху автомобілів в ЦЧМ Харкова спочатку було проведено моделювання інтенсивності руху автомобілів в ЦЧМ Харкова за допомогою програми VISUM з урахування поступового збільшення величини кореспонденцій від 5% до 200%. При цьому було використано шаг зміни 5% при збільшенні до 50%, 10% при збільшенні до 100% та 20 % при збільшенні до 200%. Для визначення МТК було використано наступну залежність

$$h_{ij}^r = h_{ij} \cdot k_e + h_{ij}^{r-1} \quad (3.8)$$

де h_{ij} – елементи матриці кореспонденцій, авт.;

k_e – коефіцієнт приросту кількості поїздок (0,05-2).

Кожну з одержаних МТК за формулою (3.8) в якості вхідної інформації було використано в програмі VISUM для дослідження зміни завантаження автомобілями ЦЧМ Харкова. Результати моделювання інтенсивності ТП в програмі VISUM для вулиць Сумська, Пушкінська та просп. Науки наведено в [174].

Для перевірки одержаних результатів моделювання інтенсивності було проведено вибіркоче дослідження інтенсивності руху ТП на вулицях ЦЧМ Харкова [174]. Порівнюючи значення інтенсивності за проведеними натурними обстеженнями [174] та результатами моделювання в програмі VISUM можливо констатувати, що в середньому відхилення інтенсивності, яка була отримана при використанні МТК побудованої за допомогою ймовірнісного методу з залученням УТР складає 37 %. Так, як в роботі були проведені натурні спостереження в наслідок чого були одержані фактичні значення інтенсивності ТП за дві години майже на всіх ділянках вулиць Сумська, Пушкінська та просп. Науки [174], вдалося розраховані значення інтенсивності в програмі VISUM привести до фактичних значень, що в подальшому дозволило скоректувати прогнозні значення інтенсивності при підвищенні величини кореспонденцій [174]. Також за допомогою програми VSUM було розраховано значення швидкості. Швидкість для вулиць Сумська, Пушкінська наведено в [174]. Залежність середніх значень швидкості від збільшення величини транспортних кореспонденцій наведено на рис. 3.13, 3.14.

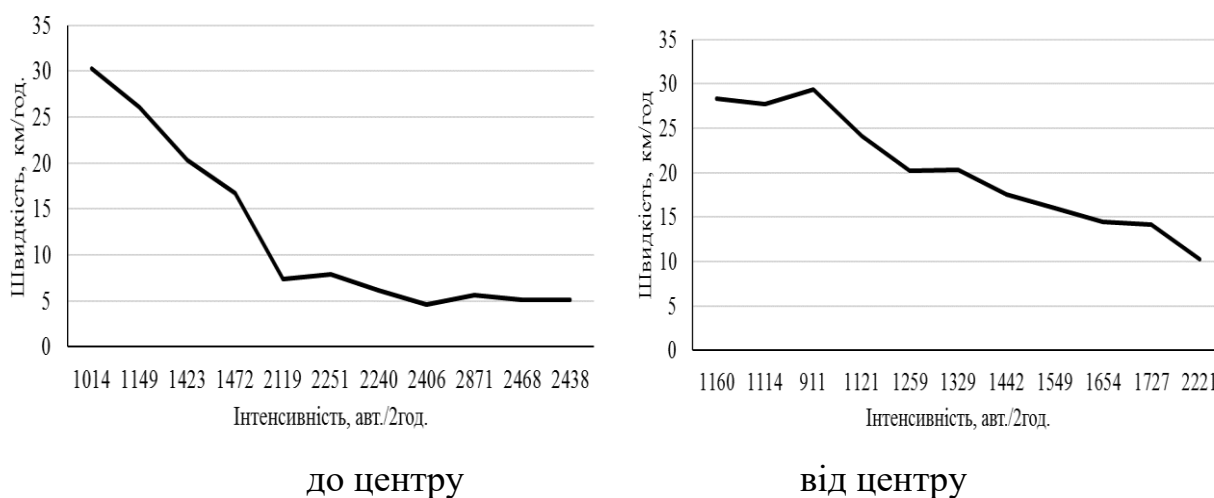
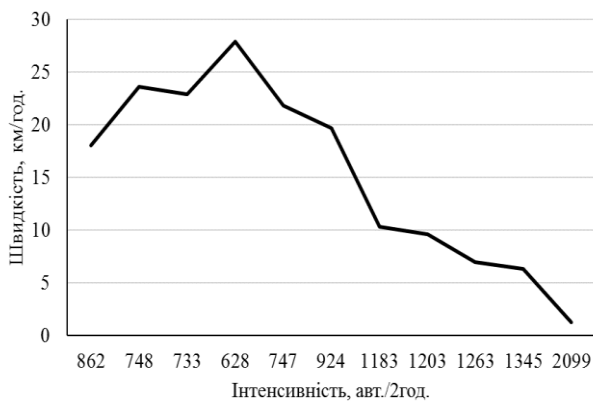
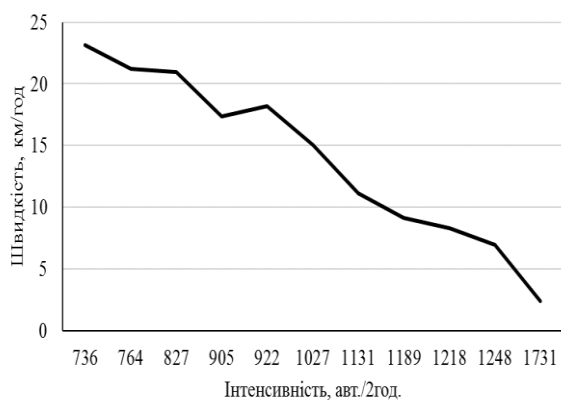


Рис. 3.13. Залежність швидкості руху автомобілів від інтенсивності при збільшенні кореспонденцій на вул. Сумській за напрямками



до центру



від центру

Рис. 3.14. Залежність швидкості руху автомобілів від інтенсивності при збільшенні кореспонденцій на вул. Пушкінській за напрямками

З рисунків 3.13, 3.14 видно, що на вул. Сумській після підвищення значень транспортних кореспонденцій на 70% швидкість руху транспорту знижується до 10 км/год, а на вул. Пушкінській зниження швидкості до 10 км/год здійснюється при збільшенні кореспонденцій до 60%. Це вказує на те, що при збільшенні кореспонденцій на 60% призведе до збільшення ймовірності виникнення заторових ситуацій на дорозі та значного погіршення умов руху.

Теоретична залежність швидкості руху автомобілів від інтенсивності була отримана за допомогою регресійного аналізу, табл. 3.9.

$$V = a_0 + a_1 \cdot I, \quad (3.9)$$

де I - інтенсивність ТП, авт./год.

Таблиця 3.9

Результати регресійного аналізу по всіх ділянках транспортної мережі

Параметри моделі	Значення		
Коефіцієнт детермінації	0,9		
Рівень значимості «значимість-F»	$1,36 \cdot 10^{-6}$		
Параметри коефіцієнтів	Значення коефіцієнта	Стандарт на помилка	Рівень значимості «Р – значення»
a_0	36,005	0,979	$4,042 \cdot 10^{-11}$
a_1	-0,00594	0,000529	$1,361 \cdot 10^{-6}$

З результатів регресійного аналізу видно, що значення коефіцієнта детермінації R^2 показує, що 80-90 % загальної варіації результативної ознаки пояснюється варіацією факторних ознак X_1 . Розрахований рівень значимості «значимість-F» $< 0,05$ підтверджує значимість R^2 . Стандартна помилка коефіцієнтів a_0 та a_1 менша ніж його значення, до того ж цей коефіцієнт є значимим, про що можна судити за розрахунковим значенням рівня значущості «P – значення», яке суттєво менше заданого рівня значимості $\alpha = 0,05$. Так як статистичні характеристики отриманої моделі має високі показники, це дозволяє їх використання при моделюванні швидкості руху ТП в залежності від зміни інтенсивності.

3.4 Експериментальна оцінка основних характеристик руху транспортних засобів

Підготовка вхідних даних для розрахунку часу затримки виїзду МТЗ на ЗП є важливим етапом виконання роботи, оскільки точність визначення параметрів, що входять у модель, на пряму впливає на точність та адекватність значення часу затримки. Дані основних параметрів, які обрані без попередніх натурних досліджень, можуть привести до результату, що не відповідає дійсності. Для уникнення цього було проведено натурні спостереження, рухаючись в потоці було визначено швидкість руху транспортного потоку [174]. Для проведення виміру обліковець знаходячись у МТЗ фіксував час проходження через кожне перехрестя по маршруту руху на ділянках вулиць Сумська та Пушкінська, рис. 3.15.

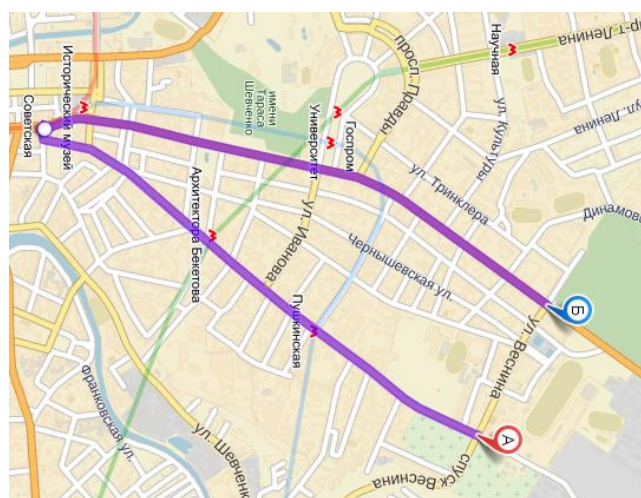


Рис. 3.15. Маршрут проведення досліджень швидкості руху

За результатами цих досліджень визначено, що середня швидкість складає 24 км/год на вул. Сумській і 21 км/год на вул. Пушкінської. Також було проведено вивчення процесу розгону МТЗ при від'їзді від зупиночних пунктів по вул. Сумська.

Для проведення виміру обліковець також знаходився у МТЗ і кожні дві секунди фіксував швидкість при від'їзді від зупинки. Для фіксації параметрів руху МТЗ в якості технічного засобу був використаний GPS навігатор, оскільки цей прилад з припустимою точністю дозволяє одночасно фіксувати поточний час, швидкість і місце розташування ТЗ в русі, для чого потрібно тільки зафіксувати параметри руху на екрані, рис. 3.16.

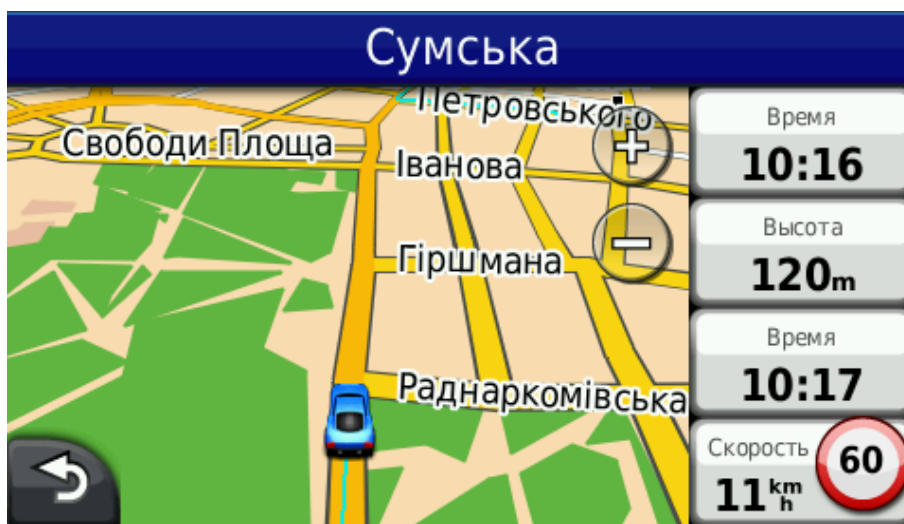


Рис. 3.16. Знімок екрана GPS навігатора під час руху

Інформація, яка одержана в ході такого обстеження, може бути відцифрована, що дозволяє розрахувати всі необхідні параметри руху МТЗ. Проведені в такий спосіб дослідження показали, що для більшості марок автобусів або тролейбусів спостерігаються схожі тенденції зміни швидкості при розгоні. Ця обставина пояснюється тим, що прискорення МТЗ залежить не стільки від його технічних можливостей, а скільки від умов забезпечення комфортного перебування пасажирів в салоні. При цьому швидкість МТЗ в щільному ТП залежить від умов руху основного ТП в якому всі ТЗ рухаються приблизно з однаковою швидкістю. Виходячи з мети дослідження, з усіх спостережень за рухом МТЗ від зупиночного пункту були відібрані тільки ті, які не супроводжувалися уповільненням, яке зазвичай було обумовлено перешкодами з боку інших ТЗ, дивись [174].

Додатково до цих результатів була отримана регресійна модель розгону МТЗ при виїзді з ЗП. Цей показник необхідний для оцінки інтервалу між двома автомобілями в ТП, який потрібен МТЗ для виїзду з ЗП, розташованого в кармані. На рис. 3.17 наведена теоретична пряма, що описує процес розгону МТЗ.



Рис. 3.17. Експериментальна та теоретична залежності швидкості від часу руху при від'їзді МТЗ від ЗП

Теоретична залежність для безперервного розгону МТЗ була отримана за допомогою регресійного аналізу.

$$V = a_1 \cdot t_p, \tag{3.10}$$

де t_p – час розгону МТЗ, с.

Статистичні характеристики отриманої моделі мають високі показники, що дає вагомі підстави для її використання на практиці, табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Результати регресійного аналізу та статистичної перевірки

Параметри моделі	Значення		
Коефіцієнт детермінації	0,99		
Рівень значимості «значимість- F»	$4,497 \cdot 10^{-32}$		
Параметри коефіцієнту	Значення коефіцієнта	Стандартна помилка	Рівень значимості
Коефіцієнт a_1	0,67	0,008	$4,399 \cdot 10^{-33}$

Так як статистичні характеристики отриманої моделі (табл. 3.12) мають високі показники, це дозволяє їх використання при моделюванні швидкості руху МТЗ де коефіцієнт a_1 виступає в якості прискорення.

Проведені в даній роботі дослідження швидкості та прискорення збігаються з даними одержаними в роботі [180] в якій зазначено, що при середній швидкості руху ТП 20-25 км/год прискорення для звичайних ТЗ дорівнює $0,9 \text{ м/с}^2$, для автобусів – $0,7 \text{ м/с}^2$, що вказує на досить широке розповсюдження одержаних результатів.

Також в роботі за допомогою натурних відеоспостережень було визначено час звільнення автомобілем свого місця в черзі перед світлофором. Дане дослідження проводилось на перехресті вул. Ярослава Мудрого - вул. Алчевських. Спостереження велися за чергою перед світлофором автомобілі з якої прямують в напрямку до станції метро Пушкінська. Було обстежено 20-ть циклів світлофору в кожному циклі при обробці результатів замірявся час зміщення кожного автомобіля на довжину свого корпусу. Результати обробки проведених обстежень представлено у [174]. В середньому час звільнення автомобілем свого місця в черзі перед світлофором склав 2,27 с.

Висновки

У ході натурних спостережень було визначено репрезентативну вибірку кількості автомобілів, які прибувають та відправляються в ЦЧМ Харкова. Завдяки цьому стало можливим визначення середньої кількості автомобілів, які прибувають до місць паркування на крайню праву смугу ВДМ, 32 од. на 100 м та від'їжджають 20 од. на 100 м, а також кількість прибуваючих 0,49 од. на 100 м^2 та від'їжджаючих 0,52 од. на 100 м^2 на стоянках в дворах житлових будинків.

На підставі даних щільності паркування, зібраних при проведенні фото спостережень встановлено закони розподілу щільності автомобілів які припарковані на крайній правій полосі вулиць та в дворах житлових будинків. Для автомобілів, які припарковані на крайній правій смузі вулиць випадкова величина

щільності розподіляється за показниковим законом, а для автомобілів які припарковані в дворах житлових будинків за гамма розподілом.

Розрахунок місткостей ТР на основі даних про щільність паркування та кількість автомобілів, які прибувають в (та відправляються з) ЦЧМ Харкова привів до результатів, які потребують балансування внаслідок суттєвої різниці між кількістю автомобілів на транспортній мережі ЦЧМ. За допомогою включення в розрахунки додаткового УТР, який характеризує кількість автомобілів, які рухаються по дорожній мережі ЦЧМ розходження у сумарних місткостях ТР з відправлення та прибуття автомобілів скорочено з 3057 до 119 автомобілів або 0,3 % місткості, що цілком може бути пояснена впливом випадкових чинників.

Для перевірки точності розрахованої МТК за ймовірнісним методом було проведено порівняння значень інтенсивностей, які були розраховані в програмі Visum зі значеннями інтенсивності, які були отримані в ході натурних замірів на транспортній мережі ЦЧМ Харкова. В результаті середня помилка складає 37 %. Після проведення калібрування за допомогою натурних спостережень для вулиць Сумська, Пушкінська та просп. Науки значення похибки вдалося зменшити до мінімуму.

В роботі за допомогою натурних спостережень встановлено, що швидкість руху МТЗ в потоці при поточному рівні інтенсивності ТП складає 24 км/год на вул. Сумській та 21 км/год на вул. Пушкінській, а при збільшенні значень транспортних кореспонденцій на 60-70% швидкість руху транспорту знижується до 10 км/год. Середнє прискорення МТЗ при початку руху від ЗП маршрутів складає $0,67 \text{ м/с}^2$. За допомогою відеоспостережень за чергою автомобілів перед світлофором також було визначено, що час звільнення автомобілем свого місця в черзі в середньому дорівнює 2,27 с.

Експериментальні розрахунки інтенсивності ТП при зростанні кількості автомобілів, які прибувають до ЦЧМ та вибувають з неї, показали, що зростання інтенсивності руху на вулицях ЦЧМ відбувається нерівномірно на різних ділянках ВДМ. При цьому збільшення місткостей більш ніж на 60% по відношенню до поточного рівня призводить до заторових ситуацій на ділянках дорожньої мережі вулиць Сумська та Пушкінська, що потребує розробки спеціальних заходів з підвищення швидкості руху МТЗ, не пов'язаних з розташуванням ЗП.

4 ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ПРАКТИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ

Розроблені в роботі аналітичні моделі та отримані в ході теоретичних досліджень статистичні результати потребують ретельної оцінки їхньої точності, оскільки перші побудовані на ряді припущень про характер руху ТП, а другі надають лише ймовірнісну оцінку можливого результату, тоді як реальне значення параметру, що оцінюється, розташовується в деякій області навколо отриманої статистичної оцінки. Ці причини в кінцевому результаті можуть викликати суттєве відхилення розрахункових оцінок часу затримки відправлення МТЗ від ЗП після посадки-висадки пасажирів від його реальних значень.

Завдяки цьому, перед розробкою практичних рекомендацій щодо раціонального розташування ЗП МПТ в зоні регульованих перехресть необхідно виконати експериментальну перевірку адекватності розроблених аналітичних моделей. Особливістю об'єкту даного дослідження є складність та навіть практична неможливість проведення активних натурних експериментів, що обумовлене його соціальним характером, тобто великою кількістю учасників з власними цілями та способами їх досягнення. Ще одним фактором, який ускладнює процес проведення натурального експерименту є стаціонарне розташування ЗП, перенесення якого на нове місце потребує суттєвих матеріальних витрат. Тому вільно змінювати параметри розташування ЗП та руху ТП у достатньо широких межах, що необхідно для оцінки точності моделі часу затримки відправлення МТЗ від ЗП, на реальному об'єкті не представляється можливим.

В таких умовах основним засобом оцінки адекватності розробленої моделі може бути використане спеціальне програмне забезпечення з транспортного мікромодельовання, яке відноситься до моделей «поведінки» та призначене для оцінки ефективності різноманітних заходів з ОДР та дозволяє без суттєвих матеріальних витрат відтворити процес функціонування досліджуваного об'єкту для будь-яких зовнішніх умов і внутрішніх параметрів.

4.1 Моделювання раціонального розташування зупиночного пункту відносно регульованого перехрестя

Час затримки виїзду МТЗ перебуває під комплексним впливом різноманітних факторів, ступінь впливу яких неоднаковий. Але для досліджень в цій роботі головним є установити залежності часу затримки виїзду МТЗ від відстані розташування зупинки по відношенню до світлофора та інтенсивності ТП.

Для визначення характеру впливу інтенсивності потоку та відстані на якій розташовано зупинку по відношенню до регульованого перехрестя на час затримки виїзду МТЗ з ЗП мінімальне та максимальне значення інтенсивності та значення ширини смуги для головної та другорядної дороги приймалось відповідно до нормативів [181]. Мінімальна відстань розташування зупинки від перехрестя приймалось відповідно до норм [25]. Так як об'єктом дослідження в нашому випадку є ЦЧМ, а дальність пішохідних підходів у загальноміському центрі до найближчої зупинки від об'єктів масового відвідування повинна бути не більш 250 м [26], то для недопущення впливу двох зупинок одночасно максимальна дальність зупинки від перехрестя було прийнято 100м. Швидкість руху ТП розраховувалася за допомогою регресійного рівняння коефіцієнти якого представлені в табл. 3.9.

За допомогою розроблених моделей 2.52 та 2.76 було побудовано графіки залежності часу затримки виїзду МТЗ з ЗП розташованого до та за перехрестям від відстані віддалення його від перехрестя, інтенсивності та швидкості руху ТП, рис. 4.1, 4.2, 4.3. В якості вхідних даних для побудови графіків використовувалися середні значення інтенсивності 548 авт./год, відстані зупинки від перехрестя 55 м та швидкості 27 км/год.

Аналізуючи отримані залежності можливо зробити висновок, що час затримки виїзду МТЗ з зупинки знаходиться під впливом багатьох факторів, вплив яких дуже різниться, в залежності від розташування зупинки до чи після регульованого перехрестя. З рис. 4.1 видно що, при будь-якої інтенсивності ТП, найбільш ефективним є розміщення зупинки на мінімально допустимій відстані за перехрестям, а при розміщенні зупинки до перехрестя – на відстані від 30 м.

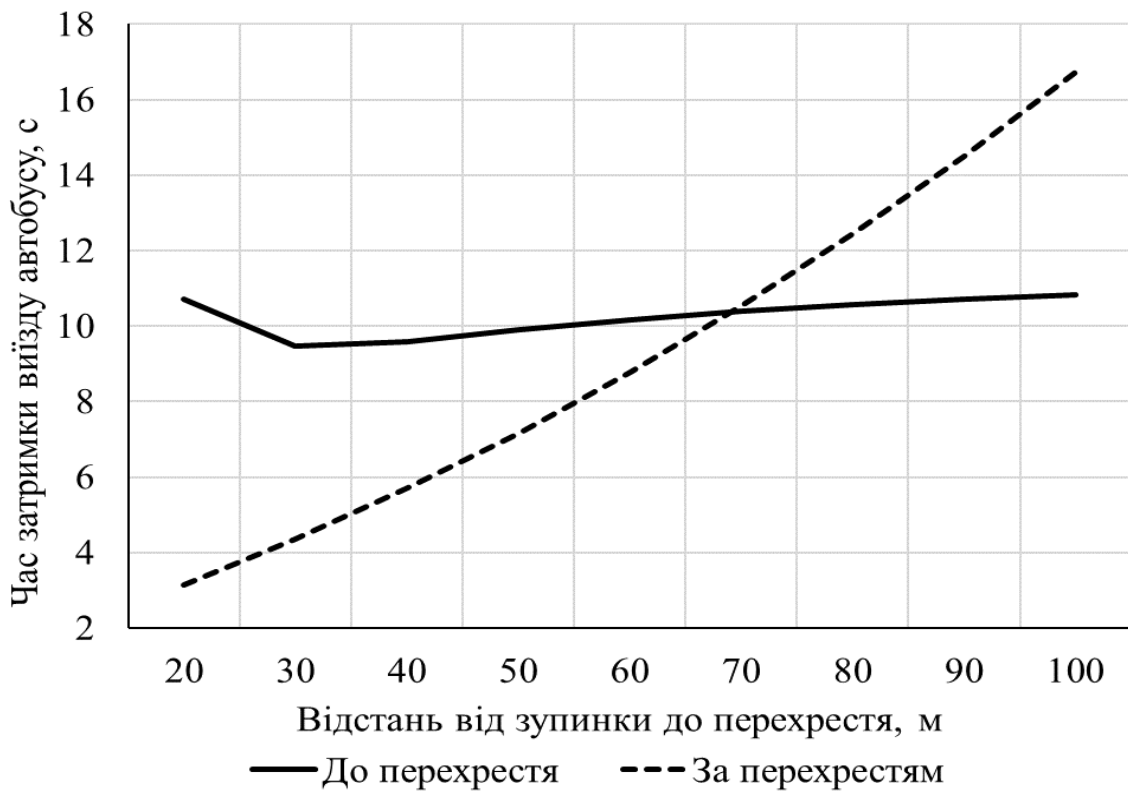


Рис. 4.1. Залежність часу затримки виїзду МТЗ від відстані до перехрестя, при розташуванні ЗП до чи після перехрестя

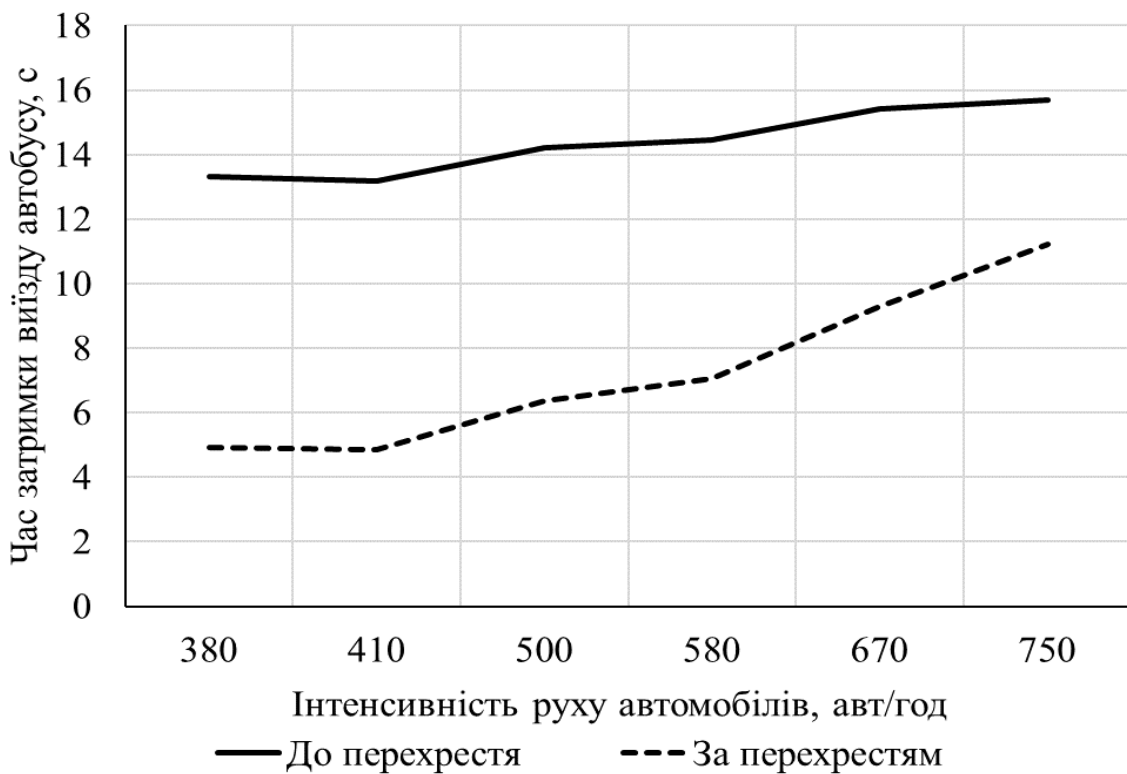


Рис. 4.2. Залежність часу затримки виїзду МТЗ від інтенсивності ТП, при розташуванні ЗП до чи після перехрестя

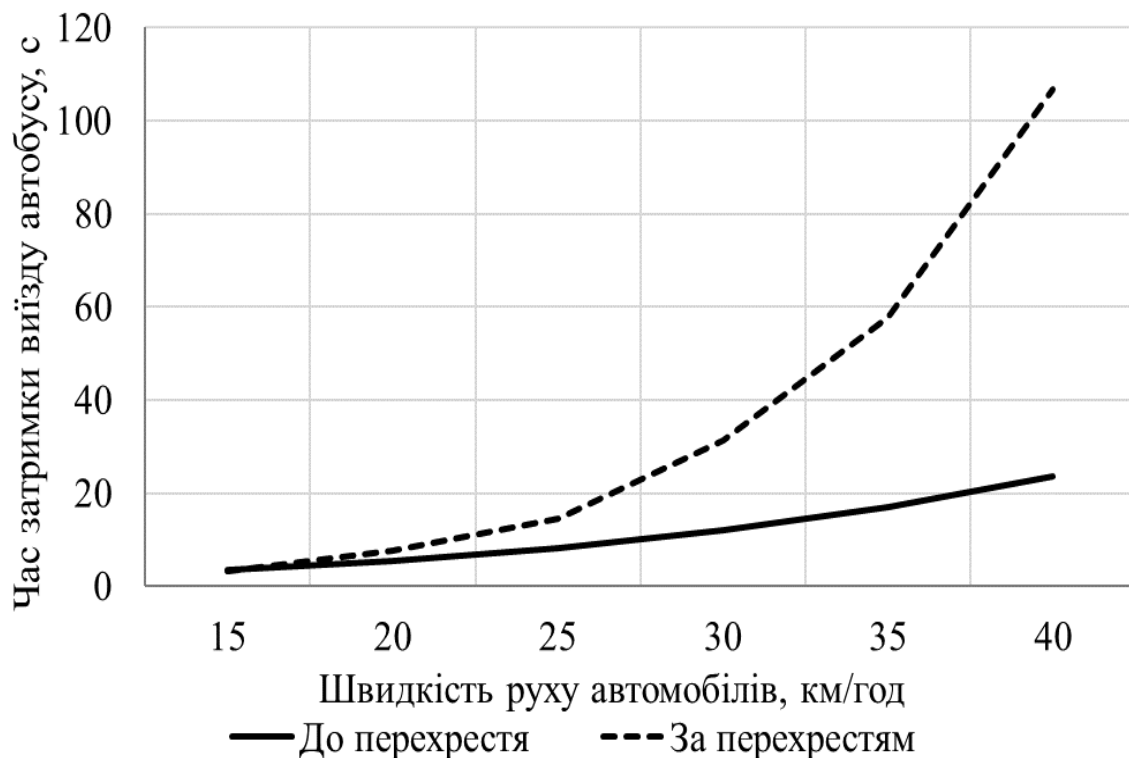


Рис. 4.3. Залежність часу затримки виїзду МТЗ від швидкості руху ТП, при розташуванні ЗП до чи після перехрестя

Зростання інтенсивності потоку автомобілів (рис. 4.2) також призводить до підвищення часу затримки виїзду МТЗ при цьому підвищення інтенсивності більше впливає на час затримки якщо зупинка розташована за перехрестям, тому поступове підвищення рівня автомобілізації призведе до підвищення інтенсивності автомобільних потоків, що суттєво може підвищити час затримки виїзду МТЗ. При цьому автомобілі, які рухаються у вільному потоці мають другорядний вплив на виїзд МТЗ з зупинки, яка розташована за перехрестям.

Це пояснюється тим, що при розміщенні зупинки за перехрестям МТЗ виїжджає в ТП автомобілів, які набирають швидкість від'їжджаючи від перехрестя, тому швидкість автомобілів, які не зупинялись на заборонний сигнал практично не впливає на виїзд МТЗ (рис. 4.3). При цьому значний вплив на час затримки МТЗ оказують автомобілі, які від'їжджають від перехрестя після закінчення заборонного сигналу світлофора і такий вплив буде зростати при збільшенні відстані розташування зупинки від перехрестя. При розміщенні зупинки до перехрестя збільшення швидкості ТП суттєво впливає на час затримки виїзду так як МТЗ

доводиться зливатися з ТП автомобілів, які наближаються до перехрестя.

Таким чином, запропонований критерій у певній мірі надає рекомендації щодо розташування ЗП відносно регульованих перехресть та дозволяє визначити відстань віддалення ЗП від перехрестя при його розташуванні у конкретних містобудівних та архітектурних умовах біля перехрестя. Треба зазначити, що при практичному застосуванні даної методики треба також враховувати вплив попереднього або наступного перехрестя, так як при значному віддаленні зупинки від перехрестя вона може попасти в зону впливу іншого перехрестя.

4.2 Оцінка адекватності розробленої моделі визначення раціонального розташування зупиночного пункту відносно регульованого перехрестя

Для перевірки адекватності побудованих моделей визначення раціонального місця розташування ЗП в роботі використаний програмний продукт VISSIM. Засоби моделювання програмного продукту VISSIM дозволяють отримувати широкий спектр оцінок ефективності та якості транспортного процесу, а також:

- проводити експерименти, які неможливо проводити на реальних дорожніх мережах;
- прогнозувати та аналізувати різноманітні ситуації, які можуть трапитися в майбутньому, але ще не траплялися на практиці;
- аналізувати довгострокові явища та процеси в сфері ОДР за короткий проміжок часу;
- одержувати певні результати з мінімальними витратами порівняно з виконанням натурних експериментів.

Процес побудови імітаційної моделі об'єкту дослідження складається з декількох етапів:

- формування карти об'єкта дослідження;
- побудова трас, які з'єднують перехрестя;
- побудова перехресть вулиць, які представляють собою з'єднувальні відрізки трас в різних напрямках;
- нанесення доріжок руху пішоходів;
- розміщення світлофорного регулювання на перехрестях;
- розміщення місць для паркування автомобілів;

- розміщення лічильників швидкості руху, щільності потоку, довжини затору та часу проїзду ТЗ.

Як вхідна інформація для побудови моделі в програмному продукті VISSIM використовувались наступні дані:

- геометричні параметри перехрестя та ЗП;
- швидкість ТП;
- інтенсивність ТП;
- співвідношення розгалуження ТП на перехресті;
- час циклу світлофора та час його тактів;
- пріоритети проїзду перехрестя;
- маршрути громадського транспорту та їх рухомий склад;
- пішохідні переходи та інтенсивність руху людей на них.

Для проведення експериментальних досліджень в середовищі VISSIM було створено модель типового для центральної частини міста Харкова регульованого перехрестя з розташованим біля нього ЗП МПТ, рис. 4.4.

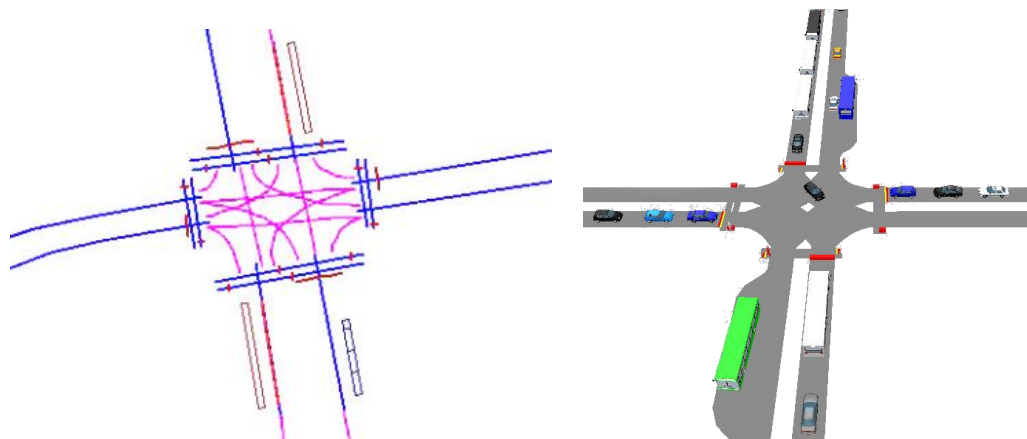


Рис. 4.4. Модель перехрестя в програмному продукті VISSIM

Слід зазначити, що вхідні дані для моделі, побудованої в програмі VISSIM повністю співпадають з даними, які використовувались в попередньому підрозділі при проведенні розрахунків часу затримки відправлення МТЗ від ЗП. Результати моделювання часу затримки виїзду МТЗ в залежності від відстані зупинки до перехрестя представлено в [174]. На рис. 4.5, 4.6 представлені середні значення часу затримки виїзду МТЗ, які були визначені в програмі VISSIM та за допомогою аналітичних моделей.

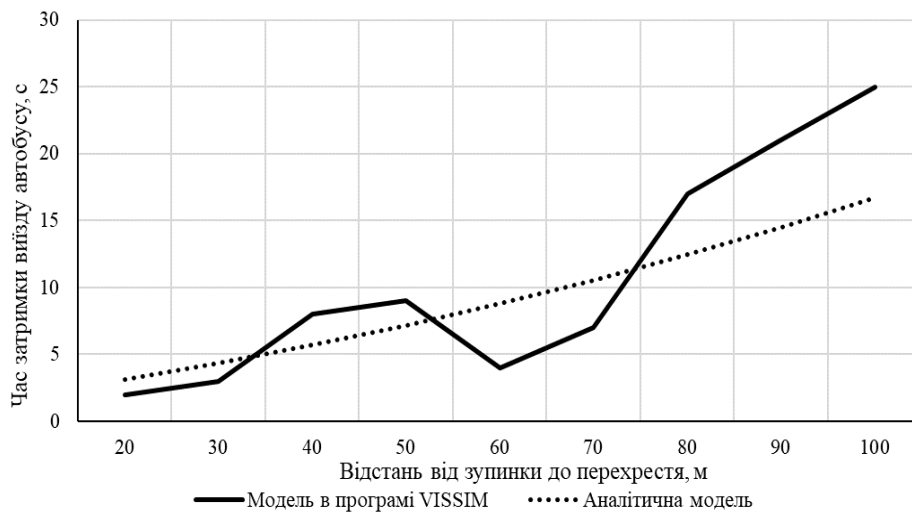


Рис. 4.5. Залежність часу затримки виїзду МТЗ з зупинки розташованої за перехрестям від відстані її розташування

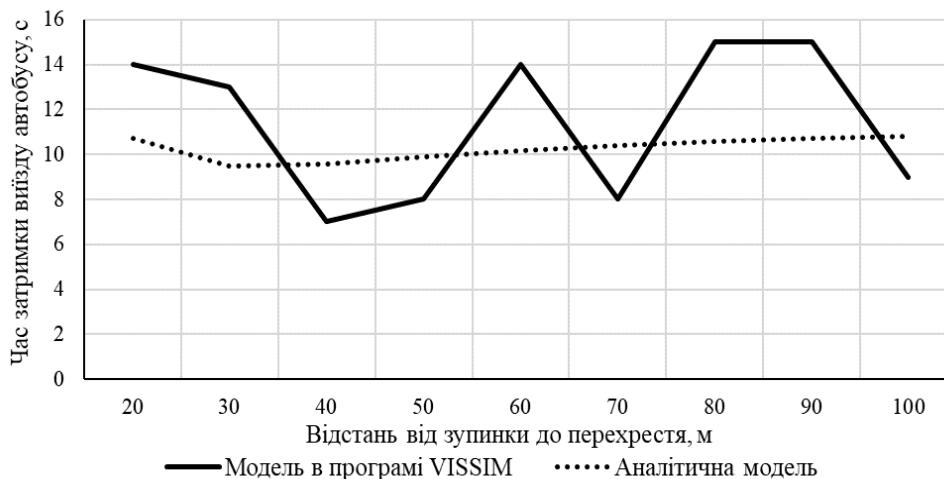


Рис. 4.6. Залежність часу затримки виїзду МТЗ з зупинки розташованої до перехрестя від відстані її розташування

Оцінка побудованих моделей базується, як правило, на певних припущеннях, які необхідно перевіряти додатково. Для практичного застосування результатів моделювання важливим є відповідність прогностичних даних фактичним. В якості фактичних (емпіричних) значень виступають результати моделювання в програмі Vissim. Для перевірки різниці двох функцій проводилося інтегрування по області від a до b

$$W_s = \frac{1}{b-a} \cdot \int_a^b |f(t) - g(t)| dt, \quad (4.1)$$

де $f(t)$ – функція залежності часу затримки від відстані віддалення зупинки від перехрестя в програмі Vissim;

$g(t)$ – функція залежності часу затримки від відстані віддалення зупинки від перехрестя за розробленою моделлю;

a, b – область значень.

Для подальшого порівняння в роботі було визначено середнє значення функції від a до b для функцій $g(t), f(t)$

$$g_s = \frac{1}{b-a} \cdot \int_a^b |g(t)| dt, \quad (4.2)$$

$$f_s = \frac{1}{b-a} \cdot \int_a^b |f(t)| dt \quad (4.3)$$

Виходячи з вище наведеного стає можливим визначення відсотка розходження між двома функціями

$$S_f = \frac{W_s}{f_s} \cdot 100 \quad (4.4)$$

$$S_g = \frac{W_s}{g_s} \cdot 100 \quad (4.5)$$

В таблицях 4.1 представлені результати розрахунків різниці між двома функціями при розміщенні ЗП до та після перехрестя.

Таблиця 4.1

Різниця між двома функціями при різних варіантах розміщення зупиночних пунктів

Залежність	Різниця двох функцій	Середнє значення функції		Відсоток розходження	
		модель в програмі Vissim	аналітична модель	модель в програмі Vissim	аналітична модель
Час затримки виїзду МТЗ з зупинки розташованої за перехрестям					
Від відстані розташування	4,27	34,1	29,8	12,5	14,3
Час затримки виїзду МТЗ з зупинки розташованої до перехрестя					
Від відстані розташування	5,7	55,9	50,3	10,1	11,3

За результатами розрахунків (табл. 4.1) розходження між функціями не перевищує 15%, що вказує на високу схожість результатів моделювання за розробленою аналітичною моделлю та моделлю побудованою в програмі Vissim. Це свідчить про достатню точність отриманих аналітичних моделей.

4.3 Розробка практичних рекомендацій і оцінка ефективності дослідження

Сьогодні використовуються різні методи ОДР, однак кожний із цих методів найчастіше виявляється ефективним лише за певних умов. Тому впровадженню того або іншого методу, тих або інших заходів щодо ОДР повинне передувати моделювання.

Для практичного застосування розробленої методики на найбільш звантажених вулицях Пушкінській, Сумській, Клочківській та проспекті Науки було проведено дослідження часу затримки виїзду МТЗ з ЗП. Попередні дослідження показали, що на вул. Клочківській та просп. Науки затримок виїзду МТЗ з зупинок немає. Це пояснюється тим, що ці вулиці мають більш ніж дві смуги руху, що дозволяє автомобілям маневрувати та не заважати виїзду МТЗ, крім того більшість зупинок на цих вулицях розташовані за перехрестям на мінімальній відстані, що за нашими розрахунками є раціональним місцем з точки зору мінімум часу затримки виїзду МТЗ. Виходячи з цього, сферою застосування побудованих моделей є раціональне розміщення зупиночних пунктів на вузьких ділянках ВДМ з одною або двома смугами руху, де зупиночні пункти обладнані заїзними карманами або перед зупинкою дозволена паркова автомобілів на крайній правій смузі в наслідок чого МТЗ змушений маневрувати для продовження руху по маршруту.

Серії досліджень проводились на вулицях Пушкінській та Сумській за допомогою відео спостереження. Камера була встановлена в салоні МТЗ, яка фіксувала час прибуття на зупинку, час закінчення посадки та висадки пасажирів та час звільнення зупиночного пункту. Результати обробки відео матеріалів наведено в [174], середні значення проведених досліджень представлені в табл. 4.2 - 4.3.

Таблиця 4.2

Середній час затримки виїзду МТЗ на вул. Сумську

Адреса зупинки	Час руху	Час простою на зупинці	Час затримки виїзду
Напрямок руху від центру міста			
ст. м. Радянська	0	21	0,7
ст. ХАТОБ	163,7	11,1	0,2
вул. Сумська, 80	171,5	51,8	13,7
вул. Сумська, 110	84,6	17,8	1
ст. Парк Горького	117,1	20,2	0,4
Напрямок руху до центру міста			
ст. Парк Горького	0	25,1	0,4
вул. Сумська, 77	54,8	17	0,2
вул. Сумська, 106	52,6	21,7	0,5
вул. Сумська, 43Б	79,7	18,2	15,3
вул. Сумська, 48	98,6	6,5	77,9
вул. Сумська, 15	80,1	8,1	25,8
ст. м. Радянська	120,3	20,1	0,2

Таблиця 4.3

Середній час затримки виїзду МТЗ на вул. Пушкінську

Адреса зупинки	Час руху	Час простою на зупинці	Час затримки виїзду
1	2	3	4
Напрямок руху від центру міста			
вул. Пушкінська, 1	0	0	0,5
вул. Пушкінська, 30	94,5	38,8	0
вул. Пушкінська, 50/52	89,6	38,4	6
вул. Пушкінська, 74А	88,5	30	7,2
вул. Пушкінська, 96-98	110,7	28,6	0,5
вул. Пушкінська, 83	82,3	12,5	0
Напрямок руху до центру міста			
вул. Пушкінська, 83	0	0	0,4
вул. Пушкінська, 100	49,6	10,8	0,2
вул. Пушкінська, 77	88,1	57,3	0,6
вул. Пушкінська, 49	99,6	36	5,5
вул. Пушкінська, 28	115,5	12,3	25,5
вул. Пушкінська, 1	74,7	157,3	1

З проведених досліджень (табл. 4.2 – 4.3) видно, що на деяких зупинках вулиць Сумська та Пушкінська спостерігаються значні

затримки при виїзді МТЗ при цьому також існують зупинках на, яких в більшості випадків затримок не виникало.

За допомогою розроблених математичних моделей було визначено середній час затримки виїзду МТЗ при різних рівнях інтенсивності ТП, які в подальшому можуть бути на досліджуваних ділянках вулиць Сумська та Пушкінська у зв'язку з можливим підвищенням рівня автомобілізації [174]. Середні значення часу затримки виїзду МТЗ в залежності від довжини віддалення до чи після перехрестя за розробленими математичними моделями представлено на рис. 4.7, 4.8.

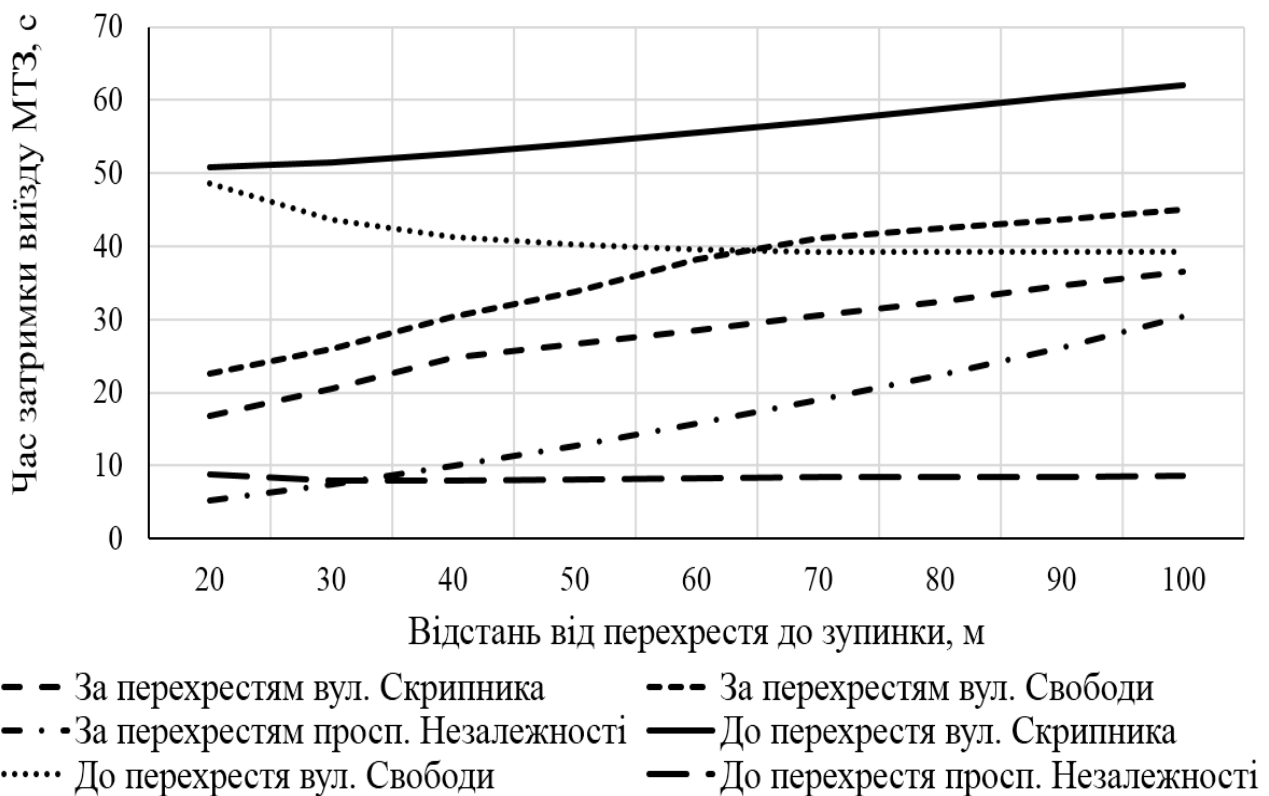
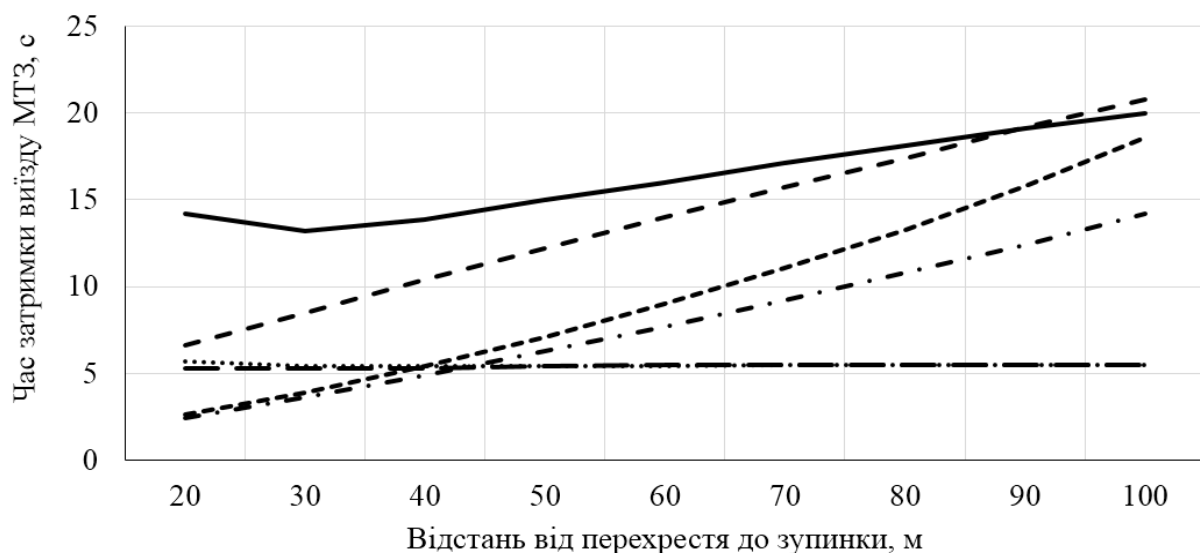


Рис. 4.7. Середній час затримки виїзду МТЗ при розміщенні зупинки до чи після перехрестя на вул. Сумської



- За перехрестям пер. Театральний
- - - За перехрестям вул. Ярослава Мудрого
- До перехрестя вул. Гіршмана
- До перехрестя вул. Ярослава Мудрого
- За перехрестям вул. Гіршмана
- До перехрестя пер. Театральний

Рис. 4.8. Середній час затримки виїзду МТЗ при розміщенні зупинки до чи після перехрестя на вул. Пушкінської

З проведених розрахунків видно, що на всіх розглянутих перехрестях більш доцільним буде розміщення зупиночного пункту на мінімально допустимій відстані 20 м за перехрестям (рис. 4.7, 4.8). У разі необхідності розміщення зупинки далі ніж 20 м її раціональне місце розташування в кожному конкретному випадку буде різне. У результаті проведених досліджень було зроблено висновок про необхідність передислокації ЗП. Виходячи з цього в роботі запропоновано передислокувати зупинки на яких було виявлено затримки виїзду МТЗ (табл. 4.2, 4.3), як представлено в табл. 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4

Розміщення зупиночних пунктів на вул. Сумська

Перехрестя	Адреса зупинки	Місце розташування		Відстань від перехрестя, м	
		Факт	План	Факт	План
вул. Скрипника	вул. Сумська, 15	за	за	160	20
вул. Свободи	вул. Сумська, 48	за	за	200	20
просп. Незалежності	вул. Сумська, 43Б	до	до	72,6	30
	вул. Сумська, 80	за	за	61	20

Таблиця 4.5

Розміщення зупиночних пунктів на вул. Пушкінська

Перехрестя	Адреса зупинки	Місце розташування		Відстань від перехрестя, м	
		Факт	План	Факт	План
пер. Театральний	вул. Пушкінська, 28	до	до	13,9	30
вул. Гіршмана	вул. Пушкінська, 50/52	до	за	28,3	20
	вул. Пушкінська, 49	до	за	48,4	20
вул. Ярослава Мудрого	вул. Пушкінська, 74А	до	за	23,6	40

Слід зазначити, що перехрестя, як об'єкт дорожньої мережі має суттєвий вплив на характер руху ТП, при цьому такий вплив є різним в залежності від знаходження ТП по відношенню до перехрестя, тобто автомобілі наближаються до перехрестя або віддаляються від нього. Тому в роботі перш ніж проводити передислокацію зупинок, спочатку було визначено межі зони впливу перехрестя на ТП. Для цього було прийнято, що межею впливу перехрестя на автомобілі, які віддаляються від перехрестя є відстань на якій, автомобілі завершують прискорення і виходять на постійну швидкість руху, табл. 4.6.

$$L_v = \frac{V_a^2}{2 \cdot a_1}. \quad (4.6)$$

Таблиця 4.6

Відстань впливу перехрестя на автомобілі в залежності від швидкості та прискорення

Прискорення автомобіля, м/с	Швидкість руху автомобілів в вільному потоці, км/год.							
	10	20	30	40	50	60	70	80
0,7	6	26	46	86	140	206	258	346
0,8	6	23	40	76	123	181	226	303
0,9	5	20	36	67	109	161	201	269
1	5	18	32	61	98	145	181	242
1,1	4	16	29	55	89	131	164	220
1,2	4	15	27	50	82	120	150	202

З іншого боку відстань на якій, перехрестя починає впливати на автомобілі, які наближаються до перехрестя визначається довжиною черги автомобілів перед світлофором цього перехрестя, при цьому відстань з якої автомобілі починають гальмувати при наближенні до черги не враховується

$$L_v = n_{cp} \cdot (l_a + l_d), \quad (4.7)$$

де n_{cp} – середня кількість автомобілів в черзі, од;

l_a – середня довжина легкового автомобіля, м;

l_d – середня довжина дистанції між автомобілями, м.

$$n_{cp} = \sum_{k=1}^{K_0} \frac{k \cdot \rho^k}{1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^{K_0}}, \quad (4.8)$$

де k – кількість автомобілів, од.;

ρ – ймовірність створення черги (2.59);

K_0 – максимальна кількість автомобілів в черзі, од.

Результати розрахунку відстані до якої зберігається вплив перехрестя на ТП наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Відстань впливу перехрестя на ТП в залежності від інтенсивності ТП

Параметри	Інтенсивність ТП, авт./год.						
	500	600	700	800	900	1000	1100
Кількість автомобілів в черзі, од.	1	2	3	14	20	29	39
Відстань впливу перехрестя на ТП, м	6	12	18	84	120	174	234

З таблиць 4.6 та 4.7 видно, що вплив перехрестя на ТП зберігається в межах від 4 м до 234 м. При розміщенні зупинки за межами цієї відстані розрахунок часу затримки виїзду МТЗ після закінчення посадки та висадки пасажирів здійснюється без врахування параметрів роботи світлофора (формула 2.50). Тобто таке розміщення зупинки вважається на перегоні. В нашому випадку всі переміщення зупинок на вулицях Пушкінська та Сумська виконуються до 234 м (табл. 4.4 та 4.5), тому для визначення часу затримки виїзду МТЗ були використані розроблені аналітичні моделі, які дозволяють враховувати параметри роботи перехрестя.

Для подальшої перевірки результатів моделювання за розробленими аналітичними моделями відповідно до табл. 4.4 та 4.5 було побудовано транспортні моделі вулиць Сумська та Пушкінська в програмному продукті VISSIM в яких також було проведено передислокацію ЗП. Порівняння результатів моделювання за аналітичними моделями та моделями побудованими в програмі VISSIM дозволило провести перевірку без будь-яких матеріальних затрат та ризику для учасників дорожнього руху. При цьому використання програми VISSIM для перевірки побудованих аналітичних моделей є доцільним так як одержані результати моделювання в цій програмі дозволяють з мінімальними матеріальними та трудовими ресурсами одержати дані, які найбільш схожі до даних на реальному об'єкті. Схематичне зображення моделей вулиць Пушкінська та Сумська, які побудовані в програмі VISSIM представлено на рис. 4.9, а їх загальні параметри наведено в табл. 4.8.

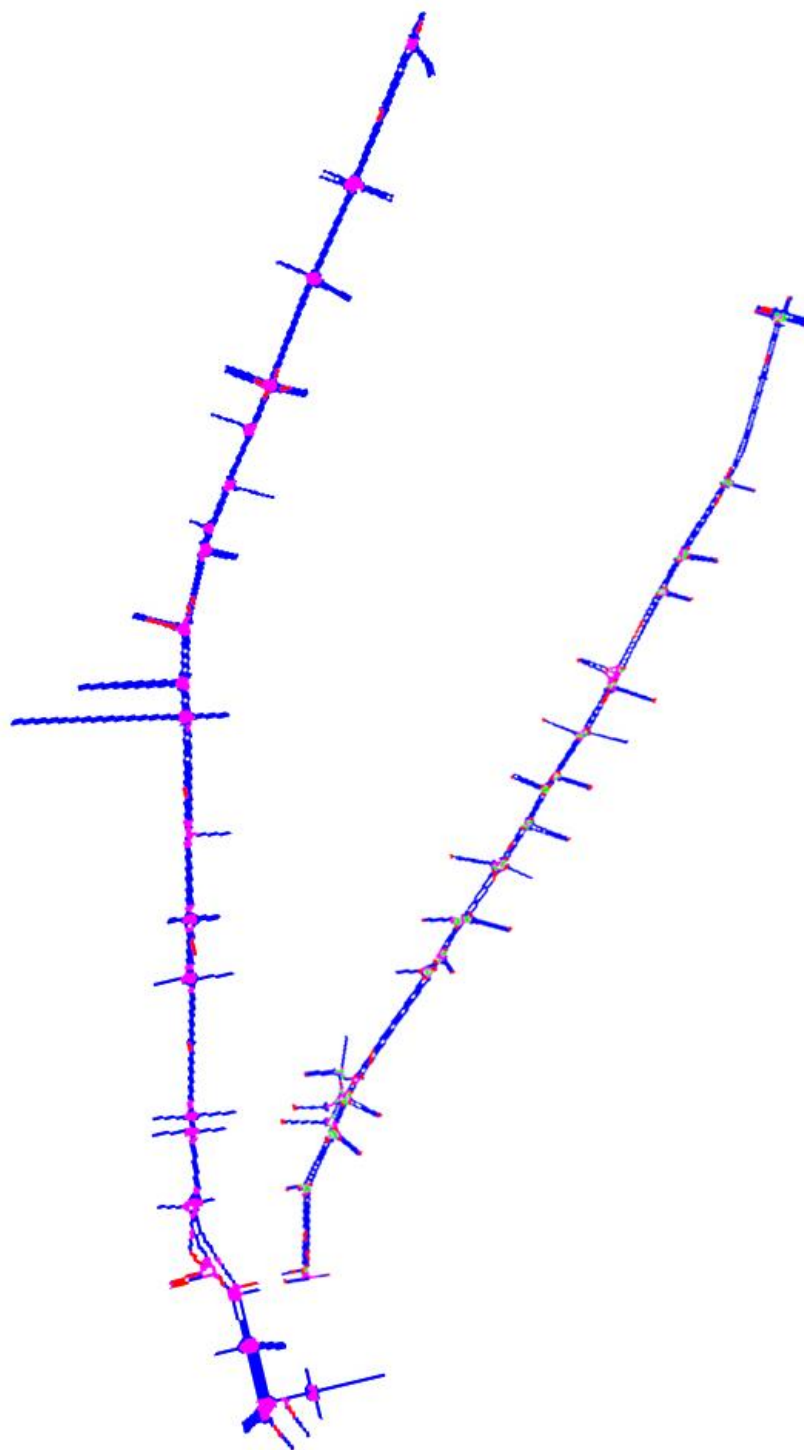
Таблиця 4.8

Характеристики транспортних моделей

Параметри	вул. Пушкінська	вул. Сумська
Довжина досліджуваної ділянки, км.	2,8	3,6
Кількість смуг руху, од.	2	2
Кількість перехресть, од.	19	21
Кількість перехресть з світлофорним регулюванням, од.	5	11
Кількість маршрутів МПТ, од.	5	10
Кількість зупиночних пунктів в обох напрямках, од.	13	12

В моделях цих вулиць в якості вхідних даних таких як, інтенсивність ТП та швидкість їх руху, які були визначені за допомогою програми VISUM [174].

Слід зазначити, що в програмі VISSIM розробниками не було закладено можливість автоматичного підрахунку часу затримки виїзду МТЗ з зупиночного пункту, тому ці досліді виконувалися спостерігачем, який фіксував за допомогою секундоміра цей час орієнтуючись на візуальну тримірну симуляцію цього процесу з екрану монітора.



а) вул. Сумська

б) вул. Пушкінська

Рисунок 4.9 – Схема транспортних моделей в програмі VISSIM

Після проведення розрахунків за розробленими аналітичними моделями та проведеними серіями дослідів на моделях побудованих в програмному продукті VISSIM [174] було одержано наступні результати, табл. 4.9.

Середній час затримки виїзду МТЗ

Адреса зупинки	Час затримки виїзду МТЗ, с		
	Натурні дослідження	Після корегування розташування зупинок	
		за розробленими моделями	в програмі Vissim
вул. Пушкінська, 50/52	6	0,93	3,5
вул. Пушкінська, 74А	7,2	3,2	4,2
вул. Пушкінська, 49	5,5	0,93	2,1
вул. Пушкінська, 28	25,5	18,2	20,5
вул. Сумська, 80	13,7	2,3	5,6
вул. Сумська, 43Б	15,3	10,05	8,2
вул. Сумська, 48	77,9	7,43	10,8
вул. Сумська, 15	25,8	2,6	4,1
Середнє значення	22,1	5,7	7,4
Загалом	176,9	45,64	59

Розроблена методика розрахунку часу затримки виїзду МТЗ з зупинки та вибору раціонального місця його розташування була застосована до вище зазначених ЗП з метою зниження транспортних затримок і часткового усунення впливу ЗП на рух ТП та зниження рівня аварійності на обраних ділянках ВДМ. Також в ході експерименту за допомогою програми VISSIM було визначено час руху громадського транспорту на зазначених вулицях [174]. Одержані середні значення наведені в табл. 4.10.

Подальше застосування даної методики на практиці дозволить скоротити кількість небезпечних ситуацій, що виникають у районі ЗП та знизити транспортні затримки громадського транспорту. В результаті перепланування розміщення зазначених зупиночних пунктів вдалося зменшити час затримки виїзду МТЗ з ЗП в середньому з 22 до 6 секунд, тобто на 73%, що дозволило зменшити час поїздки пасажирів в громадському транспорті на 9%.

Середній час руху МТЗ до та після втілення проектних рішень

Параметри	Сумська		Пушкінська	
	від центру міста	до центру міста	від центру міста	до центру міста
Час поїздки за натурними спостереженнями, с	678	573	535	438
Час поїздки до переміщення зупинок в програмі VISSIM, с	671	562	530	429
Час поїздки після переміщення зупинок в програмі VISSIM, с	597	539	482	403

ВИСНОВКИ

1. Аналіз стану питання визначення раціонального місця розташування ЗП показав, що існуюча нормативна база носить лише рекомендаційний характер і не дозволяє одержати кількісну оцінку рівня їх функціонування. При цьому наявні методики визначення раціонального місця розташування ЗП здебільшого не мають теоретичного обґрунтування й носять статистичний характер, який обмежує наукову значимість результатів лише розглянутими в дослідженні об'єктами та суттєво звужує можливості їх практичного застосування.

2. Розроблені в роботі принципи моделювання та побудовані на їхній основі аналітичні моделі часу затримки відправлення МТЗ від ЗП дозволили встановити, що найбільш доцільним, з погляду економії часу пересування пасажирів, є розміщення зупинки за регульованим перехрестям на мінімально допустимій відстані 20 м, а при розміщенні зупинки перед перехрестям - на відстані від 30 м. Областю застосування розроблених аналітичних моделей є обладнані заїзними карманами зупинки, які розміщені на дорогах з однією смугою руху або зупинки без заїзного карману, які розміщені на дорогах із двома смугами руху, якщо одна з них зайнята припаркованими автомобілями, які змушують водія МТЗ виконувати маневр виїзду на смугу руху.

3. Розроблений підхід для оцінки різних умов функціонування МТЗ на ЗП, заснований на врахуванні довгострокових тенденцій зміни попиту на поїздки автомобілів та дозволяє врахувати динамічний характер транспортного процесу за рахунок введення в модель попиту умовного транспортного району, який описує транспортну мережу, що моделюється. Облік кількості ТЗ, які перебувають на транспортній мережі ЦЧМ Харкова в моменти початку та закінчення обстеження, дозволив практично повністю, на 96 %, скоротити дисбаланс місткостей ТР по відправленню та прибуттю автомобілів в моделі попиту та отримати адекватні прогнози попиту на довгостроковий період.

4. Експериментальна перевірка адекватності аналітичних моделей показала, що відмінність між емпіричною та розробленою функцією часу затримки відправлення МТЗ з ЗП не перевищує 15% для обох випадків розміщення зупинки щодо перехрестя, що свідчить

про можливість використання цих моделей для оцінки часу затримки відправлення МТЗ з зупинки при виборі місця її розташування.

5. Оцінка умов експлуатації ЗП в ЦЧМ Харкова показала, що для кожного з розглянутих перехресть при різних значеннях інтенсивності зберігається рекомендація щодо доцільності розміщення ЗП на мінімально можливій відстані за перехрестям. При цьому підвищення значень кореспонденцій автомобілів між ТР більш ніж на 60% від сучасного рівня, приводить до значного зниження швидкості руху ТЗ на ВДМ. В таких умовах варіант розміщення ЗП практично не впливає на значення часу поїздки пасажирів в МТЗ, а поліпшення транспортної ситуації потребує інших планувальних заходів.

6. Раціональне розміщення восьми ЗП на вулицях Пушкінська та Сумська згідно розробленим у роботі рекомендаціям дозволяє зменшити час затримки відправлення МТЗ на 73% при сучасному рівні інтенсивності руху в ЦЧМ Харкова. При цьому середній час поїздки пасажирів у МТЗ на зазначених вулицях скорочується на 9%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбачов П. Ф. Закономірності зміни інтенсивності обміну транспортних засобів на елементах транспортної мережі міста / П. Ф. Горбачов, О. С. Колій // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № (36) 6/3. – С. 24 – 27.
2. Горбачов П. Ф. Закономірності формування місткості центральної частини м. Харкова по прибуттю та відправленню автомобілів / П. Ф. Горбачов, О. С. Колій // Вісник ХНАДУ. – 2010. – №49. – С. 127 – 129.
3. Горбачов П. Ф. Визначення завантаження автомобілями центральної частини м. Харкова на основі закономірностей щільності паркування. / П. Ф. Горбачов, О. С. Колій // Автомобільний транспорт. – 2010. – № 27. – С. 69 – 72.
4. Горбачов П. Ф. Моделювання прибуття і відправлення автомобілів у транспортних районах центральної частини міста Харкова. / П. Ф. Горбачов, О. С. Колій, В. М. Чижик // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2011. – №5(159). – С. 264 – 269.
5. Горбачов П. Ф. Методика расчета емкостей транспортных районов с учетом динамических процессов в транспортной системе / П. Ф. Горбачов, О. С. Колій // Автомобільний транспорт. – 2012. – № 30. – С. 139 – 143.
6. Горбачов П. Ф. Особенности формирования емкостей транспортных районов прибытия и отправления автомобилей для центральной части города Харькова / П. Ф. Горбачов, О. С. Колій // Вісник ХПІ, Збірник наукових праць. – 2013.– № 56(1029). – С. 55 – 60.
7. Горбачов П. Ф. Параметры движения маршрутного автомобильного пассажирского транспорта в центральной части г. Харькова / П. Ф. Горбачов, А. І. Воронков, О. С. Колій, І. Н. Нікітченко // Вісник ХНАДУ. – 2013.– № 60. – С. 34 – 37.
8. Горбачов П. Ф. Визначення часу затримки виїзду автобусу з зупиночного пункту в потік автомобілів / П. Ф. Горбачов, О. С. Колій // Автомобільний транспорт. – 2014. – №35. – С. 116 – 122.
9. Horbachov P. Badania procesów parkowania w centralnej części miasta Charkowa / P. Horbachov, V. Naumov, O. Koliy // zeszyty naukowo-techniczne stowarzyszeń iainżynie rów i techników

komunikacji rzeczpospolitej polskiej oddział w krakowie. – 2013. – № 1(100)72013. – P. 125 – 134.

10. Horbachov P. Estimation of the bus delay at the stopping point on the base of traffic parameters / P. Horbachov, V. Naumov, O. Koliy // Archives of Transport. – 2015. – Vol. 35(3). – P. 15 – 25.

11. Колій О. С. Визначення місткості транспортних районів з урахуванням щільності завантаження автомобілями транспортної мережі / О. С. Колій // Транспортные проблемы крупнейших городов: материалы междунар. науч.–практ. конф., Харьков, 12 – 16 марта 2012 г.: тезисы докладов. – Харьков: ХНАГХ, 2012. – С. 19 – 20.

12. Колій А. С. Методика балансировки емкостей транспортных районов прибытия и отправления автомобилей в центральной части г. Харькова / А. С. Колій // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : сб. науч. трудов по материалам междунар. науч.–техн. конф., 19 апреля 2012 г., Минск / Белорус. нац. техн. ун. – М. : БНТУ, 2013. – С. 120 – 127.

13. Колій О. С. Визначення закономірностей інтенсивності обміну автомобілів на ділянках транспортної мережі міста / О. С. Колій // Логістика промислових регіонів: зб. наук. праць за матеріалами четвертої міжнар. наук.–практ. конф., Донецьк, 23 – 25 квітня 2012 р. – Донецьк: ЛАНДОН–XXI, 2012. – С. 223 – 225.

14. Колій О. С. Визначення часу затримки виїзду автобусу з зупиночного пункту в потік автомобілів / О. С. Колій // Підвищення надійності машин і обладнання : зб. наук. праць за матеріалами восьмої всеукраїнської наук.–практ. конф. студентів та аспірантів, Кіровоград, 16 – 18 квітня 2014 р. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 164 – 166.

15. Пат. 92076 Україна, МПК G08G 1/09 (2006.01), UA 92076 U. Спосіб визначення обсягів прибуття та відправлення транспортних засобів до міського транспортного району / Денисенко О. В., Колій О. С., Свічинський С. В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно–дорожній університет. – № u 2014 02621; заявл. 17.03.14; опубл. 25.07.14, Бюл. №14.

16. Пат. 110729 Україна, МПК G08G 1/09 (2006.01), UA 110729 U. Спосіб визначення обсягів прибуття та відправлення транспортних засобів до міського транспортного району / Денисенко

О. В., Колій О. С.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно–дорожній університет. – № u2014 02622; заявл. 17.03.14; опубл. 10.02.16, Бюл. №3.

17.А. с. Методика коректування місткостей транспортних районів на основі врахування динамічних процесів у транспортній системі / О. С. Колій (Україна). – № 52553 ; зареєстровано 13.12.13.

18.Спирин И. В. Перевозки пассажиров городским транспортом : справ. пособие / Спирин И. В. – М. : ИКЦ "Академкнига", 2004. – 413 с.

19.Свічинський С. В. Формування функцій розселення міського населення для визначення потреб у перевезеннях громадським транспортом: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / С. В. Свічинський ; Харк. нац. автомоб. – дор. ун – т. – Х., 2015. – 20 с.

20.Варелопуло Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Варелопуло Г. А. – М.: Транспорт, 1990. – 208 с.

21.Дуднев Д. И. Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом / Д. И. Дуднев, М. И. Климова, А. А. Менн. – М.: Транспорт, 1974. – 296 с.

22.Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками / И. В. Спирин. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.

23.Гудков В. А. Пассажирские автомобильные перевозки / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Вельможин, С. А. Ширяев; под ред. В. А. Гудкова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 448 с.

24.Автомобільні перевезення та організація дорожнього руху: Довідник. Пер. з англ. /В. У. Ренкін, С. Халберт та ін – М.: Транспорт, 1981. р

25.Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів : ДБН В.2.3–5–2001. – [Чинний від 2001–08–01]. – К.: Управлінням інженерного захисту територій та промислової забудови Держбуду України, 2001. – 49 с.

26. Афанасьев Л. Л. Пассажирские автомобильные перевозки / Л. Л. Афанасьев, А. И. Воркут, А. Б. Дьяков и др. – М.: Транспорт, 1986. – 220 с.

27. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень : ДБН 360–92. – [Чинний від 2009–04–10]. – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 2009. – 142 с.

28. Штанов В. Ф. Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом / В. Ф. Штанов, Г. А. Поберезкин, В. И. Ищенко, А. И. Чумаченко. – Киев: Техника, 1988. – 94 с.

29. Блатнов М. Д. Пассажирские автомобильные перевозки: Учебник для автотранспортных техникумов / М. Д. Блатнов. — 3 – е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – 222 с.

30. Миронов А. Н. О создании системы изучения и спроса населения на услуги автомобильного транспорта / А. Н. Миронов, А. А. Михайлов // Совершенствование организации и управления перевозочным процессом на пассажирском автомобильном транспорте. – М.: НИИАТ, 1988. – С. 152 – 169.

31. Ефремов И. С. Теория городских пассажирских перевозок. [учеб. пособие для вузов.] / В. М. Кобозев, В. А. Юдин. — М.: Высш. школа, 1980. — 535 с.

32. Сорокин А. А. Предпосылки к формированию имитационных моделей системы городского пассажирского транспорта / А. А. Сорокин // Вузовская наука – Северо–Кавказскому региону – Ставрополь: СевКав–ГТУ. – 2006. – С. 208–209.

33. Грачев В. В. Определение пропускной способности остановочных пунктов на современном этапе развития пассажирских перевозок / В. В. Грачев, И. П. Димова // Вестник ИрГТУ. – 2008. – № 4(36). – С. 66–70.

34. Исхаков М. М. Комплексное исследование остановочных пунктов городского транспорта г. Оренбурга / М. М. Исхаков, В. И. Рассоха // Вестник ОГУ. – 2007. – № 9. – С. 207 – 214.

35. Кажаяев А. А. Снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах маршрутных сетей городского пассажирского транспорта: автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортные и транспортно–технологические системы страны, её регионов и городов, организация производства на транспорте» / А. А. Кажаяев. – М., 2012. – 19 с.

36. Єрмак О. М. Розташування зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / О. М. Єрмак; Харк. нац. акад. міськ. госп–ва. – Х., 2010. – 14 с.

37. Калюжний М. В. Визначення довжини перегону маршруту міського пасажирського автомобільного транспорту : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / М. В. Калюжний; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х., 2011. – 21 с.

38. Димова И. П. Повышение эффективности функционирования остановочных пунктов городского пассажирского транспорта и движения транспортных средств в зоне их влияния: автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / И. П. Димова. – Тюмень, 2009. – 18 с.

39. Зедгенизов А. В. Повышение эффективности дорожного движения на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта: автореф. дис. на получение науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / А. В. Зедгенизов. – Иркутск, 2008. – 20 с.

40. Пугачев И. Н. Организация и безопасность движения / И. Н. Пугачев. – Хабаровск.: ХГТУ, 2004. – 232 с.

41. Мягков В. Н. Математическое обеспечение градостроительного проектирования / В. Н. Мягков, Н. С. Пальчиков, В. П. Федоров. – Л. : Наука, 1989. – 145 с.

42. Гольц Г. А. Транспорт и расселение / Г. А. Гольц. – М. : Наука, 1981. – 248 с.

43. Ortuzar J. de D. Modelling transport. Third edition / J. de D. Ortuzar, L. G. Willumsen. – John Wiley & Sons Ltd. 2006. – 499 p.

44. Транспортная модель города Перми в программном комплексе PTV Vision Visum [Электронный ресурс] / Александра Нестерова // Центр дорожной информации. – 2012. – Режим доступа : <http://road.perm.ru/index.php?id=315>

45. Мижега Н. Я. Трудовые связи в крупном городе / Н.Я. Мижега, С. С. Мохначук, Н. Д. Пистун, В. М. Юрковский, В. Н. Пересекин. – К. : Вища школа, 1984. – 152 с.

46. Гуревич Г. А. Изучение транспортных потребностей – основа совершенствования работы пассажирского транспорта / Г.А. Гуревич, Г.И. Кузнецов, А. А. Михайлов // Автомобильный транспорт. Серия 4. Пассажирские перевозки автомобильным транспортом. Научно-технический реферативный сборник – М. : Издательство ЦБНТИ, 1980. – № 2. – С. 1 – 5.

47. Ahrens G. A. Wenn zwei das Gleiche tun, erheben sie noch lange nicht dasselbe. Die Haushaltsbefragungen, Mobilität in Deutschland / J. Hellenschmidt, F. Ließke, R. Wittwer // Internationales Verkehrswesen, Deutscher Verkehrsverlag GmbH – Hamburg. – 2007. – №6. – S. 270–274.

48. Ahrens G. A. Mobilitätsentwicklung ostdeutscher Städte Ergebnisse des Systems repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV) / F. Ließke, R. Wittwer // Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg. – 2005. – №41. – S. 1–20.

49. Ahrens G.–A. Mehr Autos – aber weniger Verkehr / F. Ließke, R. Wittwer // Eurailpress Tetzlaff–Hestra GmbH & Co. KG. – 2005. – №1/2. – S. 23–26.

50. Badrow A. Die Krux der Vergleichbarkeit / A. Badrow, F. Ließke, R. Follmer, U. Kunert // Der Nahverkehr. – 2002. – T. 20. – №. 9. – S. 20–24.

51. Ließke F. 30 Jahre System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV) auch im Land Brandenburg/ F. Ließke// MSWV–Aktuell. – 2002. – № 4. – S. 41–48.

52. Ahrens, G.–A. (K) eine nachhaltige Verkehrsentwicklung? Das System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV) als Seismograph verkehrlicher Veränderungen/G.–A. Ahrens, A. Badrow, F. Ließke // Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden. – 2000. – T. 49. – № 6. – S. 15–18.

53. Market segmentation as a result from TU Dresden's continuous travel–data collection (SrV) and related EVA travel–demandmodelling: Paper presented on the THINK–UP workshop “Segmentation of passenger markets – users“ in Dresden. – Dresden. – 2000.

54. Bundesministerium für Verkehr, Bau– und Wohnungswesen / [Dipl.–Soz. Robert Follmer]. – Berlin. – Mobilität in Deutschland, 2002. – 24 s.

55. Wermuth M. Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland – KiD. Verkehrsbefragung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau– und Wohnungswesen / M. Wermutha, H. Hautzingerb, C. Neefa, W. Stock // Institut für Verkehr und Stadtbauwesen Technische Universität Braunschweig. – 2002. – 21 s.

56. Методы сбора транспортной информации и принятия решений при создании новых дорог и системы общественного транспорта, германский опыт : материалы круглого стола

["Транспорт и экономический рост"], (2004 г.) / А. В. Астапенко, Файт Аппельт, С. А. Семенов. – Т. 16.

57. Использование GPS технологий для мониторинга транспортных и пешеходных потоков) [Электронный ресурс] / Р. Ю. Лагерева, Г. Ю. Засадьков, Т. С. Ковалева // Транспортные системы городов и зон их влияния – 2012. – С. 27–31. – Режим доступа. : <http://waksman.ru/Russian/Konference/2012/CaptV.pdf>

58. Галуев Г. А. Нейросетевая система автоматической идентификации номерных знаков автомобилей / Г. А. Галуев, А. С. Тараненко // Искусственный интеллект. – 2002. – № 4. – С. 666–674.

59. Транспортные потоки автомобильных дорог и городских улиц (практические приложения) [Электронный ресурс] / В. М. Маркуц // Транспортные системы городов и зон их влияния – 2008. – С. 101 – Режим доступа. : <http://markuts.wmsite.ru/ftpgetfile.php?id=55>

60. Заблоцкий Г. А. Транспорт в городе / Г. А. Заблоцкий. – Киев : Будивельник, 1986. – 96 с.

61. Мижега Н. Я. Трудовые связи в крупном городе / Н. Я. Мижега, С. С. Мохначук, Н. Д. Пистун, В. М. Юрковский, В. Н. Пересекин. – К. : Вища школа. Головное издательство, 1984. – 152 с.

62. Ugge Al. Matematickisy metody pri dopravnim reseni mest / Al Ugge. – Praha. 1965. – 59 s.

63. Schwarz H. Methoden zur Erstellung von Verkehrsprognosen / H. Schwarz. – Н : "Strassen und Tiefbau", 1964. – 78s.

64. Поляков А. А. Организация движения на улицах и дорогах / А. А. Поляков. – М. : Изд. "Транспорт", 1965. – 80 с.

65. Fratar T. J. Vehicular Trip Distribution by Successive Approximation / T. J. Fratar // Traffic Quarterly. – 1954. – №8. – P. 53 – 65.

66. Carrothers G. A. P. An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction / G. A. P. Carrothers // American Instit. Planners. – 1956. – № 22. – P. 94–102.

67. Wilson A. G. A statistical theory of spatial distribution models / A. G. Wilson // Transpn. Res. – 1967. № 1. – P. 253–270.

68. Wilson A. G. A family of spatial interaction models and associated developments / A. G. Wilson // Envir. & Plan. A. – 1971. – № 3. – P. 255–282.

69. Лившиц В. В. Математическая модель случайно–детерминированного выбора ее применение для расчета трудовых

корреспонденций / Лившиц В. В. – М.: ЦНИИП градостроительства, 1973. – С. 39–57.

70. Попков Ю. С. Системный анализ и проблемы развития городов / Ю. С. Попков, М. В. Посохин, А. Э. Гутнов, Б. Л. Шмульян – М.: Наука. – 1983. – 512 с.

71. Cliff A. D., Martin R. L., Ord J. K. Evaluating the friction of distance parameter in gravity models / A. D. Cliff, R. L. Martin, J. K. // Ord Regional Studies. – 1974. – № 8. – P. 281–286.

72. Sheppard E. S. Gravity parameter estimation / E. S. Sheppard // Geographical Analysis. – 1979. – № 11. – P. 120–132.

73. Лившиц В. В. Системная концентрации города и математическое моделирование адаптационного поведении городского населения / Лившиц В. В. – М.: Стройиздат, 1974. – С. 138.

74. Лившиц В. В. Калибровка и проверка гравитационной статистической модели трудовых корреспонденции / В. В. Лившиц, А. И. Стрыбников. – М.: ЦНИИП градостроительства, 1983. – С. 101.

75. Sen A. Maximum likelihood estimation of gravity model parameters / A. Sen // Regional Sci. – 1986. № 26. – P. 461–474.

76. Шацкий Ю. Л. Расчет схемы расселения и трудовых корреспонденция при разработке генерального плана города / Ю. Л. Шацкий // Развитие системы городского транспорта. Киев. – 1971. – № 4. – С. 3–14.

77. Шелейховский Г. В. Композиция городского плана как проблема транспорта / Г. В. Шелейховский. – М. : Издательство «ГИПРГОР», 1946. – 129 с.

78. Вилсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем / А. Дж. Вилсон. – М. : Наука, 1978. – 248 с.

79. Гуревич Г. А. Анализ расчетных методов построения матрицы межостановочных корреспонденций пассажиров / Г. А. Гуревич, Г. И. Кузнецов, В. Ш. Крупник // Автомобильный транспорт. Серия 4. Пассажирские перевозки автомобильным транспортом. Научно–технический реферативный сборник – М.: Издательство ЦБНТИ, 1980. – № 2. – С. 24 – 33.

80. Машина И. И. Моделирование пассажиропотоков города с использованием объемных стохастических сетей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 08.00.13 / И. И. Машина. [Институт прикладной математики и механики АН УССР]. – К., 1989. – 14 с.

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

82. Лопатин А. П. Моделирование перевозочного процесса на городском пассажирском транспорте / А. П. Лопатин. – М. : Транспорт, 1985. – 144 с.

83. Мальгин А. Н. Разработка и исследование моделей многоцелевых пере-движений населения в транспортной сети : автореф. дис. ... канд. техн. Наук 01.01.11 / А. Н. Мальгин ; [Институт социально-экономических проблем АН СССР]. – М., 1988. – 20 с.

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

85. Wilson A. G. A statistical theory of spatial distribution models / A. G. Wilson // Transpn. Res. – 1967. – № 1. – P. 253–270.

86. Wilson A. G. A family of spatial interaction models and associated developments / A. G. Wilson // Envir. & Plan. A. – 1971. – № 3. – P. 255–282.

87. Wilson A. G. Entropy in urban and regional modelling / A. G. Wilson. – London: Pion, 1970, – P. 166.

88. Popkov Yu. S. Macro systems theory and its applications / Yu. S. Popkov. – Berlin: Springer Verlag, 1995. – 230 s.

89. Harris B. Equilibrium values and dynamics of attractiveness terms in production-constrained spatial-interaction models/ B. Harris, A. G. Wilson // Envir. & Plan. – 1978. – № 10. – P. 371 – 388.

90. Haynes K. E. Gravity and spatial interaction models / K. E. Haynes, A. S. Fotheringham. – Beverly Hills : Sage publications, 1984. – Т. 2. – 333 p.

91. Fotheringham A. S. New set of spatial-interaction models: the theory of competing destinations/ A. S. Fotheringham // Envir. & Plan. A., – 1983. – № 15. – P. 15–36.

92. Fotheringham A. S. Modelling hierarchical destination choice/ A. S. Fotheringham // Envir. & Plan. A. – 1986. – № 18. – P. 401–418.

93. Stouffer S. A. Intervening opportunities: a theory relating mobility and distance / S. A. Stouffer // American Sociological Review. – 1940. – № 5. – P. 845–867.

94. Greenshields B. D. A study of traffic capacity / B. D. Greenshields // Highway Res. Board Proc. – 1934. – № 14. – 448–477 p.

95. Lighthill M. J. On kinematic waves: II. A theory of traffic on long crowded roads / M. J. Lighthill, G. B. Whitham // Proc. Roy. Soc. London, Ser. A. – 1955. – № 229. – P. 281–345.

96. Richards P. I. Shock Waves on the Highway / P. I. Richards // Oper. Res. – 1956. – № 4. – P. 42–51.

97. Уизем Дж. Б. Линейные и нелинейные волны / Дж. Б. Уизем. – М.: Мир, 1977. – 638 с.

98. Whitham G. B. Linear and Nonlinear Waves / G. B. Whitham. – N.Y.: Wiley, 1974. – 629 p.

99. Whitham G. B. Lectures on Wave Propagation / G. B. Whitham. – Berlin: Springer, 1979. – 136 p.

100. Gazis D. C. Traffic Science / D. C. Gazis. – N.Y.: Wiley, 1974. – 293 p.

101. Newell G. F. A simplified theory of kinematic waves in highway traffic, I General theory, II Queueing at freeway bottlenecks, III Multi-destination flows / Newell G. F. // Transpn. Res. B., – 1993. – № 27. – P. 281–313.

102. Daganzo C. F. A finite difference approximation of the kinematic wave model of traffic flow / Daganzo C. F. // Transpn. Res. B., – 1995. – № 29. – P. 261–276.

103. Daganzo C. F. The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory / Daganzo C. F. // Transpn. Res. B., – 1994. – № 28. – P. 269–287.

104. Daganzo C. F. The cell transmission model, Part II: Network traffic / Daganzo C. F. // Transpn. Res. B. – 1995. – № 29. – P. 79–93.

105. Payne H. J. Models of freeway traffic and control / H. J. Payne // Mathematical Models of Public Systems – 1971. – № 1. – P. 51–61.

106. Payne H. J. A critical review of a macroscopic freeway model / Payne H. J. // Research Directions in Computer Control of Urban Traffic Systems. Ed. Levine W. S. N.Y.: Amer. Soc. of Civil Engineers, – 1979. – P. 251–265.

107. Payne H. J. A macroscopic simulation model of freeway traffic / Payne H. J. // Transpn. Res. Rec., – 1979. – № 722. – P. 68–77.

108. Papageorgiou M. Applications of Automatic Control Concepts to Traffic Flow Modeling and Control / M. Papageorgiou. – Berlin: Papageorgiouч SpringerVerlag, 1983. – 186 p.

109. Rathi A. K., Lieberman E. B., Yedlin M. Enhanced FREFLO: Modeling of congested environments / A. K. Rathi, E. B. Lieberman, M. Yedlin // Transpn. Res. Rec., – 1987. – № 1112. – P. 61–71.

110. Cremer M., Traffic prediction and optimization using an efficient macroscopic simulation tool / M. Cremer M. // Modelling and Simulation 1993. Ed. Pave A., Soc. Comput. Simulation Int., Ghent., – 1993. – P. 515–519.

111. Cremer M., Papageorgiou M. Parameter identification for a traffic flow model // Automatica. – 1981. – № 17. – P. 837–843.

112. Phillips W. F. A kinetic model for traffic flow with continuum implications/ W. F. Phillips // Transpn. Plan. Technol., – 1979. – № 5. – P. 131–138.

113. Phillips W. F. A new continuum traffic model obtained from kinetic theory/ W. F. Phillips // Proc. 1978 IEEE Conf. Decision and Control. N.Y.: IEEE. – 1979. – P. 1032–1036.

114. Kühne R. D. Macroscopic freeway model for dense traffic_Stop–start waves and incident detection/ R. D. Kühne // Proc. 9th Int. Sympos. Transport. and Traffic Theory. Ed. Hamerslag R. Utrecht: VNU Science. – 1984. – P. 21–42.

115. Kühne R. D. Freeway speed distribution and acceleration noise_Calculations from a stochastic continuum theory and comparison with measurements / R. D. Kühne // Proc. 10th Int. Sympos. on Transport. and Traffic Theory. Ed. Gartner N. H. N.Y.: Elsevier. – 1987. – P. 119–137.

116. Kühne B. S. Cluster effect in initially homogeneous traffic flow/ B. S. Kühne, P. Konhauser // Phys. Rev. E., – 1993. – № 48. – P. 2335–2338.

117. Kerner B. S. Three–phase traffic theory and highway capacity / B. S. Kerner //Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2004. – № 333. – P. 379–440.

118. Kerner B. S. Cluster effect in initially homogeneous traffic flow / B. S. Kerner, P. Konhäuser // Physical Review E. – 1993. – T. 48. – №. 4. – P. 2335–2338.

119. Kerner B. S. Structure and parameters of clusters in traffic flow / B. S. Kerner, P. Konhäuser // *Physical Review E*. – 1994. – T. 50. – №. 1. – P. 54–83.
120. Kerner B. S. Deterministic spontaneous appearance of traffic jams in slightly inhomogeneous traffic flow / B. S. Kerner, P. Konhäuser, M. Schilke // *Physical Review E*. – 1995. – T. 51. – №. 6. – P. 6243 – 6246.
121. Kerner B. S. Formation of traffic jams caused by fluctuations and random processes in traffic flow / B. S. Kerner, P. Konhäuser, M. Schilke // *Proc. 7th World Conf. Transport Res. Ed. Hensher D. V. 2*. Oxford: Pergamon, – 1995. – P. 167–182.
122. Kerner B. S. Dipole–layer” effect in dense traffic flow / B. S. Kerner, P. Konhäuser, M. Schilke // *Physics Letters A*. – 1996. – T. 215. – № 1. – P. 45–56.
123. Paveri–Fontana S. L. On Boltzmann–like treatments for traffic flow: a critical review of the basic model and an alternative proposal for dilute traffic analysis / Paveri–Fontana S. L. // *Transportation Research*. – 1975. – T. 9. – № 4. – P. 225–235.
124. Helbing D. Improved fluid–dynamic model for vehicular traffic / D. Helbing // *Physical Review E*. – 1995. – T. 51. – №. 4. – C. 3164 – 3169.
125. Daganzo C. F. Requiem for second–order fluid approximations of traffic flow / C. F. Daganzo // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 1995. – T. 29. – №. 4. – P. 277–286.
126. Prigogine I. A. Boltzmann–like approach to the statistical theory of traffic flow / I. Prigogine. – Amsterdam: Elsevier, 1961. – 789 p.
127. Prigogine I. A. Boltzmann–like approach for traffic flow / I. Prigogine, F. C. Andrews // *Operations Research*. – 1960. – T. 8. – № 6. – P. 789–797.
128. Prigogine I. *Kinetic Theory of Vehicular Traffic* / I. Prigogine, R. Herman. – N.Y.: Elsevier, 1971. – 100 p.
129. Reuschel A. Fahrzeugbewegungen in der Kolonne / A. Reuschel // *Osterreichisches Ingenieur Archiv*. – 1950. – T. 4. – P. 193–215.
130. Pipes L. A. An operational analysis of traffic dynamics / L. A. Pipes // *Journal of applied physics*. – 1953. – T. 24. – № 3. – P. 274–281.

131. Chandler R. E. Traffic dynamics: studies in car following / R. E. Chandler, R. Herman, E. W. Montroll // Operations research. – 1958. – Т. 6. – № 2. – P. 165–184.
132. Gazis D. C. Nonlinear follow-the-leader models of traffic flow / D. C. Gazis, R. Herman, R. W. Rothery // Operations research. – 1961. – Т. 9. – № 4. – P. 545–567.
133. Newell G. F. Nonlinear effects in the dynamics of car following / G. F. Newell // Opns. Res. – 1961. – № 9. – P. 209–229.
134. Bando M. Structure stability of congestion in traffic dynamics / M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata, Y. Sugiyama // Jpn. J. Industr. Appl. Math. – 1994. – Т. 11. – № 2. – P. 203–223.
135. Bando M. Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation / M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata, Y. Sugiyama // Physical Review E. – 1995. – Т. 51. – № 2. – P. 1035–1042.
136. Gipps P. G. A behavioural car following model for computer simulation / P. G. Gipps // Transportation Research Part B: Methodological. – 1981. – Т. 15. – № 2. – P. 105–111.
137. Krauss S. Continuous limit of the Nagel–Schreckenberg model / S. Krauss, P. Wagner, C. Gawron // Physical Review E. – 1996. – Т. 54. – № 4. – P. 3707–3712.
138. Krauss S. Metastable states in a microscopic model of traffic flow / S. Krauss, P. Wagner, C. Gawron // Physical Review E. – 1997. – Т. 55. – № 5. – P. 5597–5602.
139. Helbing D. Generalized force model of traffic dynamics / D. Helbing, B. Tilch // Physical Review E. – 1998. – Т. 58. – № 1. – P. 133–138.
140. Traffic simulation supporting urban control system development : mobility for everyone. 4th world congress on intelligent transport systems (21–24 october 1997) / T. Bleile. – BERLIN.: ITS Congr. Association. – 1997. – 318 p.
141. Tomer E. Presence of many stable nonhomogeneous states in an inertial car-following model / E. Tomer, L. Safonov, S. Havlin // Physical review letters. – 2000. – Т. 84. – № 2. – P. 382–385.
142. Explanation of observed features of self-organization in traffic flow [Электронный ресурс] / M. Treiber, D. Helbing // Institute of Theoretical Physics, University of Stuttgart. – 1999. – Режим доступа.: <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/9901239.pdf>

143. Treiber M. Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations / M. Treiber, A. Hennecke, D. Helbing // *Physical Review E*. – 2000. – Т. 62. – №. 2. – P. 1805–1824.

144. Kesting A. Enhanced intelligent driver model to access the impact of driving strategies on traffic capacity / A. Kesting, M. Treiber, D. Helbing // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. – 2010. – Т. 368. – № 1928. – P. 4585–4605.

145. Liebner M. Driver intent inference at urban intersections using the intelligent driver model / M. Liebner, et al. // *Intelligent Vehicles Symposium*. – 2012. – № 4. – P. 1162–1167.

146. Modeling and software tools for freeway operational planning [Электронный ресурс] / А. А. Куржанский // *Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley*. – 2007. – P. 175. – Режим доступа.: <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2007/EECS-2007-148.pdf>

147. Куржанский А. А. Роль макро моделирования в активном управлении транспортной сетью / А. А. Куржанский, А. Б. Куржанский, П. Варайя // *Труды МФТИ*. – 2010. – Т. 2. – № 4(8). – С. 100–118.

148. Daganzo C. F. The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory / C. F. Daganzo // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 1994. – Т. 28. – № 4. – P. 269–287.

149. Daganzo C. F. The cell transmission model, Part II: Network traffic / C. F. Daganzo // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 1995. – Т. 29. – № 2. – P. 79–93.

150. Sumalee A. Stochastic cell transmission model (SCTM): A stochastic dynamic traffic model for traffic state surveillance and assignment / A. Sumalee et al. // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 2011. – Т. 45. – № 3. – P. 507–533.

151. Hadiuzzaman M., Qiu T. Z. Cell transmission model based variable speed limit control for freeways/ M. Hadiuzzaman, T. Z. Qiu // *Canadian Journal of Civil Engineering*. – 2013. – Т. 40. – № 1. – P. 46–56.

152. Фон Нейман, Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов / Дж. Фон Нейман. – М.: УРСС, 2010. – 384 с.

153. Cremer M. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations / M. Cremer, J. Ludwig // *Mathematics and Computers in Simulation*. – 1986. – Т. 28. – № 4. – P. 297–303.
154. Nagel K. A cellular automation model for freeway traffic / K. Nagel, M. Schreckenberg // *Journal de physique I*. – 1992. – Т. 2. – № 12. – P. 2221–2229.
155. Chowdhury D. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems / D. Chowdhury, L. Santen, A. Schadschneider // *Physics Reports*. – 2000. – Т. 329. – № 4. – P. 199–329.
156. Nagatani T. The physics of traffic jams / T. Nagatani // *Reports on progress in physics*. – 2002. – Т. 65. – № 9. – P. 1331–1386.
157. Nagel K. Deterministic models for traffic jams / K. Nagel, H. J. Herrmann // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. – 1993. – Т. 199. – № 2. – P. 254–269.
158. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic / K. Nagel, M. Schreckenberg // *Journal de physique I*. – 1992. – Т. 2. – № 12. – P. 2221–2229.
159. Осетрін М.М., Стельмах О.В. Особливості автомобілізації міст України. // *Науково – технічний збірник КНУБА*. – Київ: КНУБА. – 2000.
160. Закон України про дорожній рух [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF/page>
161. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт. – М.: Мир, 1966. – 286 с.
162. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
163. Cascetta E. Transportation systems engineering: theory and methods / E. Cascetta. – U.S.A.: Springer Science & Business Media, 2013. – Т. 49. – 736 p.
164. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов / Е. М. Лобанов – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
165. Шацкий Ю. А. Расчет схемы расселения и трудовых корреспонденции при разработке генерального плана города / Ю. А. Шацкий // *Журн. Развитие системы городского транспорта*. – 1971. – №4. – С. 3 – 14.

166. Ефремов И. С. Городской пассажирский транспорт и АСУ транспорта : [конспект лекций] / И. С. Ефремов, Г. А. Гольц; под ред. В. М. Кобозева. – М.: Наука, 1988. – 480 с. – Теория городских пассажирских перевозок; часть первая.

167. Горбачев П. Ф. Основы теории транспортных систем : учеб, пособие / П. Ф. Горбачев, И. А. Дмитриев – Х. : Издательство ХНАДУ, 2002. – 202 с.

168. Ortuzar J. de D. Modelling transport. Fourth edition / J. de D. Ortuzar, L. G. Willumsen. – John Wiley & Sons Ltd. 2011, – 586 p.

169. Россолов А. В. Влияние условий передвижения на выбор пары «жильё-работа» / П. Ф. Горбачёв, А. В. Россолов // Автомобильный транспорт. – 2007. – № 21. – С. 64 – 68.

170. Горбачов П. Ф. Оцінка впливу транспортних факторів на результати вибору людиною робочого місця / П. Ф. Горбачов // Вестник Харьковского национального автомобильно–дорожного университета. – 2008. – № 43. – С. 86 – 91.

171. Горбачов П. Ф. Оцінка ймовірності вибору одного з трьох робочих місць внаслідок економії часу пересування / П. Ф. Горбачов // Вестник ХНАДУ : Сборник научн. трудов. – 2009. – № 45. – С. 51 – 53.

172. Mokhtarian P. L. Modeling Employees' Perceptions and Proportional Preferences of Work Locations : The Regular Workplace and Telecommuting Alternatives / P. L. Mokhtarian, M. N. Bagley // Transportation Research. – 2000. – Part A № 34 (2000). – P. 223 – 242.

173. Россолов А. В. Совершенствование интервальной концепции определения спроса на услуги пассажирского маршрутного транспорта в крупных городах: дис. ... кандидата технических наук.: 05.22.01 / Россолов Александр Викторович. – Х., 2012. – 215 с.

174. Колій О. С. Рациональне розташування зупиночних пунктів автобусних та тролейбусних маршрутів відносно регульованих перехресть: дис. ... кандидата технических наук.: 05.22.01 / Колій Александр сергійович. – Х., 2017. – 247 с.

175. Венецкий И. Г. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе / И. Г. Венецкий, В. И. Венецкая. – М.: Статистика, 1979. – 447 с.

176. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман – М.: Высш. шк., 2004. – 479 с.
177. Вуколов Э. А. Основы статистического анализа / Э. А. Вуколов, – М.: Форум, 2004. – 462 с.
178. Минько А. А. Статистический анализ в MS EXCEL / А. А. Минько – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 448с.
179. Бурко Д. Л. Подход к определению перспективного уровня автомобилизации в городах / Д. Л. Бурко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Вып. № 6/6.– С. 33–36.
180. Voerner W. M., Ho C-M., and Foo B. Y., Use of Radon's projection theory in electromagnetic inverse scattering. / W. M. Voerner, IEEE Trans. Antennas Propagat. vol. AP – 24, p. 360 – 367, Mar 1981.
181. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки : ДСТУ 4092–2002. – [Чинний від 2003–01–01]. – К.: Держстандарт України, 2003. – 27 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ	5
1.1 Аналіз сучасного стану питання визначення раціонального розташування зупиночних пунктів	5
1.2 Існуючі розрахункові методи визначення місця розташування зупиночних пунктів.....	9
1.3 Аналіз існуючих підходів до моделювання транспортних потоків	11
1.4 Особливості розташування зупиночних пунктів	27
Висновки	31
2 РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДИК ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	33
2.1 Аналітичне моделювання часу затримки виїзду МТЗ з зупинки .	34
2.2 Формування методики визначення місткостей транспортних районів	56
2.3 Теоретичні основи корегування сумарних місткостей транспортних районів та розрахунку матриці кореспонденцій	59
Висновки	69
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ТА ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ	70
3.1 Побудова транспортної моделі центральної частини м. Харкова	71
3.2 Результати та обробка інформації для формування моделі попиту на пересування автомобілів.....	74
3.3 Моделювання інтенсивності руху автомобілів в центральній частині міста Харкова	83
3.4 Експериментальна оцінка основних характеристик руху транспортних засобів	93
Висновки	96
4 ОЦІНКА АДИКВАТНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ПРАКТИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ	98
4.1 Моделювання раціонального розташування зупиночного пункту відносно регульованого перехрестя	99

4.2	Оцінка адекватності розробленої моделі визначення раціонального розташування зупиночного пункту відносно регульованого перехрестя	102
4.3	Розробка практичних рекомендацій і оцінка ефективності дослідження.....	106
	ВИСНОВКИ.....	116
	Список літератури	118

Наукове видання

ГОРБАЧОВ Петро Федорович
МАКАРИЧЕВ Олександр Володимирович
КОЛІЙ Олександр Сергійович

**РАЦІОНАЛЬНЕ РОЗТАШУВАННЯ
ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ АВТОБУСНИХ ТА
ТРОЛЕЙБУСНИХ МАРШРУТІВ ВІДНОСНО
РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ**

Монографія

Відповідальний за випуск *П.Ф. Горбачов*

Авторська редакція