

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ТАРАБАН СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 656.11

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОДИ І МОДЕЛІ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

05.22.01 – транспортні системи

27 Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

_____ С. М. Тарабан

Науковий керівник –
Данчук Віктор Дмитрович
доктор фізико-математичних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02

_____ В. І. Каськів

Київ – 2018

АНОТАЦІЯ

Тарабан С.М. Методи і моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 «Транспортні системи» (275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)) Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2018.

У **вступі** розкрито сутність і стан наукової проблеми, обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано її мету і конкретні задачі, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів досліджень.

У **першому розділі** виконано аналіз літературних відомостей про існуючі підходи, методи і моделі оптимізації та раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах.

Розглянуто питання щодо облаштування і впорядкованості міських шляхів сполучення – вулиць і доріг, на яких повинні бути забезпечені безпечні та комфортні умови дорожнього руху, високі показники надійності за рахунок поліпшення якісних характеристик і технічного стану вулично-дорожньої мережі (ВДМ). Особливу увагу приділено питанням становлення та розвитку класифікації вулиць і доріг населених пунктів.

Проведено системно-історичний аналіз етапів становлення та розвитку методів моніторингу транспортних потоків у містах, у тому числі автоматизованих систем управління дорожнім рухом у частині збору та обробки первинних даних про параметри дорожнього руху. Розглянуто основні методи і підходи в області математичного моделювання транспортних потоків, у тому числі теоретико-методологічні основи в області моделювання завантаженості ВДМ транспортними потоками (розглянуто моделі розрахунку кореспонденцій та розподілу транспортних потоків на мережі). Обґрунтовано необхідність подальшого розвитку методів і моделей раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста.

Другий розділ присвячений дослідженню проблем формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ. Тут, зокрема, проведено аналіз існуючого структурного стану ВДМ найзначніших міст України (на прикладі міста Києва), розвинуто метод кластерного аналізу для опису структури ВДМ міста, розроблено метод формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ.

Проведено аналіз існуючого структурного стану ВДМ м. Києва, який в цілому вказує на те, що наразі структурний стан ВДМ міста являє собою множину елементів (вулиць і доріг) з явно вираженою неоднорідністю структурних ознак (протяжність, площа проїзної частини). З огляду на це, проведено кластерний аналіз структурних елементів ВДМ, який дозволив зменшити її розмірність для вивчення структурних і функціональних особливостей мережі, виявлення проблемних і потенційно проблемних ділянок доріг, а також пошуку шляхів, що забезпечать ефективне функціонування автотранспортних потоків на ВДМ.

Формування однорідних кластерів здійснювалося за допомогою методу k-середніх кластерного аналізу, поетапно, з різною кількістю кроків розбиття, окремо для кожної категорії вулиць і доріг, до тих пір, поки не було досягнуто мінімальних розбіжностей між значеннями аналізованих структурних ознак елементів мережі у кожному сформованому кластері.

Отримано кластери (підмножини) елементів ВДМ з подібними структурними ознаками, які істотно відрізняються, якщо ці підмножини порівнювати одну з одною. Проведено ідентифікацію вулиць і доріг (типових елементів ВДМ), що мають структурні ознаки, які наближаються до середньостатистичних значень сформованих кластерів, і дають в цілому загальне уявлення, як про структурний стан елементів кожного кластеру, так і загалом про ВДМ міста. Отримані результати такої кластеризації елементів ВДМ можуть слугувати репрезентативною моделлю для аналізу функціонування автотранспортних потоків на ВДМ не тільки вітчизняних, але й також закордонних мегаполісів.

На прикладі ВДМ Шевченківського району міста Києва проведено опис та показано особливості застосування розробленого методу формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків. Вулична мережа цього району є досить насиченою та достатньо розгалуженою, про що свідчать, зокрема результати проведеного кластерного аналізу.

Формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків здійснюється шляхом реалізації покрокової процедури знаходження репрезентативних елементарних ділянок ВДМ. За елементарну ділянку приймається частина вулиці або дороги між двома найближчими перехрестями.

На першому кроці, ВДМ міста розбивається на елементи, тобто вулиці і дороги за категоріями відповідно до чинної класифікації доріг. Далі, для кожної категорії елементи міської мережі діляться на елементарні ділянки, яким властиві певні групові та індивідуальні структурні ознаки.

В якості групових ознак розглядаються структурна конфігурація елементарної ділянки та параметри поперечного профілю проїзної частини ділянки, а в якості індивідуальної ознаки – параметри повздовжнього профілю проїзної частини ділянки.

На наступному кроці формуються однорідні групи, що містять елементарні ділянки зі спільними груповими структурними ознаками. Після чого, в межах кожної сформованої групи, за допомогою ієрархічного методу кластерного аналізу ідентифікуються репрезентативні ділянки.

За наведеними вище принципами, для ВДМ Шевченківського району м. Києва були знайдені репрезентативні елементарні ділянки, що зменшують розмірність досліджуваної множини елементів ВДМ району приблизно у 15 разів.

У **третьому розділі** наведено результати щодо удосконалення методу моделювання зміни (динаміки) величини інтенсивності руху на основі вибіркового моніторингу автотранспортних потоків з використанням математичного апарату штучних нейронних мереж (НМ).

Застосування НМ для моделювання динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків передбачає, зокрема, формування набору даних щодо

інтенсивності руху, нормування даних, видалення циклічних закономірностей, що дозволить НМ виявити нетривіальні (неперіодичні) залежності і взаємозв'язки, навчання НМ різної архітектури та вибір кращої моделі, моделювання та прогнозування інтенсивності руху (з різним періодом упередження – часовим горизонтом прогнозу).

Формування навчальних вибірок НМ здійснювалось на репрезентативних ділянках, отриманих за результатами досліджень, проведених у попередньому розділі, а також деяких інших ділянках ВДМ Шевченківського району міста Києва. При цьому, на цих ділянках проводились численні натурні спостереження за динамікою величини інтенсивності руху, в дні тижня для яких зберігається певна закономірність добового ходу інтенсивності руху. Значення величини інтенсивності руху, які було отримано за результатами експерименту аналізувалися у вигляді емпіричного часового ряду, який розбивався на рівні часові інтервали. В межах кожного інтервалу відокремлювались періоди спостереження і прогнозування.

Розроблено 34 моделей НМ, які охоплюють різні періоди в добовому інтервалі часу. Для більшості побудованих моделей показник відношення стандартних відхилень (*S.D. ratio*) є значно меншим одиниці, що засвідчує хорошу якість регресії; це також підтверджується високими коефіцієнтами кореляції між прогнозними та цільовими вихідними значеннями моделей НМ. Крім того, адекватність розроблених моделей також підтверджено шляхом порівняння модельних оцінок величини інтенсивності з даними експерименту, що не входили до складу навчальної вибірки НМ.

Разом з тим отримано результати, що вказують на наявність типових зв'язків і закономірностей в динаміці величини інтенсивності руху на елементарних ділянках ВДМ, які входять до складу однієї однорідної групи. Це дало підстави для висновку про можливість застосування моделей НМ, які навчаються на отриманих даних в результаті натурних спостережень на репрезентативній ділянці, для моделювання відповідних процесів на будь-якій ділянці мережі в межах відповідної однорідної групи.

Метод моделювання динаміки величини інтенсивності руху є складовою моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах. Цей метод, як доповнення до імітаційної електротехнічної аналогової моделі аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ дозволяє забезпечити оптимізацію функціонування автотранспортних потоків на ВДМ з урахуванням прогнозних оцінок щодо наповнення відповідної мережі автотранспортними потоками.

У **четвертому розділі** розглянуто результати удосконаленої імітаційної електротехнічної аналогової моделі аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста (у тому числі способи реалізації моделі) та розробленої моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах.

Імітаційна електротехнічна аналогова модель, що представлена в даній дисертаційній роботі, на відміну від найближчих аналогів, найбільш повно розкриває аналогії в закономірностях функціонування автотранспортних потоків на ВДМ та перебігу процесів в електричних колах. В цій моделі, зокрема, точковий електричний заряд приймається за одиничний елемент автотранспортного потоку; сила струму, що проходить через електричний опір відображає інтенсивність автотранспортного потоку на відповідній ділянці ВДМ; ділянки мережі представлені електричними опорами, провідність яких визначає пропускну здатність відповідних ділянок мережі.

Відповідно до моделі, структурна конфігурація ВДМ може мати різну електричну інтерпретацію. Зокрема, мережа може бути представлена у вигляді електричної схеми, в якій перехрестя доріг моделюються окремими вузлами, а ділянки доріг між двома перехрестями – електричними опорами. При іншій інтерпретації – кожен ділянку ВДМ в електричній схемі моделюють послідовним з'єднанням діода та опора, що в цілому для електричної схеми відображатиме параметри конфігурації структурних елементів та організацію руху на ВДМ.

Обов'язковою умовою електричного моделювання є те, що сумарний вхідний і сумарний вихідний автотранспортні потоки для модельованої ВДМ

повинні бути однаковими. В масштабі міського кварталу емпіричні дослідження сумарних вхідних та вихідних автотранспортних потоків протягом доби показали, що розходження цих потоків не перевищує 4%.

На прикладі реального фрагменту мережі, до складу якої, входять 40 елементарних ділянок (13 ділянок – це ділянки вхідних і вихідних автотранспортних потоків) розглянуто ключові аспекти оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ на основі електричного моделювання.

Цільовою функцією оптимізації є максимізація пропускної здатності ВДМ, яка залежить від рівня завантаженості ділянок ВДМ. Параметри, що варіюються – завантаженості ділянок ВДМ. Математична модель – імітаційна електротехнічна аналогова модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ.

Оптимізація досягається шляхом перерозподілу автотранспортних потоків на ділянках ВДМ з метою розвантаження перевантажених ділянок для забезпечення більш повного і рівномірного завантаження ВДМ в цілому. Головний ефект при цьому полягатиме у підвищенні швидкості руху на перевантажених ділянках і в цілому на мережі, зниженні собівартості перевезень і аварійності на вулицях та дорогах міста тощо.

Проведено електричне моделювання розподілу автотранспортних потоків (на базі електричної схеми реального фрагменту ВДМ Шевченківського району міста Києва), за результатами якого для кожної ділянки ВДМ встановлено рівень завантаженості, а для мережі в цілому – розподіл рівнів зручності руху. Встановлено, що пропускна здатність даного фрагменту ВДМ, за умови що рівень завантаженості її ділянок не перевищує 0,7, становить приблизно 4900 авт./год. при поточній організації руху.

Разом з тим, проведено оптимізацію розподілу автотранспортних потоків, на підставі якої встановлено, що пропускна здатність даного фрагменту мережі в цілому може бути підвищена на 32%, до показника 6800 авт./год, що досягається,

зокрема, за рахунок більш повного використання автомобілями ширини проїзної частини окремих перевантажених ділянок (виключно для руху).

На основі проведених досліджень розроблено модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах, яка передбачає здійснення трьох логічно пов'язаних між собою етапів, а саме: формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ міста, адекватного прогнозування з достатнім ступенем деталізації інтенсивності руху на ділянках ВДМ відповідної мережі, аналіз і оптимізацію функціонування автотранспортних потоків на ВДМ (з урахуванням прогнозних оцінок щодо наповнення ВДМ автотранспортними потоками).

Ключові слова: автотранспортний потік, вулично-дорожня мережа, електричне моделювання, елементарна ділянка, кластерний аналіз, нейронні мережі, репрезентативна елементарна ділянка.

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних науково-метричних баз:

1. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Система класифікації елементів вулично-дорожньої мережі міста. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харків, 2013. Вып. 63. С. 111-116.

URL (Index Copernicus):

<https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=787374>

URL (РИНЦ): <https://elibrary.ru/item.asp?id=21486033>

2. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Прогнозування динаміки інтенсивності автотранспортних потоків. *Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Systems and means of motor transport. Selected problems*. 2014. Monografianr 5. Seria: TRANSPORT. Rzezów. P. 231-238.

Статті у фахових виданнях України:

3. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2010. № 21 (2). С. 28-32.

4. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електротехнічна модель розподілу транспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. Київ, 2011. Вип. 8. С. 45-49.

5. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання мережі наземних шляхів сполучення. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2013. Вип.88. С.3-9.

6. Тарабан С.М. Сучасний стан та тенденції розвитку вулично-дорожньої мережі м. Києва. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2013. Вип. 90. С.24-32.

7. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Мережа моніторингу автотransпортних потоків у вулично-дорожній мережі великого міста. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. № 30 (1). С. 86-94.

8. Курач Т.М., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Картографічне забезпечення системи моніторингу автотransпортної мережі великого міста. *Вісник геодезії та картографії*. Київ, 2014. № 6. С. 6-10.

9. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електричне моделювання міських автотransпортних потоків. *Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ»: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків, 2015. №46. С.109-114. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/18902>

Опубліковані праці апробаційного характеру:

10. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання поля забруднення вулично-дорожньої мережі міста. *Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Екологічний інтелект – 2011»*: тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. С.57-58.

11. Олійник Р.В. Тарабан С.М. Управління транспортними потоками міста на основі електротехнічної моделі. *Науково-практична конференція, приурочена 100-річчю з дня народження Юрія Юркевича*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 28.

12. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання транспортних потоків розгалуженими електричними колами. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 77.

13. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Прогнозування мікроскопічних особливостей транспортних потоків часовими рядами. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 77.

14. Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Оцінка поля забруднення атмосферного повітря автотранспортом. *Матеріали доповідей VII Міжнародної XVIII Традиційної науково-практичної конференції «Екологічний інтелект – 2012»*: тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. С. 26-27.

15. Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Класифікаційний аналіз вулично-дорожньої мережі мегаполісу. *Матеріали доповідей VII Міжнародної XVIII Традиційної науково-практичної конференції «Екологічний інтелект – 2012»*: тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. С. 189-190.

16. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Багатомірне моделювання структурних взаємозв'язків вулично-дорожньої мережі. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2012. С. 75-76.

17. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Класифікація вулиць та доріг за допомогою статистичних методів (на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Києва) *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2014. С. 68.

18. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Нейромережевий метод прогнозування параметрів дорожнього руху. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників*

відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ: НТУ, 2015. С. 82.

19. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електричне моделювання автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ: НТУ, 2016. С. 73.*

20. Тарабан С.М. Моделювання і оптимізація функціонування автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста *Всеукраїнська науково-практична конференція «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів»: тези доповідей. Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка», 2016. С. 40-42.*

21. Тарабан С.М. Системна модель оптимізації функціонування автотранспортних потоків у містах. II *Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання»: тези доповідей. Львів: Львівська політехніка, 2017. С.104-105.*

22. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Системна модель оптимізації функціонування автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ: НТУ, 2017. С. 87-88.*

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір:

23. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір №39522 «Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків» / В.Д. Данчук, В.І. Кривенко, Р.В. Олійник, С.М. Тарабан (Україна). – №39732; заявл. 01.06.2011; зареєстр. 08.08.2011.

24. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір №42351 «Мережевий метод оцінки поля забруднення на прилеглих до автомагістралей територіях» /

В.Д. Данчук, С.І. Сніжко, Р.В. Олійник, С.М. Тарабан (Україна). – № 42527 заявл.21.12.2011. зареєстр 21.02.2012.

Патенти на винаходи (корисну модель):

25. Пат. 85069 Україна, МПК G08G 1/00, G05B 17/00. Спосіб регулювання та завантаження вулично-дорожньої мережі міста транспортними потоками / Данчук В.Д., Карандаков Г.В., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2013 05607; заявл. 30.04.2013; опубл. 11.11.2013, бюл. № 21.

26. Пат. 86586 Україна, МПК E01C 1/00. Аналогова модель транспортної системи / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2013 06237; заявл. 20.05.2013; 10.01.2014, Бюл. № 1.

27. Пат. 95712 Україна, МПК B60W 40/00. Спосіб вибіркового моніторингу просторово-часового розподілу автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2014 02495; заявл. 13.03.2014; опубл. 12.01.2015, Бюл.№ 1.

28. Пат. 96168 Україна, МПК B60W 40/00. Спосіб оцінки завантаженості вулично-дорожньої мережі міста автотранспортними потоками / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u201402497; заявл. 13.03.2014; опубл. 26.01.2015, Бюл.№ 2.

29. Пат. 108878 Україна, МПК E 01 C 1/00, G 08 G 1/00. Спосіб електричного аналогового моделювання вулично-дорожньої мережі міста / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Кривенко В.І., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u201510118; заявл. 16.10.2015; опубл. 10.08.2016, Бюл.№ 15.

ABSTRACT

Taraban S.M. Methods and models of the rational organization of the functioning of traffic flows on the city's road network. – Scientific qualification work manuscript copyright.

Thesis work for the PhD in Technical Sciences in specialty 05.22.01 «Transport systems» (275 Transport technologies (for automobile transport)) National Transport University of Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2018.

The introduction reveals the subject matter and state of the scientific problem, substantiates the relevance of the work, formulates its purpose and specific tasks, scientific novelty and the practical value of the research results.

The first section gives the analysis of the literary information about existing approaches, methods and models of optimization and rational organization of traffic flows functioning in cities.

Issues concerning the arrangement and ordering of city communication routes - streets and roads on which safe and comfortable traffic conditions should be ensured, high reliability indicators due to the improvement of qualitative characteristics and technical condition of the SRN (special attention is paid to the issues of formation and development of streets and roads populated localities classification) have been treated.

The system-historical analysis of the stages of formation and development of methods for monitoring traffic flows in cities, including automated traffic control systems in the area of collecting and processing the primary data on road traffic parameters, has been carried out. The main methods and approaches in the field of mathematical modeling of traffic flows are considered, including theoretical and methodological bases in the field of modeling of SRN by traffic flows loading (models of correspondence calculation and traffic flows distribution on the network are considered). The necessity of further development of methods and models of rational organization of traffic flows functioning on the internal road network is substantiated.

The second section is devoted to the research of the formation problems of a rational monitoring network of traffic flows on the SRN. Here, in particular, an analysis of the existing structural state of the SRN of the most important Ukrainian cities (Kyiv

city as an example) has been done, the method of cluster analysis has been explicated to describe the city's SRN structure, the method of a rational network formation for the monitoring traffic flows on the SRN has been developed.

An analysis of the existing structural status of the SRN in Kyiv has been carried out, which in general indicates that at present the structural state of the city's SRN is a plurality of elements (streets and roads) with a clearly expressed heterogeneity of structural features (length, area of the traffic way). Taking this into consideration, a cluster analysis of the structural elements of the SRN has been carried out allowing to reduce its dimension to study the structural and functional features of the network, to identify problematic and potentially problematic sections of the roads, and to find the ways to ensure the efficient traffic flows functioning on the SRN.

The formation of the homogeneous clusters has been carried out using the k-medium cluster analysis method, in stages, with a different number of split steps, separately for each category of streets and roads, until the minimum differences between the values of the analyzed structural features of the network elements in each formed cluster have been achieved.

Clusters (subsets) of SRN elements with similar structural features are obtained, which differ considerably if these subsets are compared with each other. The identification of streets and roads (typical elements of the SRN) that have structural features that are close to the average values of the formed clusters, and basically give a general idea both of the structural state of the elements of each cluster, and of the city's road network on the whole, has been conducted. The results of such SRN elements clustering can serve as a representative model in the analysis of the traffic flows functioning on the SRN not only of Ukrainian but also of foreign megacities.

On the example of the SRN of Shevchenkivskyi district of the city of Kyiv, the description and features of the application of the developed method of forming a rational network of traffic flows monitoring are shown. The street network in this area is quite rich and sufficiently branched as can be evidenced by, in particular, the results of a cluster analysis.

The formation of a rational network for traffic flows monitoring is carried out by implementing a step-by-step procedure for finding representative elementary areas. A part of the street or road between the two nearest cross-roads is taken for an elementary area.

At the first step, the city's SRN is divided into elements, in other words, into streets and roads by categories according to the current roads classification. Then, the elements of the city network for each category are divided into elementary areas, which are characterized by the certain group and the individual structural features.

As group characteristics are considered the structural configuration of the elementary area and the parameters of the cross profile of the traffic way section, and as individual characteristics are seen the long-edge profile parameters of the traffic way section.

At the next step, the homogeneous groups that contain elementary areas with common group structural features are formed. After that, the representative areas within each of the formed groups, using the hierarchical method of the cluster analysis, have been identified.

According to the aforementioned principles, the representative elementary areas for Shevchenkivskyi district SRN of the city of Kyiv that reduce the dimension of this road network by approximately 15 times have been found.

The third section reveals the results of improving the method of modeling the change (dynamics) of the intensity of traffic on the basis of the selective traffic flows monitoring using the mathematical apparatus of artificial neural networks (NN).

NN application for modeling the change (dynamics) of the intensity of traffic flows, in particular, involves the set of data on traffic intensity formation, data rationing, the elimination of cyclic regularities that will allow NN to detect non-trivial (non-periodic) dependencies and interconnections, teaching the NN of different architecture and the choice of a better model, modeling and prediction of traffic intensity (with a different bias period - the time horizon of the forecast).

The formation of NN educational samples has been carried out on the representative areas obtained on the basis of the research results, conducted in the

previous section, as well as, in some other sections of the Shevchenkivskyi district road network of the city of Kyiv. Moreover, the numerous field studies of the change (dynamics) of the magnitude of the intensity of traffic, in the days of the week for which a certain regularity of the daily flow of traffic intensity is maintained, have been conducted on these areas. The values of the traffic intensity, obtained by the results of the experiment, have been analyzed in the form of an empirical time series, which has been divided into time intervals. The periods of observation and forecasting have been separated within each interval.

34 NN models that cover different periods in a daily time interval have been developed. For most constructed models, the ratio of standard deviations (S.D. ratio) is significantly lower than one, which indicates the good regression quality; this can be also confirmed by the high correlation coefficients between the predicted and target values of the NN models. Additionally, the adequacy of the developed models is also confirmed by comparing the model intensity values with the experimental data that have not been the part of the NN scientific subset.

At the same time, the results indicating the existence of typical relationships and regularities in the dynamics of the magnitude of the traffic intensity on the elementary sections of the road network, which are part of a single homogeneous group have been obtained. This has given grounds for the conclusion that it is possible to use the NN models, which are studied on the data obtained as a result of field studies in a representative area, for modeling the corresponding processes on any network segment within a single homogeneous group.

The method of modeling the dynamics of the traffic intensity magnitude is an integral part of the model of rational organization of the traffic flows functioning in cities. This method, as an addition to the simulated electric analogue model for analyzing and optimizing the operation of traffic flows on the road network, allows to optimize the functioning of traffic flows on the road network, taking into account the forecast values for filling the corresponding network by traffic flows.

The fourth section reveals the results of the improved electrical-engineering analogue model of optimization of traffic flows operation in city's SRN (including

methods of implementing the model) and the developed system model of rational organization of the traffic flows functioning in cities.

The electrical-engineering analogue model presented in this thesis work, in contrast to the nearest analogues, most fully reveals the analogies in the regularities of the traffic flows functioning on the SRN and the flow of processes in electric circuits. In this model, in particular, the point electric charge is taken as a single element of the traffic flow; the strength of current that passes through the electrical resistance reflects the intensity of the traffic flow on the corresponding SRN section; network sections are represented by electric structures, whose conductivity determines the carrying capacity of the relevant network sections.

According to the model, the SRN structural configuration can have different electrical interpretations. In particular, the network can be represented as an electrical circuit in which the cross-roads are modeled by individual stations, and the road sections between the two crossroads are modeled by electric structures. According to another version, each section of the SRN in the electric circuit is modeled by a serial connection of the diode and the structure, which in general for the electrical circuit will reflect the parameters of the structural elements configuration and the organization of traffic on the road network.

A prerequisite for electric modeling is that the total input and total outgoing traffic flows for the modeled SRN should be the same. At the scale of the city quarter, the empirical studies of total incoming and outgoing traffic flows during the day have showed that the difference in these flows does not exceed 4%.

On the example of the real network fragment, which consists of 40 elementary sections (13 sections are the areas of input and output traffic flows), the key aspects of optimizing the traffic flows functioning on the SRN on the basis of electric modeling are considered.

The target optimization function is to maximize the carrying capacity of SRN, which depends on the level of SRN sections loading. Parameters that vary are the SRN loading levels. The mathematical model is an imitation electrical-engineering analogue model of optimization of traffic flows operation in city's road network.

Optimization is achieved by the traffic flows redistribution on SRN sections aiming to unload the overloaded areas to ensure the more complete and even loading of the SRN in general. The main effect in this case is to increase the traffic speed on the overloaded areas and on the network in general, to reduce the prime cost of transportation and accident incidence rate on the streets and roads of the city, etc.

An electrical analogy of the traffic flows distribution has been carried out (on the basis of the electric circuit of the real fragment of the SRN of the Shevchenkovskyi district of the city of Kyiv), the results of which have been used to establish the loading level for each section of the SRN, and for the network as a whole - the distribution of levels of traffic convenience. It has been established that the carrying capacity of this SRN fragment, providing that the loading level of its sections does not exceed 0.7, is approximately 4900 car / year. for the current traffic organization.

At the same time, the optimization of the traffic flows distribution has been conducted, on the basis of which it has been established that the carrying capacity of this network fragment in general could be increased by 32%, to a rate of 6800 car / hour, that can be achieved, in particular, by the more thorough vehicles use of road ways width of individual overloaded areas (exclusively for traffic).

On the basis of the conducted research the model of rational organization of the traffic flows functioning in the cities has been developed, which involves the implementation of three logically interconnected stages, namely: the formation of a rational network for monitoring traffic flows on the city's SRN, adequate prediction with a sufficient degree of traffic intensity detail on SRN sections of the corresponding network, analysis and optimization of the traffic flows functioning on the SRN (taking into account the forecast estimates for filling the road network with traffic flows).

Keywords: traffic flow, road network, electrical modeling, elementary section, cluster analysis, neural networks, representative elementary section.

**Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які
включені до міжнародних науково-метричних баз:**

1. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Система класифікації елементів вулично-дорожньої мережі міста. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харків, 2013. Вып. 63. С. 111-116.

URL (Index Copernicus):

<https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=787374>

URL (РИНЦ): <https://elibrary.ru/item.asp?id=21486033>

2. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Прогнозування динаміки інтенсивності автотранспортних потоків. *Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Systems and means of motor transport. Selected problems*. 2014. Monografianr 5. Seria: TRANSPORT. Rzezów. P. 231-238.

Статті у фахових виданнях України:

3. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2010. № 21 (2). С. 28-32.

4. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електротехнічна модель розподілу транспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. Київ, 2011. Вип. 8. С. 45-49.

5. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання мережі наземних шляхів сполучення. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2013. Вип.88. С.3-9.

6. Тарабан С.М. Сучасний стан та тенденції розвитку вулично-дорожньої мережі м. Києва. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2013. Вип. 90. С.24-32.

7. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Мережа моніторингу автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі великого міста. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. № 30 (1). С. 86-94.

8. Курач Т.М., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Картографічне забезпечення системи моніторингу автотранспортної мережі великого міста. *Вісник геодезії та картографії*. Київ, 2014. № 6. С. 6-10.

9. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електричне моделювання міських автотранспортних потоків. *Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ»: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків, 2015. №46. С.109-114. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/18902>

Опубліковані праці апробаційного характеру:

10. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання поля забруднення вулично-дорожньої мережі міста. *Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Екологічний інтелект – 2011»*: тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. С.57-58.

11. Олійник Р.В. Тарабан С.М. Управління транспортними потоками міста на основі електротехнічної моделі. *Науково-практична конференція, приурочена 100-річчю з дня народження Юрія Юркевича*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 28.

12. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання транспортних потоків розгалуженими електричними колами. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 77.

13. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Прогнозування мікроскопічних особливостей транспортних потоків часовими рядами. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 77.

14. Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Оцінка поля забруднення атмосферного повітря автотранспортом. *Матеріали доповідей VII Міжнародної XVIII Традиційної науково-практичної конференції «Екологічний інтелект – 2012»*: тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. С. 26-27.

15. Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Класифікаційний аналіз вулично-дорожньої мережі мегаполісу. *Матеріали доповідей VII Міжнародної XVIII Традиційної науково-практичної конференції «Екологічний інтелект – 2012»:* тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. С. 189-190.

16. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Багатомірне моделювання структурних взаємозв'язків вулично-дорожньої мережі. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету:* тези доповідей. Київ: НТУ, 2012. С. 75-76.

17. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Класифікація вулиць та доріг за допомогою статистичних методів (на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Києва) *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету:* тези доповідей. Київ: НТУ, 2014. С. 68.

18. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Нейромережевий метод прогнозування параметрів дорожнього руху. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету:* тези доповідей. Київ: НТУ, 2015. С. 82.

19. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електричне моделювання автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету:* тези доповідей. Київ: НТУ, 2016. С. 73.

20. Тарабан С.М. Моделювання і оптимізація функціонування автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста *Всеукраїнська науково-практична конференція «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів»:* тези доповідей. Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка», 2016. С. 40-42.

21. Тарабан С.М. Системна модель оптимізації функціонування автотранспортних потоків у містах. II Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання»: тези доповідей. Львів: Львівська політехніка, 2017. С.104-105.

22. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Системна модель оптимізації функціонування автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2017. С. 87-88.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір:

23. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір №39522 «Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків» / В.Д. Данчук, В.І. Кривенко, Р.В. Олійник, С.М. Тарабан (Україна). – №39732; заявл. 01.06.2011; зареєстр. 08.08.2011.

24. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір №42351 «Мережевий метод оцінки поля забруднення на прилеглих до автомагістралей територіях» / В.Д. Данчук, С.І. Сніжко, Р.В. Олійник, С.М. Тарабан (Україна). – № 42527 заявл.21.12.2011. зареєстр 21.02.2012.

Патенти на винаходи (корисну модель):

25. Пат. 85069 Україна, МПК G08G 1/00, G05B 17/00. Спосіб регулювання та завантаження вулично-дорожньої мережі міста транспортними потоками / Данчук В.Д., Карандаков Г.В., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2013 05607; заявл. 30.04.2013; опубл. 11.11.2013, бюл. № 21.

26. Пат. 86586 Україна, МПК E01C 1/00. Аналогова модель транспортної системи / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2013 06237; заявл. 20.05.2013; 10.01.2014, Бюл. № 1.

27. Пат. 95712 Україна, МПК B60W 40/00. Спосіб вибіркового моніторингу просторово-часового розподілу автотранспортних потоків у вулично-дорожній

мережі міста / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2014 02495; заявл. 13.03.2014; опубл. 12.01.2015, Бюл.№ 1.

28. Пат. 96168 Україна, МПК В60W 40/00. Спосіб оцінки завантаженості вулично-дорожньої мережі міста автотранспортними потоками / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u201402497; заявл. 13.03.2014; опубл. 26.01.2015, Бюл.№ 2.

29. Пат. 108878 Україна, МПК Е 01 С 1/00, G 08 G 1/00. Спосіб електричного аналогового моделювання вулично-дорожньої мережі міста / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Кривенко В.І., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u201510118; заявл. 16.10.2015; опубл. 10.08.2016, Бюл.№ 15.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	28
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА	34
1.1 Ефективна вулично-дорожня мережа, як основа раціональної організації функціонування автотранспортних потоків	34
1.2 Принципи, підходи та методи моніторингу автотранспортних потоків...	40
1.2.1 Класифікація та характеристика методів моніторингу автотранспортних потоків.....	40
1.2.2 Історичний нарис становлення методів моніторингу автотранспортних потоків.....	44
1.2.3 Системи автоматизованого моніторингу та управління автотранспортними потоками.....	47
1.3 Математичне моделювання характеристик функціонування автотранспортних потоків у містах.....	50
1.3.1 Математичні моделі автотранспортних потоків	50
1.3.2 Методи і моделі прогнозування автотранспортних потоків.....	56
1.3.3 Основи моделювання завантаження вулично-дорожньої мережі міста автотранспортними потоками.....	60
1.4 Висновки до розділу 1.....	65
РОЗДІЛ 2 РАЦІОНАЛЬНА МЕРЕЖА МОНІТОРИНГУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА.....	67
2.1 Структурно-параметрична оцінка вулично-дорожньої мережі (на прикладі м. Києва).....	67
2.1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку вулично-дорожньої мережі..	67
2.1.2 Класифікаційний структурний аналіз елементів вулично- дорожньої мережі.....	74

2.2 Формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків міста	85
2.2.1 Ітераційна процедура знаходження репрезентативних ділянок вулично-дорожньої мережі.....	85
2.2.2 Метод ідентифікації репрезентативних ділянок вулично-дорожньої мережі.....	93
2.3 Висновки до розділу 2.....	100
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ НА ОСНОВІ ВИБІРКОВОГО МОНІТОРИНГУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ.....	101
3.1 Метод моделювання динаміки інтенсивності руху автотранспортних потоків	101
3.1.1 Теоретико-методологічні аспекти моделювання на базі штучних нейронних мереж	101
3.1.2 Особливості побудови та навчання штучних нейронних мереж при прогнозуванні інтенсивності автотранспортних потоків.....	105
3.2 Процедура раціоналізації вибіркового моніторингу та моделювання інтенсивності автотранспортних потоків	112
3.2.1 Дискретизація моніторингу та моделювання інтенсивності автотранспортних потоків на репрезентативній ділянці вулично-дорожньої мережі.....	112
3.2.2 Оцінка ефективності прогнозування інтенсивності руху при різних умовах функціонування автотранспортних потоків.....	117
3.3 Область наукових і практичних інтересів до прогнозування динаміки інтенсивності автотранспортних потоків.....	124
3.4 Висновки до розділу 3.....	125
РОЗДІЛ 4 ЕЛЕКТРИЧНЕ АНАЛОГОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ТА АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ.....	127
4.1 Імітаційна електротехнічна аналогова модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі ...	127

4.1.1 Аналогія між електричними та дорожньо-транспортними характеристиками.....	127
4.1.2 Методологічні засади електричного моделювання вулично-дорожньої мережі та автотransпортних потоків.....	134
4.2 Верифікація електричного моделювання на базі електричної моделі міського кварталу.....	141
4.3 Моделювання завантаженості вулично-дорожньої мережі міста автотransпортними потоками.....	150
4.3.1 Встановлення розподілу автотransпортних потоків та оцінка завантаженості вулично-дорожньої мережі.....	150
4.3.2 Управління і оптимізація функціонування автотransпортних потоків на вулично-дорожній мережі.....	161
4.3.3 Моделювання (відтворення) поточного рівня завантаженості вулично-дорожньої мережі автотransпортними потоками	169
4.4 Модель раціональної організації функціонування автотransпортних потоків у містах.....	172
4.5 Висновки до розділу 4.....	178
ВИСНОВКИ.....	181
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	184
Додаток А Описова статистика і результати перевірки на відповідність нормальному закону розподілу структурних ознак вулиць і доріг сформованих кластерів.....	208
Додаток Б Розподіл вулиць і доріг (за структурними ознаками) сформованих кластерів між адміністративними районами м. Києва.....	216
Додаток В Карта-схема поділу вулично-дорожньої мережі Шевченківського району м. Києва на елементарні ділянки.....	218
Додаток Г Однорідні групи елементарних ділянок вулично-дорожньої мережі Шевченківського району м. Києва за груповими структурними ознаками (для різних категорій вулиць і доріг).....	244

Додаток Д Приклади кореляційних матриць стохастичних осциляцій величини інтенсивності руху на репрезентативній та елементарній ділянці вулично-дорожній мережі.....	250
Додаток Е Параметри проїзної частини ділянок фрагменту вулично- дорожньої мережі, на прикладі якої проводилося електричне моделювання та оптимізація функціонування автотранспортних потоків.....	253
Додаток Ж Акти про впровадження (використання) результатів дисертаційного дослідження.....	256
Додаток К Отримані патенти на винаходи (корисні моделі) та свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір	261
Додаток Л Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	276

ВСТУП

Актуальність теми. Зростання автомобільного парку й обсягу перевезень призводить до збільшення інтенсивності руху, що в умовах великого міста, особливо в частинах з історично сформованої забудови, призводить до виникнення низки транспортних проблем. Параметри існуючих вулично-дорожніх мереж вже не відповідають кількості автотранспорту, що експлуатується в містах. Більшість магістралей знаходяться на межі пропускну здатності. Знижується швидкість руху, зростає рівень дорожньої перевантаженості, що призводить до високого рівня аварійності, заторів і негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Важливе місце у вирішенні зазначених проблем відводиться організації дорожнього руху, зокрема в частині оптимізації та раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожніх мережах міст.

За останні півсторіччя багато авторитетних вітчизняних і зарубіжних вчених, фахівців у галузі прикладних і фундаментальних наук зробили значний внесок у розвиток теорії транспортних потоків, зокрема в частину її активного використання для вирішення завдань організації дорожнього руху та автомобільних перевезень: Абрамова Л.С., Врубель Ю.А., Гаврилов А.А., Гаврилов Е.В., Горбачов П.Ф., Дзюба О.П., Єресов В.І., Капітанов В.Т., Клінковштейн Г.І., Коцюк О.Я., Кременець Ю.А., Лановий О.Т., Левашев А.Г., Лобанов Є.М., Лобашов О.О., Печерський М.П., Поліщук В.П., Прокудін Г.С., Пугачьов І.М., Рейцен Є.О., Сільянов В.В., Хабутдінов Р.А., Хомяк Я.В., Четверухін Б.М., Шелков Ю.Д., Шештокас В.В., Шраменко Н.Ю., Янішевський С.В., Billinge H., Drew D., Frank M., Haight F., Lighthill M., Marshall C., Whitham G., Wolfe P. та інші.

У процесі цих досліджень накопичений великий обсяг наукової інформації про закономірності формування та функціонування автотранспортних потоків у містах, отримані позитивні практичні результати щодо організації дорожнього руху і автомобільних перевезень. Однак вирішення транспортних проблем міст залишається й понині досить актуальним. З огляду на стохастичну природу

дорожнього руху, динамічність змін його характеристик в часі та просторі, як і раніше, значну складність представляє процес якісної (коректної) оцінки та прогнозування основних параметрів функціонування автотранспортних потоків.

У зв'язку з цим, проведення подальших наукових досліджень щодо подальшого розвитку методів, моделей та підходів до раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах є досить актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2020 року (схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р), Державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року (затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 25 березня 2013 р. № 294), плану заходів з імплементації розділу V «Економічне та галузеве співробітництво» Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, на 2017-2019 роки (затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 червня 2017 р. № 503-р), а також в рамках державної бюджетної теми науково-дослідної роботи кафедри електроніки та обчислювальної техніки Національного транспортного університету – «Розробка наукових основ застосування сучасних інформаційних технологій у створенні новітніх технологій навчання» (№ д/р: 0110U006953).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка та удосконалення методів і моделей раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста для підвищення її пропускної здатності.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- провести аналіз існуючих підходів, методів і моделей раціональної організації та оптимізації функціонування автотранспортних потоків у містах;
- розвинути метод кластерного аналізу для опису структури вулично-дорожньої мережі міста;

- розробити метод формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста;

- удосконалити метод моделювання динаміки інтенсивності руху на основі вибіркового моніторингу автотранспортних потоків з використанням математичного апарату штучних нейронних мереж;

- удосконалити імітаційну електротехнічну аналогову модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста;

- розробити модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах.

Об'єкт дослідження – функціонування транспортних потоків на вулично-дорожній мережі.

Предмет дослідження – методи і моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста.

Методи дослідження. При вирішенні задач дисертаційного дослідження використовувались такі методи: методи збору даних – для одержання якісних статистичних даних щодо існуючого структурного стану вулично-дорожній мережі (ВДМ) міста Києва, інтенсивності руху автотранспортних потоків на вулицях і дорогах міста тощо; методи багатовимірного статистичного дослідження – для опису структури ВДМ міста (класифікації вулиць і доріг методами кластерного аналізу); методи статистичних перевірок гіпотез – для перевірки відповідності розподілу структурних ознак вулиць і доріг нормальному закону розподілу; математичні методи теорії штучних нейронних мереж – для розроблення математичних моделей нейронних мереж прогнозування зміни (динаміки) величини інтенсивності руху автотранспортних потоків; методи аналогії – для удосконалення імітаційної електротехнічної аналогової моделі аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста; розрахункові методи – для оцінки адекватності розроблених моделей, точності і достовірності результатів дисертаційного дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

- *вперше* розроблено модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах, яка на відміну від існуючих, передбачає здійснення трьох логічно пов'язаних між собою етапів, а саме: формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ міста, адекватного прогнозування з достатнім ступенем деталізації інтенсивності руху на ділянках ВДМ відповідної мережі, аналіз і оптимізацію функціонування автотранспортних потоків на ВДМ (з урахуванням прогнозних оцінок щодо наповнення ВДМ автотранспортними потоками);

- *вперше* розроблено метод формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків, який на відміну від існуючих аналогів, дозволяє статистично обґрунтувати зменшення обсягу спостережень за потоками шляхом знаходження методом кластерного аналізу репрезентативних елементарних ділянок ВДМ для проведення вибіркового моніторингу на цих ділянках динамічних параметрів дорожнього руху;

- *удосконалено* імітаційну електротехнічну аналогову модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста, яка на відміну від існуючих, найбільш повно розкриває аналогії в закономірностях функціонування автотранспортних потоків на ВДМ та перебігу процесів в електричних колах, що забезпечує, зокрема, здійснення ефективної оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ за рахунок перерозподілу рівнів завантаженості її ділянок;

- *дістало подальшого розвитку* застосування математичного апарату штучних нейронних мереж для адекватного прогнозування з достатнім ступенем деталізації інтенсивності руху автотранспортних потоків на ділянках ВДМ міста.

Практичне значення одержаних результатів становлять:

- розвинутий метод кластерного аналізу для опису структури ВДМ, який дозволяє суттєво зменшити розмірність досліджуваної множини елементів ВДМ шляхом знаходження у ВДМ однорідних кластерів за відповідними структурними

ознаками;

- метод формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ міста, що включає покрокову ітераційну процедуру знаходження репрезентативних елементарних ділянок ВДМ, в межах яких рекомендується проводити спостереження за параметрами дорожнього руху;

- метод прогнозування зміни (динаміки) величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на основі моделювання відповідних процесів із застосуванням математичного апарату штучних нейронних мереж;

- імітаційна електротехнічна аналогова модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста та запропоновані способи її реалізації;

- модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах та розроблені, в рамках цієї моделі, відповідні рекомендації.

Результати досліджень прийняті до використання (впровадження) у ДП «ДержавтотрансНДІпроект», ДП «ДерждорНДІ», ТОВ «Інститут комплексного проектування об'єктів будівництва» та у навчальний процес Національного транспортного університету (додаток Ж).

Особистий внесок здобувача. Наукові результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи отримані особисто автором і є його самостійним науковим доробком. У роботах, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора полягає в наступному: [48] – проведено кластерний аналіз елементів ВДМ за структурними ознаками вулиць і доріг (на прикладі міста Києва); [47] – удосконалено метод прогнозування зміни (динаміки) величини інтенсивності руху на ділянках ВДМ із використанням нейронних мереж; [45, 82] – розроблено метод формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ міста; [38 - 41] – удосконалено імітаційну електротехнічну аналогову модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста; проведено верифікацію моделі, збір та обробку даних про параметри ділянок ВДМ (у тому числі натурні спостереження за інтенсивністю руху на окремих ділянках), визначення опорів електричних схем, електричне моделювання ВДМ і

автотранспортних потоків, перевірку адекватності моделі та її здатності коректно описувати функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи представлено на:

- VI та VII Міжнародних науково-практичних конференціях «Екологічний інтелект» (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту, м. Дніпропетровськ, 2011-2012 рр.);

- X Міжнародній науковій конференції «Нейросітьові технології і їх застосування» (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, 2011 р.);

- II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів» (Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка», м. Миколаїв, с. Кoblevo, 2016 р.);

- II Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання» (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, 2017 р.);

- LXVII-LXXIII щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету (м. Київ, 2011-2017 рр.);

- науково-практичній конференції, приуроченої 100-річчю з дня народження Юрія Юркевича (Надвірнянський коледж Національного транспортного університету, м. Надвірне, 2011р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 8 статей у фахових виданнях України, 1 статтю в іноземному виданні, а також 13 тез доповідей наукових конференцій (додаток Л), отримано 5 патентів на корисну модель і 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (додаток К).

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

1.1 Ефективна вулично-дорожня мережа, як основа раціональної організації функціонування автотранспортних потоків

Сучасна вулично-дорожня мережа (ВДМ) великого міста – це складна розгалужена комбінована структура, яка складається з елементів (вулиць і доріг) різних типів систем планування міста (радіальної, радіально-кільцевої, прямокутної та ін. [87]). Обґрунтування будь-яких інженерних рішень містобудівної та проектної документації щодо будівництва, реконструкції, ремонту та утримання міських вулиць та доріг, регулювання і організації дорожнього руху, забезпечення безпеки дорожнього руху тощо, опираються в першу чергу на поглиблений аналіз структурного стану ВДМ, оцінку параметрів дорожнього руху, потокоутворюючих і поглинаючих об'єктів міста [32].

Швидке зростання в містах України парку легкового індивідуального транспорту, яке спостерігається впродовж останніх років [56, 105, 147, 148], призвело до виникнення ряду проблем у сфері дорожнього руху. При цьому вирішення цих проблем ускладнює незадовільний розвиток ВДМ, яка у своєму нинішньому стані не забезпечує, в повній мірі, безпечне, комфортне та економічне обслуговування міського транспорту; елементи поперечного профілю вулиць і доріг не відповідають вимогам категорії чинних будівельних правил і норм України [50, 51].

Динаміка світового автопарку свідчить про те, що рівень автомобілізації в країнах із розвинутою економікою постійно зростає. Найбільш високі показники рівня автомобілізації населення характерні для США – 750 автомобілів на 1000 жителів, розвинутих країн Європи (Франція – 550, Англія – 500, Німеччина – 490 та ін.) та Азії (Японія – 380 автомобілів на 1000 жителів) [145, 151].

Активна автомобілізація країн Західної Європи, яка розпочалася ще в 50-х

роках минулого століття, вказує на такі закономірності [144, 146, 151]: на першому етапі відбувається стрімке зростання кількості транспортних засобів до рівня 300 автомобілів на 1000 жителів; на другому етапі – уповільнення темпів росту (перехід кількості в якість) і стабілізація автопарку міста на рівні 550 ± 50 автомобілів на 1000 жителів. За схожим сценарієм, в теперішній час, відбувається автомобілізація в містах Східної Європи та Балтії (Варшава – 515 автомобілів на 1000 жителів, Прага – 488, Вільнюс – 324).

Рівень автомобілізації в Україні, на сьогодні, становить 187 автомобілів на 1000 жителів країни. Проте, це є усереднений показник. Якщо розглянути ситуацію в регіонах, яка є більш показовою, то за даними інформаційно-аналітичної групи AUTO-Consulting, основна кількість автомобілів зосереджена в дев'яти областях України. При цьому, лідирує місто Київ і область столиці з показниками 343 і 255 відповідно. Далі в рейтингу розташувалися Запорізька область – 246 автомобілів на 1000 жителів та Волинська – 227. Крім того, рівень автомобілізації вище середнього показника в Україні мають Кіровоградська, Рівненська, Дніпропетровська, Одеська та Харківська області.

Цікаво те, що до розвитку автомобілізації (в США до 30-х років XX століття, у країнах Європи до 50-х років) вулиці і дороги в містах не диференціювались за категоріями та параметрами руху автотранспорту [165]. Необхідність в такій диференціації виникла у зв'язку з різким прискоренням розвитку автомобільного транспорту, зокрема, – в результаті швидко зростаючих технічних можливостей автомобілів і відставання темпів удосконалення експлуатаційних якостей вулиць і доріг.

Містобудівельні норми СРСР, починаючи з 60-х років минулого століття (СНіП II-К.2-62. «Планування і забудова населених місць», СНіП II-60-75. «Планування і забудова міст, селищ та сільських населених пунктів» і СНіП II-60-75**), включали типову класифікацію міських вулиць і доріг [91]: швидкісні дороги, магістральні вулиці і дороги загальноміського значення (безперервного, регульованого, вантажного руху), магістральні вулиці районного значення, вулиці і дороги місцевого значення (дороги промислово-складських районів, пішохідні

вулиці та дороги, сільські вулиці, сільські дороги). На той час за основу класифікації приймалися планувальні характеристики і функціональні ознаки доріг; поділ на категорії обумовили, насамперед, низькі перспективні рівні (поточний і розрахунковий) автомобілізації міського населення та домінування громадського транспорту в пасажирських перевезеннях [91, 136-138].

На сьогодні, у складі ВДМ міст України розрізняють вулиці та дороги загальноміського, районного та місцевого значення [50, 51]. Призначення вулиць і доріг встановлюють з огляду на величину й планувальну структуру міста, його зв'язок із приміською зоною, основні види транспорту, інтенсивності та швидкості руху транспортних засобів, пішохідного руху, характеру вуличної забудови, вимоги охорони навколишнього середовища. Розрахункові параметри вулиць і доріг приймаються відповідно до класифікації (див. таблицю 1.1, 1.2 [50, 51]).

Розрахункові параметри швидкості та інтенсивності руху автотранспорту для вулиць і доріг різних категорій, за якими визначаються нормативи їх проектування в плані, поздовжньому та поперечному профілях, приймаються згідно з ДБН В.1.3-5-2001. «Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів». Під розрахунковою швидкістю розуміється швидкість руху одиничного автомобіля, визначеною геометричними параметрами плану та поздовжнього профілю шляхів сполучення.

Для вулиць і доріг, що знаходяться в експлуатації, розрахункову інтенсивність встановлюють за даними натурних спостережень дорожньо-експлуатаційної служби. При цьому, за розрахункову інтенсивність приймається 80% автотранспортного потоку, під час руху якого розрахункова швидкість знижується не більше ніж на 30% [51].

Між тим, аналогічні параметри для вулиць і доріг населених пунктів в різних країнах світу (США, Великобританія, Німеччина та ін.) значно відрізняються від тих, що зазначені в державних будівельних нормах України. Розбіжність обумовлена особливістю задач щодо організації дорожнього руху, які виникають в умовах високого рівня автомобілізації; щільних автотранспортних

потоків у містах. Насамперед, мова йде про забезпечення чіткого контролю щодо дотримання прав в'їзду на проїзну частину доріг з прилеглих територій і виїзду в протилежному напрямі (контроль «доступу»), управління вуличним паркуванням та забезпечення пріоритетних умов руху маршрутного пасажирського транспорту [91].

Таблиця 1.1 – Розрахункові параметри вулиць і доріг міст [50]

Група поселень	Категорія вулиць і доріг	Розрахункова швидкість руху, км/год	Ширина смуги руху, м	Кількість смуг проїзної частини
Магістральні вулиці та дороги				
Найзначніші, значні міста	загальноміського значення (безперервний рух)	100	3,75	6-8
	загальноміського значення (регульований рух)	80	3,75	4-6
	районного значення	70	3,75	4-6
Великі міста	загальноміського значення	80	3,75	4-6
	районного значення	60	3,75	2-4
Середні, малі міста	магістральні вулиці (дороги)	60	3,75	2-4
Вулиці та дороги місцевого значення				
Усі групи поселень	житлові вулиці	40	3,50	2-3
	дороги в промислових і комунально-складських зонах	40	3,75	2
	проїзди	30	3,0-3,5	1-2
	пішохідні вулиці і дороги	4	0,75	2-6
	велосипедні доріжки	30	1,50	1-2

Таблиця 1.2 – Розрахункові швидкості та інтенсивності руху транспорту для вулиць і доріг різних категорій [51]

Категорії вулиць і доріг	Розрахункова швидкість руху одиничного легкового автомобіля, км/год.	Розрахункова інтенсивність руху, авт./год. на смугу
Магістральні дороги:		
<i>безперервний рух</i>	120	1200
<i>регульований рух</i>	90	800
Магістральні вулиці загальноміського значення:		
<i>безперервний рух</i>	100	1200
<i>регульований рух</i>	90	700
Магістральні вулиці районного значення	80	500
Вулиці і дороги місцевого значення:		
<i>житлові вулиці</i>	60	200
<i>дороги промислових і комунально-складських зон</i>	60	300
<i>проїзди</i>	30	150

У США та Канаді головною ознакою диференціації міських вулиць і доріг за категоріями є співвідношення функції – «сервіс руху-сервіс доступу» (traffic circulation versus access). Забезпечення високого сервісного обслуговування поїздок на великі відстані є головною функцією (призначенням) вулиць і доріг вищих категорій (arterials, principal arterials). На таких магістралях встановлюють

обмеження (іноді повну заборону) паркування, суворий контроль «доступу», ізоляцію пішохідного та велосипедного руху. Крім того, будь які проектні рішення щодо вуличної мережі житлових районів у містах зазначених країн направлені на обмеження транзитного руху; вводяться заходи щодо заспокоєння руху [59, 91].

Для європейських класифікацій характерна значна кількість та різноманіття класифікаційних ознак [91]: швидкість (Traffic speed), дальність поїздки (Trip length), рівень зв'язку (destination status), стратегічне значення (Strategic Role), рух та доступ (Circulation and Access), адміністрація (Administration), мережеві функції (Network role), контроль доступу (Access control), інтенсивність руху (Traffic volume), види руху (Transport mode), інші користувачі (Other urban users), навколишнє середовище (Environment), забудова (Built frontage), ширина вулиць та доріг (road width).

У середині 2000-х років Світова асоціація автомобільних магістралей (PIARC) представила нове бачення щодо проектування ВДМ, яке викладено в [227, 228], як пропозиції (рекомендації) до класифікації міських вулиць і доріг в Європі. Розроблені рекомендації [227, 228], насамперед узагальнюють набутий досвід впродовж останніх десятиліть щодо проектування ВДМ. У класифікації PIARC чітко прослідковується розмежування вулиць і доріг за функціональними ознаками, зокрема посилено диференціацію за таким параметром, як розрахункова швидкість руху. При цьому, діапазон значень є значно нижчим (від 20 до 50 км/год.) ніж в чинних державних нормах України [50, 51].

Таким чином, транспортні проблеми українських міст потребують чіткої стратегії вирішення, зокрема в частині, що стосується забезпечення належного рівня облаштування і впорядкованості міських шляхів сполучення – вулиць і доріг, на яких повинні бути створені безпечні та комфортні умови руху для всіх учасників цього процесу, забезпечені високі показники надійності за рахунок поліпшення якісних характеристик і технічного стану ВДМ.

1.2 Принципи, підходи та методи моніторингу автотранспортних потоків

1.2.1 Класифікація та характеристика методів моніторингу автотранспортних потоків

Як показують дослідження [168], транспортний потік, що наповнює вулиці та дороги населених пунктів складається в сучасних умовах, як правило, виключно із автомобілів. Тому, будь-які заходи з організації та управління дорожнім рухом стосуються перш за все автотранспортних потоків.

Функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста – це складний динамічний процес, який має характерні ознаки та закономірності. Всебічне вивчення цього процесу дозволило сьогодні використовувати сучасні методи і моделі раціональної організації дорожнього руху на вулицях і дорогах міста. Разом з тим, впровадження комплексних схем організації та регулювання дорожнього руху за допомогою технічних засобів і автоматизованих систем його регулювання здійснюється на основі інформації про показники руху (параметри функціонування автотранспортних потоків).

Багаторічний досвід наукових досліджень і натурних спостережень за автотранспортними потоками дозволив виявити основні показники. По мірі вдосконалення методів та апаратури для дослідження автотранспортних потоків номенклатура показників, що використовується у сфері дорожнього руху, продовжує розвиватися [3, 34, 35, 70]. Проте, найбільш часто вживаним показником залишається інтенсивність руху автотранспортних потоків (добова середньорічна інтенсивність, максимальна годинна інтенсивність, погодинний розподіл середньодобової інтенсивності руху). Таку інформацію отримують, виключно шляхом проведення спостережень (моніторингу) за автотранспортними потоками на вулицях і дорогах міста.

На початку XX століття домінуючим транспортом був гужовий транспорт. Кількість автомобілів на дорогах вимірювалась одиницями, при цьому рух автомобілів зосереджувався, як правило, поблизу великих міст. Найперші

нормативні документи, за якими необхідно було враховувати інформацію про інтенсивність руху на дорогах з'явилися ще до початку відновлювального періоду дорожнього господарства СРСР [89]. Так, у середині 20-х років минулого століття до «Тимчасових технічних умов проектування доріг» [21, 89] були розроблені «Нормативні поперечні профілі та зразки повздовжнього профілю шосейних доріг». Основні елементи профілів було встановлено за характером дорожнього руху, який, на той час, диференціювали як слабкий, середній та сильний рух автомобілів. Звичайно, така диференціація була умовною, проте вже тоді було відмічено важливість інформації щодо показників інтенсивності руху транспорту.

Інформація про інтенсивність руху важливе значення відіграє в діяльності служб з ремонту та утримання доріг. Так, наприклад, в «Правилах» [119], виданих ще в 1944 р., категорія окремих ділянок доріг приймалась залежно від інтенсивності руху на відповідних ділянках [10].

Перші повоєнні роки відзначалися значним збільшенням протяжності доріг республіканського та місцевого значення, підвищенням інтенсивності дорожнього руху. Для забезпечення проведення обстежень автотранспортних потоків на цих дорогах, в 1946 році Головним управлінням шосейних доріг була розроблена Інструкція [66], за якою передбачалося кожного місяця поточного року проведення спостережень за інтенсивністю руху. До більш пізніх нормативних документів з обліку показників дорожнього руху відноситься інструкція Гушосдора МВС СРСР, яка з незначними змінами та доповненнями була включена в «Технічні правила по ремонту і утримання автомобільних доріг союзного значення» [154].

В Україні інтенсивність дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування визначається відповідно до методики проведення аудиторських перевірок з безпеки дорожнього руху на стадії експлуатації автомобільних доріг загального користування [90], експрес-методом відповідно до ПОР-218-141-2000 «Порядок обліку транспортних засобів на автомобільних дорогах загального користування», інтенсивність руху у населених пунктах – відповідно до Технічних правил ремонту і утримання вулиць і доріг населених

пунктів [155].

На сьогодні є багато методів моніторингу автотранспортних потоків, які можна диференціювати за періодичністю проведення, тривалістю, способом отримання інформації, об'ємом вибірки, масштабом та характером вирішуваних задач (рисунок 1.1 [89]).



Рисунок 1.1 – Класифікація методів моніторингу автотранспортних потоків [89]

З огляду на спосіб одержання інформації та її зміст, методи моніторингу автотранспортних потоків можна поділити на дві групи [70]: моніторинг на стаціонарних постах спостереження; моніторинг з використанням рухомого технічного засобу (автомобіля-лабораторії), за допомогою якого проводиться, зокрема оцінювання просторово-часового розподілу автотранспортних потоків. Крім того, при дослідженні процесу розподілу автотранспортних потоків на ВДМ міста проводять анкетні опитування. При цьому, складається відповідна схема внутрішніх і зовнішніх транспортних зон міста. Як правило, межі внутрішніх зон визначають природні та штучні об'єкти (озера, річки, залізниця тощо),

функціональне призначення окремих територій міста тощо; за зовнішні транспортні зони, приймаються зв'язки міста зі зовнішніми автомобільними дорогами.

Моніторинг автотранспортних потоків може здійснюватися шляхом проведення неперервних або вибірових спостережень [9, 17, 96, 97, 128, 129, 156]. Неперервний моніторинг, відповідно до заданого періоду часу (година, доба, тиждень і т.д.) дозволяє, в повному обсязі, оцінити завантаженість відповідної вулиці (дороги) автотранспортними потоками. Проте такий моніторинг – трудомісткий і, в деякій мірі, складний, тому широкого поширення не набув. У свою чергу, вибірові спостереження потребують залучення менших ресурсів на проведення моніторингу. Важливим аспектом такого моніторингу є похибка спостережень, яку потрібно враховувати під час встановлення об'єму вибірки спостережень. При перерахунку результатів вибірового моніторингу на годинний чи добовий період, потрібно враховувати специфіку функціонування автотранспортних потоків на відповідній ВДМ.

Методи вибірового моніторингу автотранспортних потоків поділяють на ізолюваний, полікомпенсуючий та монокомпенсуючий [89].

Ізолюваний метод передбачає проведення цілодобових спостережень (згідно із заданою дискретністю) за динамікою автотранспортних потоків. При цьому, інформація (за результатами такого моніторингу) щодо виявлених особливостей дорожнього руху між окремими стаціонарними постами жодним чином не пов'язана. Як правило, ізолюваний метод моніторингу застосовують на тих ділянках ВДМ, де рух автотранспорту не підпорядковується загальним закономірностям (під'їзди до підприємств, установ, організацій тощо).

При наявності зв'язків між окремими стаціонарними постами (подібним можу бути склад руху, піковий період тощо) доцільно застосовувати полі- та монокомпенсуючі методи, які дозволяють поширювати результати моніторингу між окремими постами. Полікомпенсуючі методи об'єднує наступна специфічна особливість [89]: результати вибірових спостережень з кожного стаціонарного поста відповідної групи постів, використовують для компенсації інформації на

інших постах цієї групи.

Монокомпенсуючі методи ґрунтуються на застосуванні коефіцієнтів перерахунку, на основі яких розраховують параметри автотранспортних потоків, опираючись, при цьому, на інформацію про деякі з них. Відповідні коефіцієнти отримують шляхом встановлення кореляційних зв'язків між окремими параметрами автотранспортного потоку [89]. Монокомпенсуючі методи з частковим набором коефіцієнтів дозволяють встановити коефіцієнти переходу від годинної інтенсивності до добової; з повним набором коефіцієнтів – коефіцієнти про всі параметри автотранспортних потоків. В основу монокомпенсуючих методів покладено завдання створення мережі постів (основних) збору інформації про автотранспортні потоки, на підставі якої встановлюють залежності між окремими параметрами, отримують коефіцієнти перерахунку, а далі – розраховують параметри автотранспортних потоків.

За результатами аналізу існуючих методів моніторинг [89], а також з урахуванням практики їх використання встановлено, що:

- для задач проектування використовують методи систематичних та епізодичних спостережень;
- для задач організації дорожнього руху – методи натурних вибірових спостережень;
- для розроблення Генерального плану міста – методи неперервних спостережень.

1.2.2 Історичний нарис становлення методів моніторингу автотранспортних потоків

Розробленню теорії і методології моніторингу автотранспортних потоків присвячена значна кількість наукових досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених. Значний вклад зробили наступні науковці: Ваксман С.А. [16, 17], Вальц В.К. [19], Кац А.В. [69], Копилов Г.А. [74-77], Крилов Ю.С. [80], Олейніков Є.С. [97], Рейцен Є.О. [125-129], Романов А.Г. [130], Теренецький К.С. [152, 153], Хомяк Я.В. [162], Хорошилов Н.Ф. [163] та інші [15, 20, 89, 118, 131,

139, 140, 142, 156, 157].

Першоджерелами більшості вітчизняних і зарубіжних досліджень, які пов'язані із застосуванням методів вибіркового моніторингу автотранспортних потоків є цикл робіт угорського вченого Muranyi T. (1956 р.), який став фундатором методів визначення коефіцієнтів перерахунку інтенсивності руху [89].

Крім того, слід відмітити роботи Billinge H. [182], в яких викладено досвід щодо застосування методів вибіркового моніторингу автотранспортних потоків на автомобільних дорогах США. Відповідна методика полягає у створенні опорної мережі материнських станцій моніторингу автотранспортних потоків, на яких необхідно збирати великий об'єм даних, що надалі використовуються для встановлення коефіцієнтів перерахунку інтенсивності руху. Одна материнська станція забезпечує відповідними коефіцієнтами ряд стаціонарних постів. Як приклад, материнська станція може охоплювати вулиці та дороги місцевого значення окремого штату. За таким принципом в 70-х роках було організовано моніторинг автотранспортних потоків на автомобільних дорогах Швейцарії [89].

Значна частина наукових досліджень присвячена встановленню середньорічної добової інтенсивності руху та обґрунтуванню щодо зменшення часу спостережень в добовому інтервалі часу. Ці роботи включають встановлення закономірностей інтенсивності руху (протягом доби, дня тижня, сезону року), враховують регіональні характеристики перевізного процесу та інші чинники [124]. У контексті такої задачі радянські вчені, зокрема Сливак І.М. і Теренецький К.С. запропонували приймати (в першому наближенні) інтенсивність руху для кожної години (в межах періоду доби – з 9:00 до 18:00 год.), як 6% від добової [143]. Крім того, Теренецьким К.С. було встановлено [152], що використовуючи співвідношення (6%), найбільш доцільно проводити спостереження з тривалістю одна година в межах періоду – з 13:00 до 15:00 год.

У роботі Кожемяко М.В. [71] відмічається, що в години «пік» інтенсивність руху складає $\approx 8\%$ добової. З огляду на це, для встановлення середньорічної

добової інтенсивності, моніторинг автотранспортних потоків (тривалість спостережень – одна година) доцільно проводити в період – з 9:00 до 10:00 год. Для моніторингу з тривалістю більше однієї години, оптимальний період – з 8:00 до 11:00 год. Було встановлено, що перехід до довготривалого обстеження автотранспортних потоків (більше трьох годин) не супроводжується значним зменшення похибки розрахунків.

Аналогічні дослідження проводились іноземними фахівцями. Зокрема, англійці дійшли до висновку, що відносно точну середньорічну добову інтенсивність можна встановити за результатами одного неперервного спостереження – протягом 16 годин моніторингу автотранспортних потоків [89].

Пошук більш досконалих методів вибіркового моніторингу привів вчених до створення полікомпенсуючих методів. Вперше такий метод, що ґрунтується на основі використання збалансованої неповної матричної вибірки, застосував Marshall C. [218]. У працях цього вченого не наводяться теоретичні аспекти щодо правомірності застосування такого апарату математичної статистики для моніторингу автотранспортних потоків. Проте, це зовсім не знижує цінність його робіт, оскільки саме вони дали поштовх до розвитку полікомпенсуючих методів.

Детальний опис (у тому числі обґрунтування) щодо застосування полікомпенсуючих методів наводиться в роботі Копилова Г.А. [76]. На основі аналізу різних багатофакторних вибірок, запозичених із теорії планування експерименту, у своїх роботах Копилов Г.А. рекомендує для моніторингу застосовувати трьохфакторну вибірку типу «Латинський квадрат» [89]. Такий підхід до моніторингу дозволяє розрахувати, з точки зору надійності, день тижня і тривалість моніторингу автотранспортних потоків, а потім – результати моніторингу перерахувати в середньорічну добову інтенсивність.

Разом з тим, слід також відмітити комплексні обстеження автотранспортних потоків на під'їздах до м. Києва та мостових переходах через річку Дніпро, які проводилися під керівництвом Рейцена Є.О. За результатами експерименту було встановлено проміжки часу з найменшими коефіцієнтами варіації (час проведення вибіркового моніторингу) та розроблено класифікацію постів спостереження

(п'ять рівнів ієрархії) [54, 125, 127]. Метод Рейцена Є.О. ґрунтується на мінімальному 20-хвилинному моніторингу, який дозволяє розраховувати добову інтенсивність руху з похибкою 5-10%.

1.2.3 Системи автоматизованого моніторингу та управління автотранспортними потоками

Докорінні зміни в практику досліджень параметрів дорожнього руху і їх використання внесли автоматизовані системи управління дорожнім рухом (АСУДР) [79, 80, 111-113, 158, 177]. Сучасні АСУДР в автоматичному режимі дозволяють здійснювати збір та обробку великого об'єму даних про параметри дорожнього руху (здійснювати інтелектуальний моніторинг автотранспортних потоків).

Автомобільний транспорт створює широке коло задач, для вирішення яких можуть бути застосовані методи інтелектуального моніторингу [52]: навігація транспортних засобів, адаптивне управління дорожнім рухом, фіксація небезпечних ситуацій і порушень правил дорожнього руху тощо. Інтелектуальний моніторинг дозволяє відстежувати переміщення транспортних засобів на магістралях.

Збір інформації про параметри автотранспортних потоків може здійснюватися за допомогою різних датчиків, зокрема таких, як [52, 217]: відео-детектори транспорту, мікрохвильові радары, інфрачервоні датчики, ультразвукові датчики, пасивні акустичні датчики, індуктивні петльові датчики. При цьому, для кожного типу датчиків властиві як переваги, так і недоліки.

Дистанційно відстежувати ситуацію на вулицях і дорогах міста дозволяє система відеоспостереження [6]. До складу такої системи входять відеокамери, спеціалізоване програмне забезпечення (для управління камерами, запису даних тощо), інформаційно-комунікативні зв'язки між системами єдиного комплексу управління та інтелектуального моніторингу автотранспортних потоків.

Сучасні АСУДР в містах виконують, щонайменше, чотири основні функції [126]: регулювання руху (за допомогою світлофорів і керованих дорожніх

знаків) на основі адаптивного управління і координації роботи технічних засобів регулювання дорожнього руху; відеоспостереження на ділянках ВДМ, у тому числі фотофіксацію порушень правил дорожнього руху; збір та обробка даних про рух автотранспорту в містах; управління міським паркуванням.

Відомо п'ять поколінь АСУДР [1]:

I покоління. Розрахунок параметрів управління, і введення їх в АСУДР виконується в ручному режимі («Старт» (Москва), «Город-М» (Алма-Ата, Новосибірськ, Томськ, Ташкент)).

II покоління. Розрахунок параметрів управління – автоматизований, введення їх в АСУДР виконується в ручному режимі («Старт-1» (Москва), АСКУ «Магістраль» (Баку), «Город-М1» (Омськ, Мінськ, Кишинів, Рига, Ярославль), «Сигнал», «Смарагд», TRANSYT (Великобританія)).

III покоління. Розрахунок параметрів управління та їх введення в АСУДР автоматизовані. Прогноз та управління автотранспортними потоками (TRANSYT (Великобританія), система PeakTraffic з підсистемою AUT (Великобританія), АСУДР Siemens (Санкт-Петербург)).

IV покоління. Управління в реальному часі. Розрахунок і введення параметрів управління в АСУДР виконуються автоматично («Агат» (Білорусь)).

V покоління. Інтелектуальні системи управління (FRED (Голландія), TRYS (Німеччина), проект демонстрації транспортного коридору Санта-Моніки (США)).

Телемеханічні системи координованого управління (ТСКУ) – це найперші системи управління дорожнім рухом, які з'явилися в містах СРСР в першій половині 60-х років [123]. Тодішні ТСКУ дозволяли зберігати інформацію про три набори параметрів регулювання (плани координації), які відрізнялися за тривалістю циклів, зміщенням та тривалістю фаз регулювання на перехрестях, і не поступалися своїм зарубіжним аналогам з точки зору функціональності.

Важливі зміни щодо технології управління світлофорною сигналізацією відбулися на початку 70-х років, зокрема коли у Великобританії під керівництвом Д. Робертсона групою вчених TRRL (Transport and Road Research Laboratory) було

розроблено і програмно реалізовано метод розрахунку планів координації (TRANSYT), що дозволяв будувати плани координації для ВДМ довільної конфігурації за даними про інтенсивності руху та їх взаємозв'язків на суміжних перехрестях ВДМ.

У 70-х, і впродовж подальших років, здійснювалося технічне забезпечення та розширення функціональних можливостей системи TRANSYT, яка на сьогодні вважається однією з найбільш надійних, швидких і зручних систем розрахунку планів координації.

Із появою датчиків руху (для реєстрації параметрів дорожнього руху) та набутого досвіду щодо їх використання для збору відповідних даних та розрахунку планів координації відбувався процес технічного забезпечення автоматизації тодішніх систем управління дорожнім рухом. Як результат, зникла необхідність «ручного» збору, обробки та введення даних в систему TRANSYT. В Європі, зокрема Великобританії, перехід до АСУДР III та IV відбувався у 80-ті роки минулого століття, поступово, шляхом доукомплектування діючих АСУДР підсистемою автоматичного розрахунку планів координації поряд із системою ручного вводу параметрів управління.

На початку 80-х років, групою вчених TRRL (під керівництвом Д. Робертсона) було розпочато створення методу мережевого адаптивного управління автотранспортними потоками (АСУДР IV покоління). На сьогодні АСУДР IV покоління набули широкого поширення в усьому світі, зокрема, системи такого типу встановлені в містах Великобританії, Франції, Іспанії, Канади, Японії та ін. Як відомо [123], системи IV покоління особливо ефективні при високих рівнях завантаженості ВДМ.

У сфері автоматизації управління дорожнім рухом Україна значно відстала від своїх європейських сусідів. Впровадження АСУДР з можливостями адаптивного регулювання автотранспортних і пішохідних потоків (система «Розумний світлофор») у містах України розпочато з 2008 року [61], проте заміна старих світлофорів на нові, встановлення систем відеоспостереження – швидше модернізація, ніж створення нової системи АСУДР. У більшості містах

встановлено АСУДР I та II покоління, які функціонують без систематичної технологічної підтримки. Функціональні можливості діючих АСУДР зводяться до реалізації жорсткого багатoprogramного координованого управління автотранспортними та пішохідними потоками на окремих магістралях. При цьому, автоматичний збір даних про параметри дорожнього руху не проводиться внаслідок обмеженої кількості датчиків та їх низької надійності, що обумовлено неякісним дорожнім покриттям та технологією їх установки.

Згідно з міжнародною оцінкою фінансування наукових досліджень та розробок [23], для вирішення проблеми безпеки дорожнього руху, у світі виділяється 33 млн. доларів США (дані 2005 року), і впродовж послідовних років ця сума стрімко зростає. Але в Державній цільовій програмі підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року навіть немає статті на наукові розробки та дослідження фахівцями цієї галузі, що є безперечно необхідним і своєчасним [1].

1.3 Математичне моделювання характеристик функціонування автотранспортних потоків у містах

1.3.1 Математичні моделі автотранспортних потоків

Під задачею моделювання автотранспортних потоків розуміється задача розроблення математичної моделі, здатної адекватно описувати параметри функціонування автотранспортних потоків (зокрема таких, як інтенсивність руху на ділянці ВДМ, середня швидкість руху тощо) [2]. Існуючі моделі автотранспортних потоків прийнято диференціювати за функціональністю, математичним апаратом, вхідними даними, ступенем деталізації опису об'єкту моделювання тощо [30]. Моделі автотранспортних потоків, з огляду на їх функціональне призначення, поділяють [30, 31] на клас імітаційних (моделі динаміки автотранспортних потоків) та клас прогнозних моделей (моделі завантаження).

До першого класу відноситься широкий спектр математичних моделей, що описують динаміку автотранспортних потоків із різним рівнем деталізації. У

таблиці 1.3 стисло представлено огляд моделей, що диференціюють за типом змінних (неперервні, дискретні, напівдискретні), ступенем деталізації (субмікроскопічні, мікроскопічні, мезоскопічні, макроскопічні), представленням процесу (детерміновані, стохастичні), методом рішення (аналітичний, моделювання), областю застосування (ВДМ, окремі ділянки мережі, перехрестя вулиць і доріг). Огляд підготовлено за матеріалами робіт [4, 27, 170, 204].

Таблиця 1.3 – Огляд математичних моделей динаміки автотранспортних потоків [4, 204]

Рівень деталізації	Назва моделі (посилання)	ВЗ				ТЗ	ПП	МР	ОЗ
		V	V_0	S	i				
Суб- (Мікроскопічні)	MIXIC[234]	+	-	+	+	д	с	м	бс
	SIMONE [220]	+	+	+	+	д	с	м	бс
	PELOPS [216]	+	-	+	+	д	с	м	бс
	safe-distance models [219]	+	-	-	-	н	д	а	ос
	stimulus-response models [213,219]	+	-	-	-	н	д	а	ос
	psycho-spacing models [238]	+	+	+	-	н	с	м	бс
	FOSIM [236]	+	+	+	+	д	с	м	бс
	CA-models [192, 221, 222, 242]	+	+	-	-	д	с	м	МГМ, ММ
	Particle pedestrian model [201]	+	+	+	+	д	с	м	і
	INTEGRATION [233]	+	-	-	-	д	д	м	МГМ
Мезоскопічні	headway distr. models [200]	-	-	+	+	н	с	а	пп
	reduced gas-kinetic model [229]	+	-	-	-	н	д	а	бщ
	improved gas-kinetic model [224]	+	+	-	-	н	д	а	бщ
	multilane gas-kinetic model [199]	+	+	-	+	н	д	а	бс
	multiclass gas-kinetic model [202]	+	+	+	-	н	д	а	бщ
	multiclass multilane model [205]	+	+	+	-	н	д	а	бщ
	Кластерні моделі [183]	+	+	-	-	н	д	а	бщ
Макроскопічні	LWR model [214]	+	-	-	-	н	д	а	бщ
	Payne-type models [225, 226]	+	-	-	-	н	д	а	бщ
	Helbing-type models [198]	+	-	-	+	н	д	а	бщ
	Cell-Transmission Model [189-191]	+	-	-	-	д	д	м	МГМ
	METANET [210]	+	-	-	-	д	д	м	МГМ
	semi-discrete model [230]		-	-	-	нд	с	а	бщ
	FREFLO [225]	+	-	-	-	д	д	м	МГМ
	MASTER [232]	+	-	-	-	д	д	а	бс

ВЗ – використовуються змінні (окрім простору / часу): швидкість (V), бажана швидкість (V_0), смуга руху (S), інше (i).

ТЗ – тип змінних: неперервні (н), дискретні (д), напівдискретні (нд).

ПП – представлення процесу: детермінований (д), стохастичний (с).

МР – метод рішення: аналітичне рішення (а), моделювання (м).

ОЗ – область застосування: поперечний переріз (пп), односмугові ділянки мережі (о), багатосмугові ділянки мережі (б), ділянки мережі будь-якої щільності (бщ), магістральна мережа (мгм), міська мережа (мм), інше (і).

Мікроскопічні й субмікроскопічні імітаційні моделі автотранспортних потоків дозволяють з високим ступенем деталізації описувати просторово-часові характеристики кожного суб'єкта системи (водій, транспортний засіб, дорога, навколишнє середовище та ін.), де всі ланки взаємопов'язані, і є залежними одна від одної. Як приклад, у моделях цього класу зміна смуги руху автомобіля в автотранспортному потоці буде описуватися послідовністю прийнятих рішень водія.

Субмікроскопічні імітаційні моделі, подібно класу мікроскопічних моделей, описують характеристики окремих автомобілів у потоці, в деталях відповідно до дорожніх умов руху; відтворюють процес керування транспортним засобом (зміну передачі, гальмування тощо). Такі моделі використовують для дослідження впливу допоміжних систем керування на динаміку автомобіля, манери водіння тощо.

Прикладом субмікроскопічних моделей може бути модель MIXIC [234], PELOPS [216] і SIMONE [220]. Ці моделі дозволяють, зокрема описати роботу системи адаптивного круїз-контролю автомобіля при безпосередній близькості руху інших транспортних засобів.

Мікроскопічні імітаційні моделі дозволяють математично описати рух окремих автомобілів та дії водія. При цьому, поведінка водія, як правило, описується певним набором правил, що реалізовані у формі – «якщо-то». У таких моделях, положення, швидкість руху і прискорення автомобіля визначаються для кожного моменту часу відповідно до дій водія та характеристик автомобіля.

Детальний опис (у тому числі аналіз) мікроскопічних імітаційних моделей представлено в роботі [178], де розглядається понад 50 моделей, з яких лівова частка моделей описує рух і маневри (зміну смуги руху) автомобіля, як «рух за лідером». Прикладом мікроскопічних моделей може бути AIMSUN2 [181], FOSIM [236], модель Відемана [238] та ін. [8, 204].

У практиці мікроскопічного моделювання автотранспортних потоків використовують моделі клітинкових автоматів [192, 221, 242]. У таких моделях

ділянка дороги розбивається на окремі комірки однакової довжини, а рух автомобіля розглядається дискретно від комірки до комірки.

Також слід відмітити моделі частинок, в яких автомобілі відокремлюються в автотранспортному потоці, а рух автомобіля описується статистичними рівняннями руху, зокрема рівняннями макроскопічних моделей автотранспортних потоків. Прикладом такої моделі може бути INTEGRATION [233].

В цілому мікроскопічне моделювання дозволяє аналізувати рух автотранспортних потоків на перехрестях, вплив режиму роботи світлофорних об'єктів на динаміку автотранспортного потоку, ефективність заходів з організації дорожнього руху на окремих ділянках і перехрестях ВДМ тощо. Прикладом програмного забезпечення для мікроскопічного моделювання автотранспортних потоків є PTV Vissim, Cube Dynasim, MATSim, PARAMICS та інші менш відомі програмні продукти [8, 53].

Проміжним рівнем моделювання, з точки зору рівня деталізації функціонування автотранспортних потоків, є мезоскопічне моделювання, що описує автотранспортний потік та дії водія в агрегованих термінах (зокрема, за допомогою функції ймовірностей [4]). До цього класу моделей відносяться моделі розподілу інтервалів руху (модель черг [185], пуасонівська модель [186]), кластерні моделі [183] та кінетичні моделі [199, 202, 224, 229].

Мезоскопічні моделі [199, 202, 224, 229], що ґрунтуються на кінетичному рівнянні, дозволяють описати динаміку фазової щільності автотранспортних потоків – щільність розподілу автомобілів як по координаті, так і за індивідуальною швидкістю. Базовою мезоскопічною моделлю вважається модель Пригожина [229], який перший сформулював кінетичне рівняння для автотранспортного потоку. Пізніше модель було удосконалено: динаміка щільності потоку розглядалась в більш розширеному фазовому просторі [224], було проведено узагальнення моделі для забезпечення можливості моделювання змішаних автотранспортних потоків [202, 205], в якому розглядаються різні класи учасників руху, зокрема, за типом транспортного засобу, манерою руху тощо.

Слід також відмітити, що в окремих моделях [183] із класу мезоскопічні моделі, вводиться поняття однорідного кластера – групи транспортних засобів, що мають спільну ознаку. Як правило, відповідні кластери виникають при щільних автотранспортних потоках із-за неможливості автомобілів здійснити обіг [183]. Параметри руху транспортних засобів (інтервали, швидкість руху тощо), в межах однорідного кластеру, вважаються однаковими. Розмір кластеру є динамічним, тобто кластер може збільшуватися або розпадатися.

До основних недоліків мезоскопічних моделей відносяться наступні аспекти [4]: нехтування динаміки руху; функції розподілу ймовірностей не залежать від способу переміщення, типу транспортного засобу, мети переміщення та ін.

Прикладом програмних продуктів мезоскопічного моделювання є TRANSIM, DTALite and NeXTA, DYNASMART-P, Cube Avenue та інші [8].

Макроскопічні моделі автотранспортних потоків описують стан потоку через взаємозв'язок його основних характеристик – інтенсивність, щільність та швидкість руху. Моделі, що відносяться до цього класу, як правило виводяться із аналогії потоків у суцільних середовищах. Базовою моделлю вважається гідродинамічна модель Lighthill – Whitham – Richards (LWR, [214]), в якій введено рівняння неперервності автотранспортного потоку і, відповідно, передбачається, що швидкість є функцією щільності потоку.

Суттєвим недоліком моделі LWR є припущення, що середня швидкість потоку для кожного моменту часу відповідає рівноважному значенню при відповідній щільності транспортних засобів [27, 170], що призводить до неадекватного відображення автотранспортних потоків у місцях неоднорідності дороги та в режимі руху «stop-and-go», що спостерігається при щільних автотранспортних потоках.

Впродовж минулого століття в контексті розвитку макроскопічного моделювання було запропоновано використовувати кінетичні рівняння для виведення макроскопічних моделей [198], застосовувати метод Годунова для класичної моделі LWR [211], здійснювати апроксимацію рішення моделі LWR

методом дискретизації частинок [230], запропоновано ряд модифікацій кінетичного рівняння (зокрема введено додаткові диференціальні рівняння для варіації швидкості руху [224]), що дозволило одержати добре відкалібровані макроскопічні моделі.

Програмне забезпечення макроскопічного моделювання призначене, зокрема для транспортного планування, а також для оцінки ефективності заходів у сфері транспорту та розвитку його інфраструктури. Прикладом програмних продуктів макроскопічного моделювання є PTV Visum, Transcad, OmniTRANS, Emme, Cube Voyager та інші [8].

Математичне моделювання автотранспортних потоків у цілому передбачає розроблення моделей, в яких застосовується різна техніка моделювання – від імітації руху кожного окремого автомобіля до опису функції щільності автомобілів на ділянці дороги. Макроскопічні моделі мають ряд суттєвих обмежень, оскільки не враховують розміри окремих автомобілів; в деяких випадках моделі дають значення щільності, що значно перевищують максимально допустимі (рух бампер до бамперу). Деталізований опис руху автомобіля в автотранспортному потоці забезпечується шляхом мікроскопічного моделювання, згідно з яким враховується зв'язок між автомобілями, який виражений дистанцією між автомобілями та швидкістю їх руху. Цей клас моделей потребує великого набору вхідних даних, від якості яких великою мірою залежить адекватність результатів моделювання.

Разом з тим, існують методи і моделі, які ґрунтуються на аналогії процесів, що відбуваються в електричних колах, і широко застосовуються, зокрема в логістиці при моделюванні транспортних потоків. Проте, як видно з результатів попередніх досліджень [83, 174, 209] на сьогодні відомо розв'язки (з використанням даної аналогії) лише окремих транспортних задач, зокрема таких, що зводяться до знаходження найкоротшого шляху [174], пошуку максимального потоку в мережі [209], вирішення проблеми організації автомобільного паркінгу на ВДМ (формування системи паркінгу для ВДМ міста, визначення їх кількості та вмістимості) [83] тощо.

1.3.2 Методи і моделі прогнозування автотранспортних потоків

На шляху становлення, розвитку та активного використання теорії транспортних потоків для вирішення завдань організації дорожнього руху та автомобільних перевезень значним внеском є роботи вітчизняних і зарубіжних вчених, зокрема Абрамової Л.С. [2, 3], Врубеля Ю.А. [22], Гаврилова А.А. [24], Гаврилова Е.В. [25, 26], Горбачова П.Ф. [33], Дзюби О.П., Єрєсова В.І. [64, 65], Капітанова В.Т. [68], Клінковштейна Г.І. [70], Кременця Ю.А. [78, 79], Левашева А.Г. [84], Лобанова Є.М. [86, 87], Лобашова О.О. [88], Печерського М.П. [112], Поліщука В.П. [113-116], Прокудіна Г.С. [120], Пугачьова І.М. [122, 123], Рейцена Є.О. [125-129], Сільянова В.В. [139, 140], Хабутдінова Р.А. [160], Хомяка Я.В. [162], Четверухіна Б.М. [166, 167], Шелкова Ю.Д. [171], Шештокаса В.В. [172, 173], Шраменко Н.Ю., Янішевського С.В. [176], Billinge H. [182], Drew D. [57], Frank M. [197], Haight F. [161], Lighthill M. [214], Marshall C. [218], Whitham G. [214], Wolfe P. [197] та багатьох інших вчених [30, 36, 73, 130, 132, 136, 137].

Внаслідок цих досліджень накопичено великий обсяг наукової інформації, отримано позитивні практичні результати щодо організації дорожнього руху і автомобільних перевезень. Однак вирішення транспортних проблем міста залишається актуальним. З огляду на стохастичність природи дорожнього руху, динамічність змін його характеристик в часі та просторі, як і раніше велику складність представляє процес коректної оцінки і прогнозування параметрів функціонування автотранспортних потоків.

Нижче наводиться огляд відомих методів, моделей і підходів до прогнозування автотранспортних потоків. Огляд підготовлено за матеріалами робіт [4, 179, 203, 215].

Моделі, засновані на основі архівних даних

Для прогнозування параметрів дорожнього руху на окремій ділянці ВДМ, часу прибуття громадського транспорту на зупиночні пункти тощо, в практиці прогнозування автотранспортних потоків використовують моделі на основі

архівних даних [5, 223, 239], що являють собою усередненні значення відповідних параметрів (статистику) щодо роботи транспортної мережі міста.

Якщо припустити, що процес функціонування автотранспортних потоків може бути описаний на основі моделі з щоденною та щотижневою періодичністю, то слід очікувати, що архівні дані про параметри дорожнього руху на відповідній ділянці ВДМ, які відповідно є характерними для певного часу і дня тижня, забезпечать коректне прогнозування відповідних параметрів у той же час відповідного дня [239]. Проте такий прогноз може бути достовірним лише в тих випадках, якщо дорожні умови відносно стабільні і незмінні, оскільки при виникненні стохастичних ефектів (заторів, ДТП тощо) точність прогнозування суттєво знижується [5, 223].

Моделі на основі алгоритму фільтрації Калмана

У світовій практиці прогнозування автотранспортних потоків широко застосовують багатовимірні моделі на основі фільтра Калмана [235, 237, 243] – рекурсивного фільтру, який дозволяє прогнозувати, опираючись на історичні дані та дані реального часу. Хоча основною функцією моделей такого типу є прогноз поточного стану системи, ці моделі можуть бути також основою для оцінювання майбутніх значень та уточнення попередніх прогнозів (у тому числі для фільтрації шуму [207, 212]).

Моделі регресії

Моделі регресії будуються як одно- та багатофакторні функції від набору незалежних змінних, що можуть містити дані різної природи щодо особливостей функціонування, як в цілому транспортної системи міста, так і окремих її підсистем та елементів. На відміну від моделей на основі архівних даних, моделі регресії показують задовільні результати при нестійких станах дорожнього руху [4]. Однак, умова незалежності змінних обмежує застосування цих моделей для транспортних систем, де змінні можуть сильно корелювати.

Метод опорних векторів

Метод опорних векторів являє собою набір алгоритмів виду «навчання з вчителем», що використовують в задачах класифікації та регресії. У роботах

[180, 241] цей метод застосовувався для прогнозування часу прибуття громадського транспорту. Поширеною практикою є застосування такого підходу в комбінації з іншими відомими методами, зокрема, разом з алгоритмом оптимізації мурашиної колонії, методом головних компонент тощо. Зазначений метод є досить складним з технічної точки зору, потребує додаткових досліджень в частині вибору вхідних змінних і визначення параметрів алгоритму.

На сьогоднішній день не існує адекватних теоретичних уявлень про природу динаміки транспортних потоків особливо в області високих щільностей (синхронізований режим, режим руху великих кластерів, затори, тощо). Всі теоретичні підходи, що базуються на різноманітних теоретичних уявленнях (Лайтхілла-Уїзема-Річардса, Кернера, Кюне, Даганзо, Нагеля, Шрекенберга і т.д.), пояснюють окремі питання або адекватно описують процеси формування та функціонування транспортних потоків при певних граничних умовах або для певних ситуацій.

Наприклад, теорія Кернера про три фази динаміки транспортних потоків [208], що базується на теорії клітинних автоматів, описує відповідні процеси для випадку магістралей при наявності ситуації «вузького горла»). Проте питання природи (причин) виникнення та формування відповідних режимів динаміки транспортного потоку так і залишилися відкритими. Основна заслуга теоретичних уявлень Кернера тут полягає в тому, що йому вдалося достатньо прецизійно описати експериментальні просторово-часові властивості переходу до щільного потоку та результуючі структури в щільному транспортному потоці. На підставі виявлених експериментальних закономірностей поведінки транспортних потоків Кернеру вдається достатньо точно прогнозувати просторово-часові характеристики динаміки потоку для різних режимів з горизонтом прогнозу до 30 хвилин для розглянутого випадку, використовуючи спостережувані експериментальні дані на попередніх проміжках часу.

Разом з тим, на сьогодні існує ряд методик щодо управління ефективністю роботи ВДМ, а також ряд моделей, які дозволяють контролювати і прогнозувати критичні ситуації, що пов'язані з пропускнуою здатністю ВДМ міста. В основі

даних методів, як правило, лежить теорія масового обслуговування [58], теорія ймовірностей ланцюгів Маркова [159], теорія нечітких множин [93], моделі нейронних мереж [121], гідродинамічна аналогія [72, 94] тощо. Теорія масового обслуговування достатньо складна й вимагає великих масивів вхідних даних, які є швидкоплинними, що обмежує її застосування в реальному часі. Гідродинамічні моделі втратили актуальність у зв'язку з трансформацією автопарку – появою швидкісних і динамічних автомобілів, підвищення інтенсивності автотранспортних потоків на сучасних ВДМ.

Ефективність сучасних методів організації та управління дорожнього руху залежить від щільності інформаційного покриття транспортної мережі та якості отримуваної інформації. Своєчасне розуміння майбутньої поведінки добового ходу інтенсивності руху дозволяє попередити виникнення станів перевантаження транспортної мережі.

Дослідження транспортних процесів і систем свідчить про те, що більшість методик прогнозування інтенсивності дорожнього руху [29, 96, 124] направлена на встановлення середньорічної добової інтенсивності на вулицях і дорогах міста. При цьому, використовують показники інтенсивності за певні періоди доби та відповідні перехідні (вагові) коефіцієнти, які враховують нерівномірність руху (мінливість інтенсивності протягом доби, дня тижня, місяця). Такі методики не дозволяють прогнозувати добову динаміку величини інтенсивності, оскільки розраховані на встановлення виключно інтегрального показника інтенсивності.

Існують різні підходи до прогнозування добового ходу інтенсивності автотранспортних потоків, зокрема методи, що використовують апарат аналізу емпіричних часових рядів [11, 62, 102]. Алгоритми деяких таких моделей передбачають побудову лінійного тренду, який собою представляє усереднене відображення поведінки (тенденції) добового ходу інтенсивності, але не відтворює коливні процеси, які спостерігаються в окремі проміжки доби і суттєво впливають на локальне перевантаження мережі.

Разом з тим, у практиці аналізу та прогнозування часових рядів також є роботи, які пов'язані із застосуванням моделей на основі методології Бокса-

Дженкінса (сезонні моделі ARIMA) [184, 188, 239]. Сезонні моделі ARIMA працюють на основі архівних даних. При цьому, в моделях припускається, що характер дорожнього руху може повторюватись в майбутньому, а закономірності руху можуть бути описані математичними функціями. Точність моделей ARIMA залежить, здебільшого, від функції відповідності між даними реального часу та архівними даними. Будь-які зміни в архівних даних і у зв'язках між ними можуть призвести до значної помилки прогнозу; для застосування моделей ARIMA необхідний значний масив первинних (початкових) вихідних даних.

На характер та поведінку автотранспортних потоків суттєво впливають автоматизовані системи управління (світлофорне регулювання), якими оснащені більшість вулиць і доріг значних та найзначніших міст України. Проте рух автотранспорту носить випадковий характер, що проявляється у вигляді осциляцій величини наповнення автотранспортного потоку транспортними засобами, особливо на підходах до перехрестя. Прогнозування осциляцій величини інтенсивності руху дозволить своєчасно скоректувати режими роботи світлофорної сигналізації, що сприятиме до забезпечення рівномірного завантаженості ділянок ВДМ автотранспортними потоками.

З огляду на це, сьогодні активно розвиваються автоматизовані системи оперативного управління, які в режимі реального часу враховують зміни параметрів дорожнього руху. Одним із перспективних напрямів розвитку таких систем являється застосування штучних нейронних мереж для прогнозування автотранспортних потоків [121, 135].

1.3.3 Основи моделювання завантаження вулично-дорожньої мережі міста автотранспортними потоками

Комфорт, безпека та економічність дорожнього руху в містах значною мірою визначається рівнем завантаженості вулиць і доріг автотранспортними потоками. Завантаження ВДМ визначається величиною та спрямованістю транспортних кореспонденцій [117, 164], які відображають об'єми переміщень учасників дорожнього руху між кожною парою вершин (районів) ВДМ міста.

Методи і моделі, які при цьому застосовують, оперують усередненими характеристиками дорожнього руху в масштабі цілого міста, дозволяють встановити розподіл автотранспортних потоків, оцінити пікове навантаження на основних елементах мережі (автомагістралях, транспортних вузлах тощо) за відомих характеристик ВДМ, потокоутворюючих і поглинаючих об'єктів у місті.

Для опису розподілу автотранспортних потоків на ділянках ВДМ, насамперед, необхідно знати про джерела виникнення потоків, а також ділянки мережі на які орієнтований рух транспортних засобів.

У загальному вигляді завантаженість ВДМ є сумою об'ємів транспортних кореспонденцій, маршрут руху яких включає кожна окрема ділянка мережі. Загальна схема моделювання завантаженості включає [169, 170]: оцінку об'ємів переміщень учасників дорожнього руху між кожною парою вершин (районів) ВДМ для розрахунку матриць транспортних кореспонденцій, розподіл транспортних кореспонденцій на ділянках ВДМ та оцінку завантаженості всіх елементів ВДМ автотранспортними потоками.

Оцінка транспортних кореспонденцій виконується здебільшого шляхом опитування водіїв про їх маршрути руху або за допомогою реєстрації транспортних засобів, що є складним, трудомістким і дуже дорогим дослідженням. Дуже часто матриці кореспонденцій складають для маршрутів громадського транспорту. У такому випадку вихідною інформацією для оцінки пасажирських кореспонденцій є дані про кількість пасажирів, які увійшли/вийшли на зупиночних станціях.

Для складання матриць транспортних кореспонденцій використовують наступні моделі:

- *гравітаційну модель* [85, 187];

Історично є однією із перших моделей оцінки матриць кореспонденцій. При розрахунках, гравітаційна модель передбачає баланс прибуття-відправлення між двома районами. Основна ідея полягає у тому, що кореспонденція з одного району в інший пропорційна загальному обсягу відправлення-прибуття, а також деякої функції, яка залежить від дальності поїздки. Уточнення розрахунків

матриці кореспонденцій здійснюється за рахунок ітерацій відправлення-прибуття і деякої функції, що залежить від дальності поїздки між центрами цих районів [170]. Гравітаційна модель є аналогом закону Всесвітнього тяжіння І. Ньютона.

До переваг традиційної гравітаційної моделі можна віднести відносну простоту виконання розрахунків. Основний недолік – обсяг кореспонденцій пов'язаний з характеристиками пари районів, що розглядаються окремо від інших районів [170].

- *ентропійну модель* [206, 240];

Використання концепції ентропії для вирішення транспортних задач вперше запропоновано Вільсоном [240]. Ентропійна модель ґрунтуються на принципі максимуму зваженої ентропії, який полягає у тому, що реальному розподілу автотранспортних потоків на ВДМ, що генеруються в результаті самоорганізації, задається у відповідності розподіл потоків (які задовольняють транспортним обмеженням), що може бути одержаний в результаті максимізації деякої ентропійної функції, параметрично залежної від стану системи. Особливість моделі полягає у тому, що в ній формалізується гіпотеза рівноважної й незалежної поведінки елементів системи при формуванні її стану. Це означає, що найбільш ймовірним є той стан системи, при якому її невизначеність, яка вимірюється величиною ентропії, є максимальна. Максимізація зваженої ентропії означає, що в системі ведеться пошук не просто рівноважного стану, а стану, який наближається до того, що відбувся б у реальній транспортній системі при врахуванні індивідуальних особливостей учасників руху.

- *моделі конкуруючих можливостей Стауффера* [231];

У таких моделях закладено припущення про те, що обсяг кореспонденцій між двома зонами визначається числом альтернативних центрів на шляху проходження, тобто числом альтернативних можливостей відвідування [4].

- *інші моделі* [193-196].

Моделі родини «конкуруючих центрів» враховують більшу або меншу привабливість району; їх розглядають як узагальнення гравітаційної моделі.

Подальші узагальнення призводять до врахування структури системи районів. Райони ранжуються за статусом. Моделювання завантаженості ВДМ ґрунтується на пошуку рівноважного розподілу потоків. Вхідною інформацією для моделі служить матриця кореспонденцій. На виході отримують усереднені значення потоків на елементах мережі та частки поворотів на перехрестях.

Найбільш простий спосіб розподілу кореспонденцій на ВДМ є накладення кожної кореспонденції на оптимальний (найкоротший) маршрут, що з'єднує два райони. Більш досконаліші моделі розраховують найкоротші маршрути і розподіляють по ним кореспонденцію. При цьому необхідно враховувати ряд важливих факторів, зокрема вибір маршруту деякими користувачами збільшує завантаженість ділянок мережі, що входять в маршрути цих користувачів. Відповідно, це призводить до збільшення часу поїздки та впливає на оцінку і вибір маршрутів іншими користувачами, тобто вибір одних учасників руху впливає на вибір інших.

Найбільш ефективною моделлю, яка в повній мірі враховує фактор взаємного впливу користувачів є алгоритм пошуку рівноважного розподілу потоків (user-equilibrium assignment) [169]. Рівноважним називається такий розподіл автотранспортних потоків, при якому жоден учасник руху не може змінити свій маршрут так, щоб зменшити ціну своєї поїздки. За основу алгоритмів моделей, які ґрунтуються на пошуку рівноважного розподілу, взято припущення, що кожен учасник руху прагне мінімізувати загальну ціну своєї поїздки. Загальна ціна поїздки – агрегований критерій оцінки маршруту. Основна складова загальної ціни – час, який витрачається водієм на проходження всього свого маршруту.

Одним із перших алгоритмів, що дозволив моделювати рівноважний розподіл є алгоритм Франке-Вульфа [197]: на першому кроці всі кореспонденції розподіляються на оптимальні (за ціною) маршрути, що розраховані на вільну мережу; на всіх наступних кроках алгоритму ($n+1$) кожна кореспонденція вже розподілена на відповідну кількість маршрутів ($< n$), обчислених на попередніх кроках. Таким чином здійснюється розрахунок завантаженості ділянок ВДМ (у

першому наближенні). Далі, з урахуванням поточної завантаженості мережі, відбувається перерахунок завантаженості ділянок і будується нова система оптимальних маршрутів. Нова система маршрутів є «опорною» для перерозподілу кореспонденцій.

Алгоритм Франке-Вульфа [197] до сьогодні залишається найбільш поширеним методом моделювання рівноважного розподілу автотранспортних потоків. Проте цей алгоритм не позбавлений від недоліків. Зокрема, на перших ітераціях моделювання спостерігається швидке наближення розподілу до рівноважного стану, однак далі (при наступних ітераціях) наближення може практично зупинитись [169]. Це особливо проявляється при моделюванні складних ВДМ, і тісно пов'язано з ефектом «залишкових потоків» (residual flows).

Протягом останніх років були розроблені нові алгоритми пошуку рівноважного розподілу автотранспортних потоків [169], зокрема такі, що ґрунтуються на індивідуальній роботі з кореспонденціями, і забезпечують своєчасний перерозподіл «залишкових потоків». Однак, перерозподіл однієї кореспонденції з урахуванням нових альтернативних маршрутів призводить до зміни ціни, що впливає на розподіл інших кореспонденцій, які в своєму маршруті використовують ті ж самі ділянки для проходження маршруту. У зв'язку з цим, для приведення системи в рівноважний стан виникає необхідність у проведенні багаторазового перерозподілу всіх кореспонденцій.

До найбільш важливих напрямків розвитку моделей рівноважного розподілу відноситься розвиток таких моделей [169], як:

- моделі рівноважного розподілу для кількох класів учасників руху;
- моделі рівноважного розподілу з перемінним попитом на потік;
- стохастичні моделі рівноважного розподілу;
- динамічні моделі рівноважного розподілу.

Разом з тим, слід відмітити, що широке поширення безпроводних технологій сьогодні, зокрема таких, як GPS-технології, мобільні телефонні мережі, сприяло отримання великих об'ємів даних щодо мобільності населення, розвитку нових інструментів аналізу ВДМ, які дозволяють, зокрема, складати схему

завантаженості ВДМ, оцінювати поточний стан розподілу автотранспортних потоків на ВДМ при складанні маршруту руху, будувати короткострокові прогнози щодо функціонування автотранспортних потоків на ділянках ВДМ міста тощо.

В Україні одним із лідерів ринку сервісів моніторингу дорожньої ситуації в містах до 2017 року був веб-сервіс «Яндекс. Затори» – розширений функціонал картографічного сервісу «Яндекс. Карти» [175], що дозволяє отримувати інформацію про рівень завантаженості ВДМ шляхом обробки інформації від користувачів навігаційних програм. Подібний функціонал для деяких міст мають сервіси «Google Maps» і «Nokia Maps». Такі веб-сервіси відображають поточну завантаженість ВДМ, дозволяють будувати оптимальні маршрути руху з урахуванням завантаженості мережі, прогнозувати транспортну ситуацію на вулицях і дорогах міста на найближчі 15, 30, 45 та 60 хвилин. Однак, в якості інструменту для проведення імітаційного моделювання, такі веб-сервіси застосувати неможливо, оскільки вони працюють на основі архівних даних і даних, що надходять від користувачів в режимі реального часу, характерних для конкретних планувальних умов ВДМ з реалізованою в цих умовах конкретної схеми організації дорожнього руху.

1.4 Висновки до розділу 1

Аналіз існуючих підходів, методів і моделей раціональної організації та оптимізації функціонування автотранспортних потоків у містах дозволив виявити низку невирішених питань, основні з яких полягають у наступному:

1. На сьогодні відсутня чітка та зрозуміла процедура (алгоритм) формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків, яка б враховувала особливості розподілу вулиць і доріг різної категорії, геометричну структуру ВДМ та параметри її окремих елементів, забезпечувала функціонування реєстру і отримання достовірної інформації про кількісні та якісні характеристики автотранспортних потоків, що наповнюють вулиці і дороги

міста та сприяла ефективному вирішенню низки важливих задач у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху.

2. Відомі методи, моделі та підходи до прогнозування інтенсивності дорожнього руху на ВДМ міста на основі вибіркового моніторингу автотранспортних потоків, у більшості випадків, розраховані на визначення інтегрального показника та не дозволяють із задовільною точністю описувати (на основі моделювання) коливні процеси інтенсивності руху, що спостерігаються в окремі проміжки доби і можуть суттєво впливати на локальне перевантаження ВДМ та її пропускну здатність, особливо в умовах високої щільності автотранспортних потоків.

3. Сучасні напрями моделювання завантаженості ВДМ пов'язані з ускладненням моделей пошуку рівноважного розподілу автотранспортних потоків на ВДМ, які реалізуються, зокрема за наявності матриць транспортних кореспонденцій для відповідної ВДМ. Формування такої матриці потребує значних ресурсів на проведення якісного дослідження для отримання необхідної інформаційної бази. Це є складною для практичної реалізації задачею з огляду на апріорний характер основних методів формування матриць кореспонденцій, а також відсутності спеціальних методів її формування на основі відомої інтенсивності руху транспортних потоків на магістралях.

Узагальнюючи викладене вище, науковий напрям досліджень, що розкривається у наступних розділах дисертації, полягає у подальшому розвитку методів, моделей та підходів до раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міст, зокрема в частині, що стосується формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ, прогнозування зміни (динаміки) величини інтенсивності руху на основі вибіркового моніторингу автотранспортних потоків та моделювання завантаженості ВДМ в умовах обмеженості доступної і достовірної статистичної інформації.

РОЗДІЛ 2

РАЦІОНАЛЬНА МЕРЕЖА МОНІТОРИНГУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

2.1 Структурно-параметрична оцінка вулично-дорожньої мережі (на прикладі м. Києва)

2.1.1 Сучасний стан та тенденції розвитку вулично-дорожньої мережі

Місто Київ – найбільший адміністративний, економічний, науковий та культурно-освітній центр України, що має розвинену транспортну інфраструктуру і є найбільшим транспортним вузлом країни. Роботу транспортної системи міста, як територіального поєднання взаємопов'язаних видів транспорту, що задовольняють потреби народного господарства і населення в перевезеннях вантажів і пасажирів забезпечує мережа міських вулиць та доріг. На фоні стрімкої автомобілізації суспільства вулично-дорожня мережа (ВДМ) м. Києва на сьогоднішній день розвивається повільними темпами. Наслідком такого стану є значне погіршення умов руху, зростання аварійності та погіршення екологічної ситуації в місті. Крім того, в умовах активізації процесів інтеграції транспортно-дорожнього комплексу України, як держави з найбільш високим індексом транзитності до європейської транспортної системи [145], транспортна інфраструктура Києва потребує швидкого розвитку.

Вулична мережа Києва у своєму нинішньому стані неспроможна забезпечувати нормальне транспортне обслуговування міста. Конфігурацію ВДМ формують магістральні вулиці загальноміського та районного значення, основне призначення яких – це транспортний зв'язок між житловими та промисловими районами, а також громадськими центрами столиці; вулиці та дороги місцевого значення – транспортний і пішохідний зв'язок на території житлових районів та мікрорайонів [50, 51].

Загальна протяжність усіх вулиць і доріг у м. Києві (проспекти, вулиці, бульвари тощо) складає понад 1,6 тис. км. Більшість з них прокладені ще за часів СРСР, і на той час цілком задовольняли вимоги нормативних документів. Однак

нині, більшість вулиць і доріг, в умовах інтенсивного зростання автопарку міста, не відповідають вимогам щодо пропускної здатності, в результаті чого, затори в Києві (особливо в години «пік») стали повсякденним явищем.

Основні геометричні параметри, які є структурними ознаками вулиць і доріг – це ширина проїзної частини (d) і протяжність (L). Ширину проїзної частини, як структурну ознаку, доцільно розглядати лише у випадку, якщо досліджується окрема ділянка вулиці (дороги), оскільки кількісне значення цієї ознаки вздовж вулиці характеризується високою неоднорідністю. Якщо ж розглядати вулицю в цілому, то слід оперувати більш об'єктивною структурною ознакою – площею проїзної частини (S).

Розподіл елементів ВДМ міста Києва за структурними ознаками L і S з поділом на категорії вулиць та доріг згідно з класифікацією [50, 51] вказує, зокрема, на нерівнозначність показників загальної протяжності доріг різних категорій (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Розподіл вулиць і доріг м. Києва за структурними ознаками:
а– протяжність (L); б– площа проїзної частини (S)

Частка доріг міста, що відносяться до найвищої категорії вулиць і доріг населених пунктів (магістральні вулиці загальноміського значення) у загальному обсязі за цією ознакою є найменшою і становить лише 19%, а частка доріг категорії – вулиці і дороги місцевого значення, протяжність яких в цілому

складає близько 0,9 тис. км, є найбільшою за відповідною ознакою і становить 59 % у загальному обсязі. Частка доріг категорії – магістральні вулиці районного значення у загальному обсязі за структурними ознаками L і S становить 22% і 28% відповідно.

Проведено аналіз вулиць і доріг адміністративних районів міста за структурними ознаками (рисунок 2.2). Відповідно до отриманих результатів – Голосіївський, Дарницький і Солом'янський райони відзначаються відносно високим рівнем розвитку мережі вулиць і доріг місцевого значення. Для Оболонського, Печерського і Святошинського районів проглядається рівномірний, в деякій мірі, розподіл структурних ознак вулиць і доріг кожної із категорій. Низькими показниками розвитку мережі магістральних вулиць загальноміського значення (порівняно з іншими районами) відзначається Деснянський район. При цьому, мережа магістральних вулиць районного значення Деснянського району розвинута найкраще.

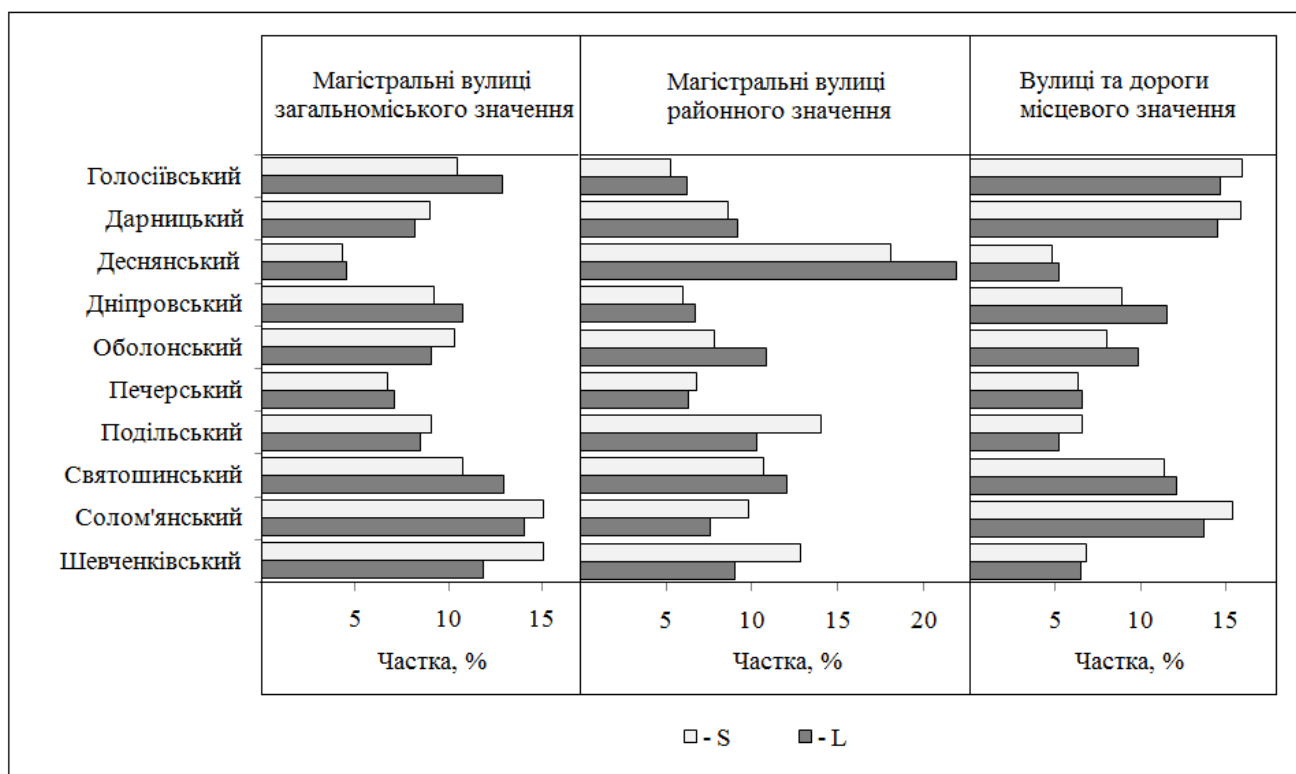


Рисунок 2.2 – Міжрайонний розподіл вулиць і доріг м. Києва за структурними ознаками L і S

Таким чином, розподіл вулиць і доріг Києва за структурними ознаками (з поділом на категорії) вказує на те, що дорожня інфраструктура міста розвинена нерівномірно, зокрема це стосується мережі магістральних вулиць загальноміського та районного значення. Проїзна частина більшості магістралей потребує реконструкції, оскільки не відповідає перспективним поперечним профілям. Значення показників середньої швидкості руху на основних вулицях і дорогах Києва значно нижчі (близько 24 км/год.) ніж у містах Західної Європи (близько 35 км/год.). Основна причина таких низьких показників швидкості руху – порушення балансу між функціональною завантаженістю території (щільністю ВДМ, поверховістю забудови тощо) та існуючими можливостями елементів транспортної системи міста (пропускна здатність вулиць і доріг).

Підвищення стійкості і ефективності функціонування транспортної системи міста передбачає розвиток планувальної структури міста та залежить, в значній мірі, від рівня розвитку ВДМ. Рівень розвитку вуличної мережі визначають соціальні (щільність населення, кількість робочих міст та їх розміщення на території міста тощо) і технічні показники (протяжність вулиць і доріг, щільність ВДМ тощо). При цьому, щільність населення (відношення всіх жителів міста до площі території, чол./км^2) дозволяє оцінити рівень концентрації пішохідних та пасажиропотоків на лініях міського транспорту. Крім того, висока щільність населення може розглядатися як фактор, що попереджує збільшення завантаженості селітебної території міста легковими автомобілями.

З цієї причини в містах, де характерні високі показники щільності забудови, можуть утворюватися більш потужні потоки автомобілів, ніж у містах з низькою щільністю населення, але більш високими показниками рівня насичення легковими автомобілями. Крім того, слід відмітити просторову неоднорідність цих показників, оскільки для центральних районів міста характерні більш високі значення щільності населення.

Основним показником рівня розвитку дорожньої інфраструктури є щільність ВДМ, яка визначається відношенням протяжності всіх вулиць і доріг до площі території на якій вони знаходяться (км/км^2).

Для порівняння наводяться показники щільності населення та ВДМ міста Києва поряд з відповідними показниками інших міст розвинутих країн Європи (рисунок 2.3). Так, показник щільності населення, в деякій мірі, є близьким до значень щільності інших міст, однак за рівнем насиченості території ВДМ, місто Київ істотно поступається (в 3-4 рази) європейським містам (Київ – 2,1 км/км², Берлін – 8,6 км/км², Варшава – 5,4 км/км², Відень – 6,8 км/км², Гамбург – 5,4 км/км²).

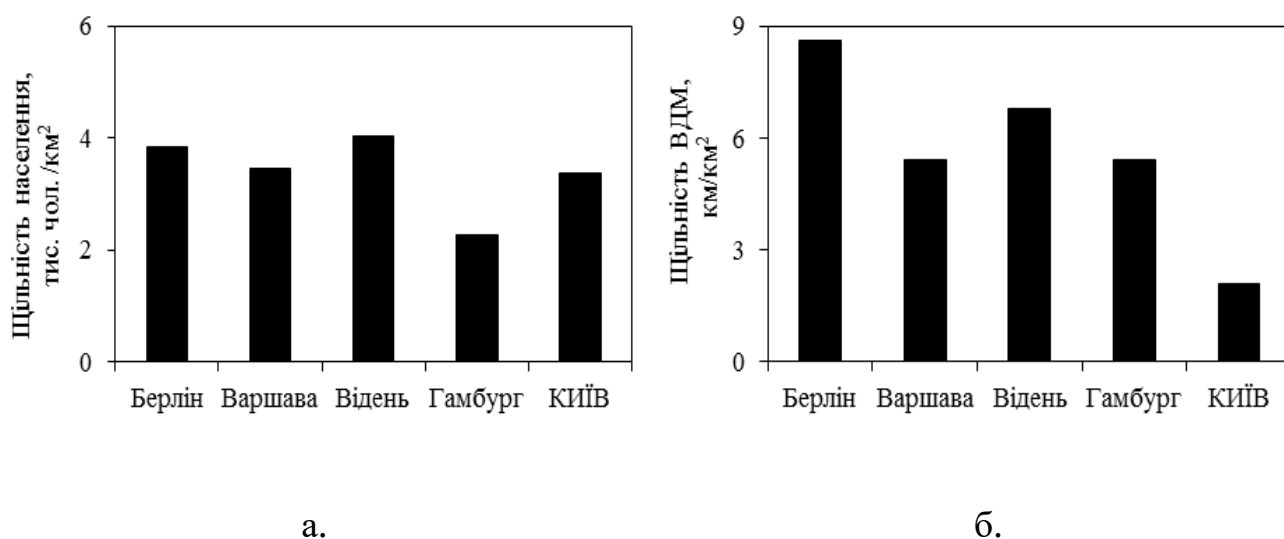


Рисунок 2.3 – Рівень насиченості території міста: а – населення; б – вулично-дорожня мережа (ВДМ)

Разом з тим, територія міста насичена ВДМ не рівномірно (див. рисунок 2.4). Найбільш насиченими районами є Шевченківський, Солом'янський, Печерський та Подільський райони. Значення показників щільності для цих районів коливаються в межах 4-6 км/км². Інші райони (Голосіївський, Дарницький, Деснянський, Дніпровський, Оболонський, Святошинський) характеризуються низькими показниками щільності, значення яких знаходяться на рівні 0,8-1,8 км/км².

Міжрайонний розподіл насиченості території міста ВДМ, з поділом вулиць і доріг на категорії (див. рисунок 2.5) в певній мірі дозволяє змоделювати картину розвитку дорожньої інфраструктури міста.

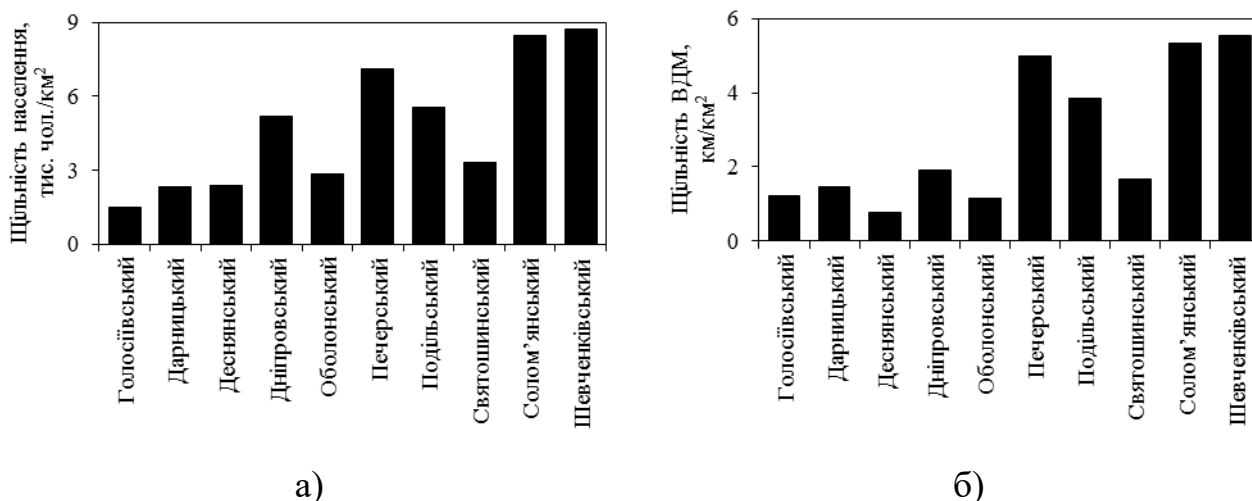


Рисунок 2.4 – Міжрайонний розподіл рівня насиченості території м. Києва:
а – населення; б – вулично-дорожня мережа (ВДМ)

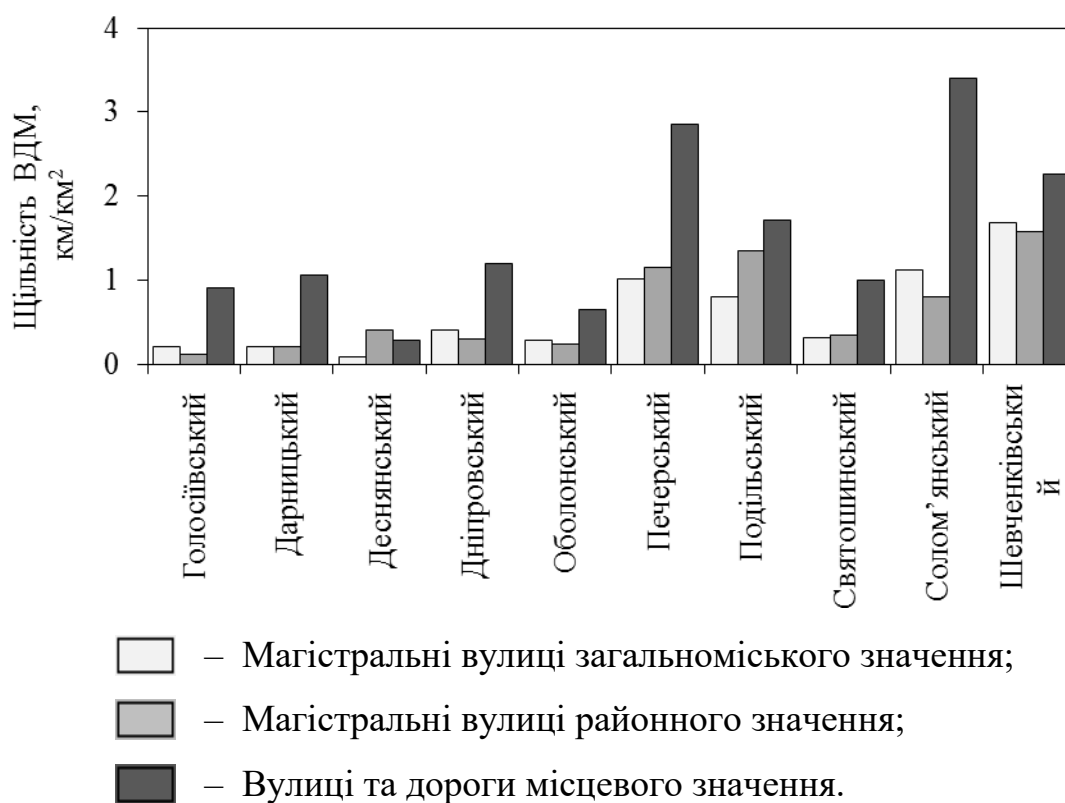


Рисунок 2.5 – Міжрайонний розподіл насиченості території м. Києва ВДМ з поділом на категорії вулиць і доріг

Високі показники щільності мережі магістральних вулиць загальноміського та районного значення характерні лише для чотирьох районів (Шевченківський, Солом'янський, Печерський та Подільський). Далі в рейтингу розташувалися Дніпровський, Оболонський та Святошинський райони. Показник щільності

магістральної мережі для цих районів знаходиться нижче відмітки 1 км/км^2 . Голосіївський, Дарницький, Деснянський райони відзначаються найгіршими показниками щільності магістральної мережі. Крім того, слід зазначити, що практично всі райони міста відзначаються високими показниками щільності вулиць і доріг місцевого значення (виключенням є Голосіївський та Оболонський райони, які мають показник щільності нижче 1 км/км^2 для даної категорії вулиць і доріг).

У результаті низької щільності магістральної мережі міський транспорт зосереджується на обмеженій кількості вулиць. Це призводить до нерівномірного завантаження ВДМ, що негативно позначається на процеси її функціонування.

Відповідно до Генерального плану м. Києва [28], основні заходи з розвитку вуличної мережі передбачають комплексний розвиток магістральної мережі та вузла зовнішніх автошляхів міста з урахуванням напрямків територіального розвитку Києва і міжнародних транспортних коридорів, які проходять через Україну. Ці заходи спрямовані на формування системи магістралей безперервного руху і удосконалення сформованої системи магістралей. На правому березі – це подальший розвиток радіально-кільцевої структури шляхом будівництва і реконструкції нових і старих радіальних напрямків, удосконалення напівкільцевих магістралей і початок створення зовнішнього автодорожнього обходу міської кільцевої автодороги; на лівому березі міста – це створення нових широтних і меридіональних напрямів, реконструкція існуючих.

Разом з тим, слід звернути увагу на центральні райони міста (Печерський, Шевченківський райони) для яких характерні високі показники щільності житлової забудови. Для цих районів перевести вулиці і дороги до вищої категорії шляхом їх реконструкції надзвичайно складно, а в деяких випадках – неможливо, оскільки значна або більша частина забудови є історичною пам'яткою культури. При таких умовах особлива увага повинна відводитися сучасним засобам і методам раціональної організації дорожнього руху, які передбачають, зокрема, застосування комплексу управлінських, планувальних, організаційних та інженерно-технічних заходів.

2.1.2 Класифікаційний структурний аналіз елементів вулично-дорожньої мережі

Сучасне містобудування вимагає високого рівня облаштування і впорядкованості на міських шляхах сполучення – магістралях та вулицях, на яких повинні бути створені комфортні й безпечні умови для учасників дорожнього руху та забезпечені високі показники надійності за рахунок поліпшення якісних характеристик і технічного стану ВДМ. Для вирішення цих задач, перш за все, необхідно створити спосіб оцінки та обліку фактичного стану структурних елементів ВДМ, який повинен містити в собі процедуру класифікації вулиць і доріг, що дозволить множині елементів ВДМ об'єднувати в однорідні підмножини (кластери), елементам яких властива висока структурна подібність.

Процедура класифікації елементів ВДМ передбачає проведення детального аналізу структурних ознак вулиць і доріг (S - площа, L - протяжність), що ґрунтується на застосуванні методів прикладної математичної статистики [18]. Такий підхід дозволить оцінити структурні ознаки елементів відповідних множин на їх однорідність, а в разі її відсутності здійснити поетапну кластеризацію для досліджуваної множини елементів ВДМ [42 - 44, 48], поки не буде досягнута однорідність у побудованих підмножинах (кластерах).

На всіх етапах кластеризації повинна проводитись статистична оцінка показників структурних ознак вулиць і доріг для кожного сформованого кластеру. Крім того, необхідна перевірка статистичної гіпотези на вид функції розподілу структурних ознак (обов'язкова процедура), результати проведення якої дозволяють дати оцінку щодо наявності однорідності елементів в утворених кластерах.

Статистична гіпотеза – припущення про значення параметрів закону розподілу (параметрична) або його вид (непараметрична). Зазвичай, висувається основна гіпотеза (H_0), яку називають нульовою гіпотезою, а також альтернативна гіпотеза (H_1), яка є, як правило, логічним запереченням нульової гіпотези.

Статистичні гіпотези перевіряються методами математичної статистики, в результаті чого робиться висновок щодо відхилення гіпотези або її прийняття.

При цьому, завжди існує ймовірність допущення помилок двох типів: помилка першого та другого роду.

Помилка першого роду – це помилка, в результаті якої відхиляється вірна гіпотеза. Ймовірність такої помилки називається рівнем значущості α . Ймовірність α задається заздалегідь малим значенням, оскільки являється ймовірністю помилкового висновку. При цьому, зазвичай використовують стандартні значення: 0,05; 0,01; 0,005; 0,001.

Помилка другого роду – ймовірність того, що буде прийнята нульова гіпотеза H_0 , а насправді вірна гіпотеза – H_1 . Ймовірність не отримати помилку другого роду, тобто ймовірність вірного відхилення невірної нульової гіпотези, називають потужністю критерію.

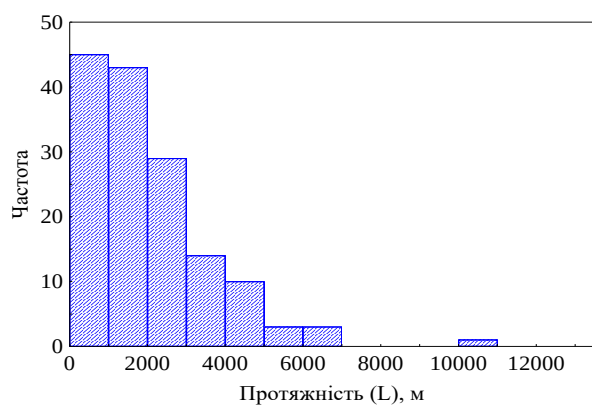
Перевірка гіпотези на вид функції розподілу структурної ознаки L і S елементів ВДМ проводилася за допомогою критерію узгодженості [63]. Зокрема, в даних дослідженнях застосовувався критерій узгодженості Колмогорова, який дозволяє визначити максимальні розбіжності між емпіричним та теоретичним (нормальним) розподілом [63].

Основна ідея застосованого критерію полягала в тому, що розподіл вважався нормальним, якщо максимальна розбіжність (макс. D) між теоретичним і емпіричним розподілом структурних ознак вулиць і доріг не перевищувала критичне значення, яке являє собою деяку встановлену стандартну величину, що вказує на порогові значення критерію. При цьому, p -значення (довірча ймовірність) підтверджує або відхиляє наявність нульової гіпотези нормального розподілу (якщо $p > 0,05$ розподіл є нормальним), тобто являє собою оцінку міри впевненості в достовірності отриманих результатів за критерієм.

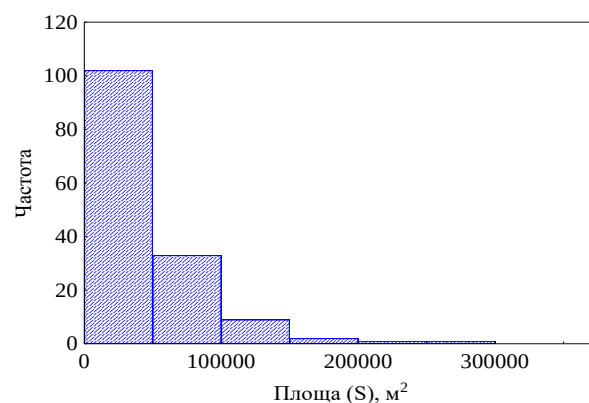
Для кожної категорії вулиць і доріг міста Києва проведено оцінювання статистичних показників структурної ознаки L і S елементів вулично-дорожньої мережі (див. таблицю 2.1) і, за критерієм узгодженості Колмогорова, надано оцінку щодо нормальності розподілу досліджуваних структурних ознак (див. рисунок 2.6).

Таблиця 2.1 – Статистичні показники структурної ознаки L і S

Магістральні вулиці загальноміського значення						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія (×10 ⁵)	Стандартне відхилення	Частка, %
L, м	2005	120	11000	25,50	1598	8
S, м ²	42245	1792	282000	19512,42	44142	
Магістральні вулиці районного значення						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія (×10 ⁵)	Стандартне відхилення	Частка, %
L, м	1179	106	6850	8,18	905	14
S, м ²	16989	1281	111124	2989,20	17289	
Вулиці та дороги місцевого значення						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія (×10 ⁵)	Стандартне відхилення	Частка, %
L, м	571	27	5300	3,10	558	78
S, м ²	3901	59	61455	250,07	5001	



а.



б.

Рисунок 2.6 – Розподіл структурних ознак магістральних вулиць загальноміського значення: а – протяжність (L); б – площа проїзної частини (S)

Отримані результати свідчать про те, що нинішній структурний стан ВДМ міста являє собою множину елементів з явно вираженою неоднорідністю структурних ознак. Виходячи з цього було проведено поетапне розбиття вихідної множини даних для формування однорідних підмножин (кластерів) з високим

ступенем подібності структурних ознак елементів ВДМ. При цьому використовувалися класифікаційні методи [14, 60, 67], які дозволили за подібними структурними ознаками об'єднати елементи ВДМ в кластери (рисунок 2.7).

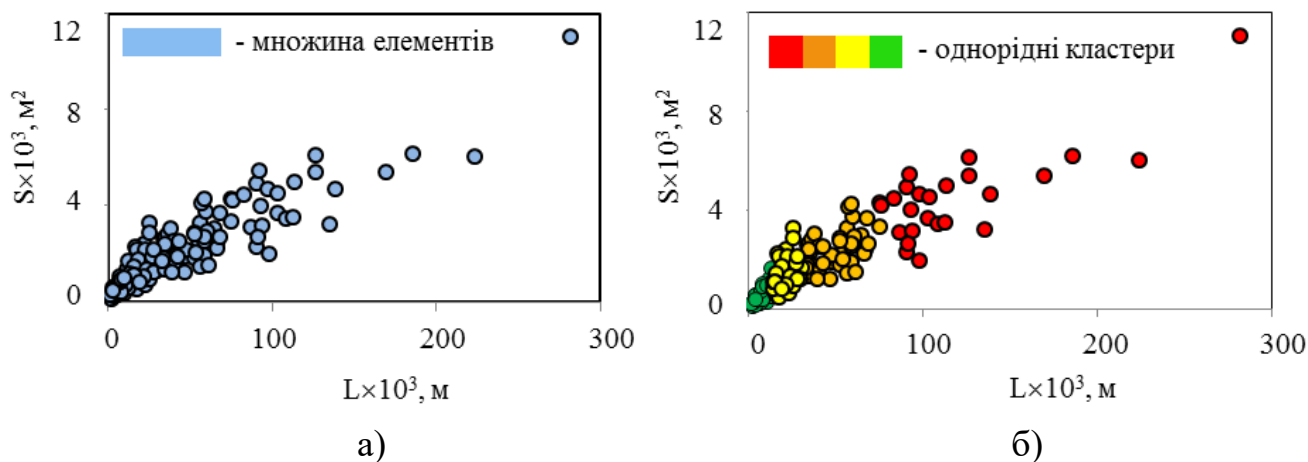


Рисунок 2.7 – Відокремлення кластерів у множині елементів ВДМ за структурною ознакою L і S (на прикладі магістральних вулиць загальноміського значення): а – множина елементів; б – однорідні кластери

Для формування однорідних кластерів застосовувався метод k -середніх [14, 67], який дозволив побудувати мінімальну кількість кластерів рознесених на максимальній відстані один від одного в k -мірному просторі. Вибір саме цього методу обумовлений тим, що його, як відомо [67], доцільно застосовувати саме при кластеризації великої кількості об'єктів. У нашому випадку вихідний (початковий) масив даних для кластеризації містив у собі інформацію щодо структурних ознак понад тисячі елементів (об'єктів) ВДМ.

Особливість методу k -середніх полягає в тому, що дослідник власноруч задає кількість кластерів, яку буде отримано внаслідок кластеризації вихідного масиву даних. З огляду на це, було прийнято рішення кластерний аналіз проводити поетапно, при цьому на кожному етапі формувати лише два кластери. Перевірка розподілу структурних ознак вулиць і доріг на відповідність нормальному закону, яка здійснювалася для кластерів на кожному етапі їхнього формування, в даному дослідженні виконувала функцію своєрідного індикатора

щодо доцільності проведення подальших етапів кластерного аналізу. Подальша кластеризація припинялася у тому випадку, якщо розподіл структурних ознак вулиць і доріг у сформованих кластерах наближався до нормального закону або коли утворювався занадто малий кластер з точки зору доцільності проведення послідовних етапів кластеризації.

Необхідність проведення такої перевірки обумовлена тим, що закон нормального розподілу, як відомо, лежить в основі статистичних методів, зокрема, оцінки репрезентативності вибірових спостережень; порушення нормального характеру розподілу часто є ознакою неоднорідності сукупності.

Кластеризація методом k-середніх проводилася поетапно, окремо для кожної категорії вулиць і доріг до тих пір, поки не було досягнуто мінімальних розбіжностей між значеннями аналізованих структурних ознак елементів ВДМ у кожному сформованому кластері. Зокрема, формування кластерів для магістральних вулиць загальноміського значення було завершено на 3 кроці кластеризації (сформовано 4 кластери, див. рисунок 2.8); для магістральних вулиць районного значення – на 7 кроці (сформовано 8 кластери); для вулиць та доріг місцевого значення – на 44 кроці кластеризації (сформовано 45 кластери).

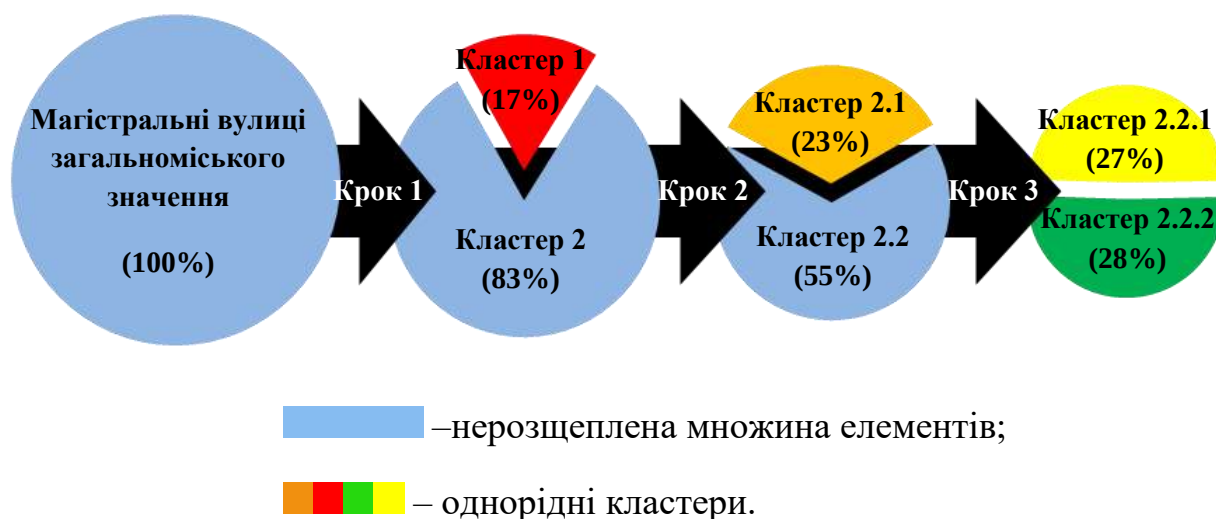


Рисунок 2.8 – Покрокова кластеризація множини елементів магістральних вулиць загальноміського значення за структурними ознаками

У таблиці 2.2 наведено статистичні показники структурних ознак, зокрема, представлені результати відповідних обчислень для сформованих кластерів магістральних вулиць загальноміського значення. Порівнюючи статистичні показники структурної ознаки L і S з попередніми результатами статистичного аналізу (таблиця 2.1) слід відмітити, що досягнуто суттєвого зменшення дисперсії для кластерів 2.1, 2.2.1, 2.2.2 (таблиця 2.2). Результати аналогічного дослідження для інших категорій вулиць і доріг наводяться в додатку А.

Таблиця 2.2 – Статистичні показники структурної ознаки L і S

Кластер 1						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія (×10 ⁵)	Стандартне відхилення	Частка, %
L, м	4521	1950	11000	31,78	1783	17
S, м ²	120328	75736	282000	237947,60	48780	
Кластер 2.1						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія (×10 ⁵)	Стандартне відхилення	Частка, %
L, м	2377	1200	4240	5,84	764,74	28
S, м ²	49586	33000	75291	1517,46	12319	
Кластер 2.2.1						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія (×10 ⁵)	Стандартне відхилення	Частка, %
L, м	1496	500	3250	1,02	602	27
S, м ²	21541	14850	30872	108,71	4516	
Кластер 2.2.2						
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія (×10 ⁵)	Стандартне відхилення	Частка, %
L, м	587	120	1695	3,62	319	28
S, м ²	7312	1792	13836	203,90	3297	

На рисунку 2.9 представлено розподіл структурних ознак магістральних вулиць загальноміського значення, зокрема результати перевірки на відповідність нормальному закону розподілу за критерієм узгодженості Колмогорова для кластера 2.2.2.

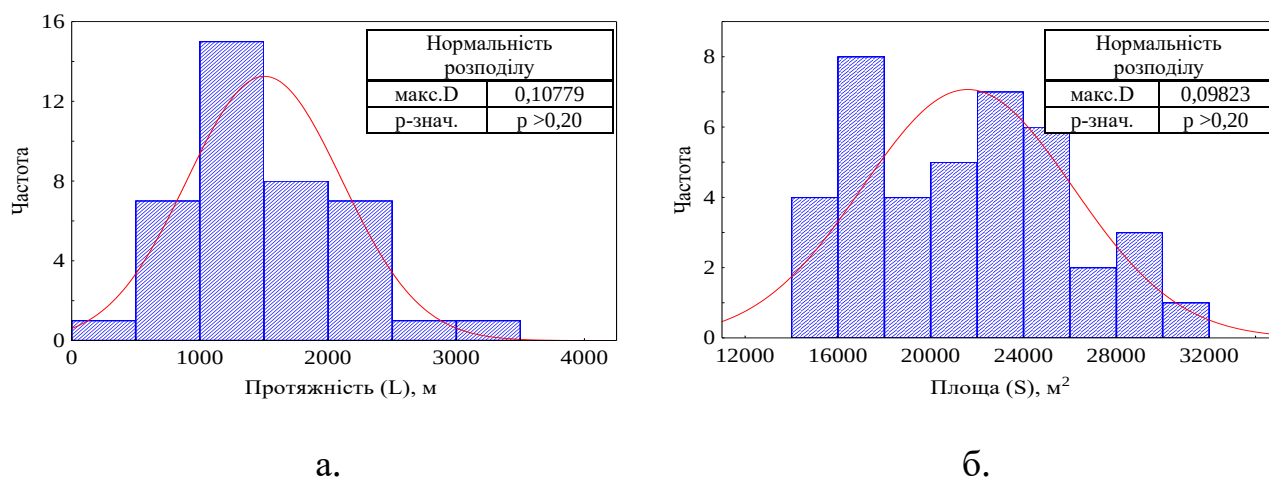


Рисунок 2.9 – Розподіл структурних ознак магістральних вулиць загальноміського значення (кластер 2.2.2): а – протяжність (L); б – площа проїзної частини (S)

Результати перевірки на відповідність нормальному закону розподілу структурної ознаки L і S для магістральних вулиць загальноміського значення свідчать про наявність однорідності в утворених кластерах 2.1, 2.2.1 і 2.2.2. Слід відмітити, що кластер 1, який складає близько 17 % магістральних вулиць загальноміського значення містить в собі вулиці та дороги, структурні ознаки яких наближаються до нормального закону розподілу лише за протяжністю (L). Магістральні вулиці районного значення в результаті проведення покрокової кластеризації рознесено у 8 кластерів, з яких лише структурні ознаки кластеру 1 (11 % магістральних вулиць районного значення) не відповідають нормальному закону розподілу. Вулиці та дороги місцевого значення вдалося рознести в кластери, з яких 75,9% – вулиці і дороги, що увійшли до 32 кластерів, структурні ознаки яких наближаються до нормального розподілу; 13,9% – вулиці і дороги, які формують 8 кластерів, що наближаються до нормального закону розподілу лише за ознакою – протяжність; 2,2% – вулиці і дороги кластеру 2.2.2.1.2.1.1, наближаються до нормального розподілу за ознакою площі; 8% – вулиці та дороги кластерів 2.2.2.1.1.1, 2.2.2.2.1.1.1, 2.2.2.2.1.2.2.2, 2.2.2.2.2.1.2.1, які не наближаються до нормального розподілу за жодною ознакою.

Результати кластерного аналізу в цілому вказують на значну різноманітність вулиць і доріг, зокрема ВДМ Шевченківського району. Вулиці цього району є елементами лівової частки сформованих кластерів (додаток Б).

Проведено ідентифікацію вулиць і доріг (типових елементів ВДМ), що мають структурні ознаки, які наближаються до середньостатистичних значень сформованих кластерів. У зв'язку з цим, були знайдені центри тяжіння (ядра) відповідних кластерів, що дозволило при повторній кластеризації, яка, відповідно, передбачала залучення до аналізу ядер сформованих кластерів, виявити із досліджуваної множини елементів (у межах кожного однорідного кластеру) вулиці або ділянки доріг, структурні ознаки яких найкраще співпадають з центрами тяжіння відповідного кластера. Повторна кластеризація реалізується ієрархічним методом кластерного аналізу (метод Варда [14]).

На рисунку 2.10 представлено приклад ідентифікації типових елементів (вулиць і доріг) серед множини елементів сформованих кластерів (дендрограма результату проведення ієрархічної кластеризації елементів кластеру 2.2.2 магістральних вулиць загальноміського значення).

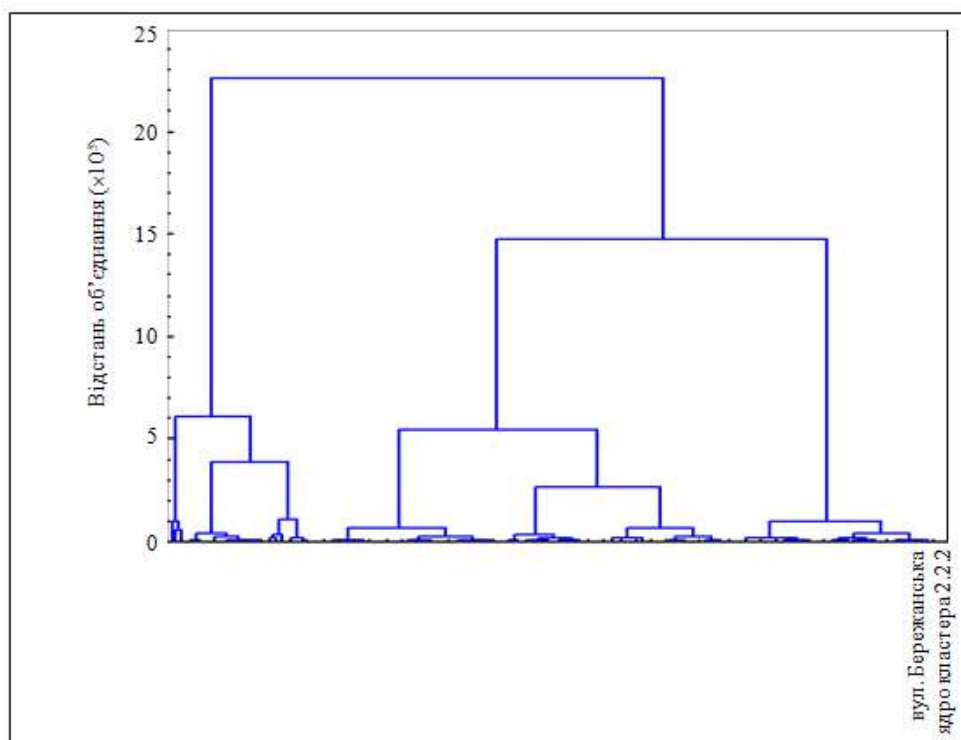


Рисунок 2.10 – Дендрограма ідентифікації типових елементів ВДМ за ієрархічним методом кластерного аналізу (на прикладі кластера 2.2.2)

Типові елементи ВДМ та їх структурні ознаки з поділом на категорії вулиць і доріг представлено у таблицях 2.3-2.5.

Таблиця 2.3 – Типові елементи ВДМ (для категорії – магістральні вулиці загальноміського значення)

Кластер	Назва вулиць та доріг	Район	L, м	S, м ²	Частка, %
2.1	вул. Солом'янська	Солом'янський	2157	47774	28,0
2.2.1	вул. 9-го Травня	Святошинський	615	6740	27,0
2.2.2	вул. Бережанська	Оболонський	1560	21108	28,0

Таблиця 2.4 – Типові елементи ВДМ (для категорії – магістральні вулиці районного значення)

Кластер	Назва вулиць та доріг	Район	L, м	S, м ²	Частка, %
2.1.1	вул. Богдана Хмельницького	Шевченківський	1858	28518	9,4
2.1.2	вул. Святошинська	Святошинський	1350	19710	17,0
2.2.1.1	вул. Донецька	Солом'янський	1121	13200	10,1
2.2.1.2	вул. Стадіонна	Солом'янський	900	9900	13,0
2.2.2.1	вул. Сагайдачного	Подільський	420	3652	15,5
2.2.2.2.1	вул. Ю. Коцюбинського	Шевченківський	584	5840	12,3
2.2.2.2.2	вул. Банкова	Печерський	495	7557	11,6

Таблиця 2.5 – Типові елементи ВДМ (для категорії – вулиці та доріг місцевого значення)

Кластер	Назва вулиць та доріг	Район	L, м	S, м ²	Частка, %
1.2.1	вул. Ташкентська	Дарницький	1770	17700	2,3
1.2.2.1	вул. Ново-Польова	Солом'янський	1560	12610	1,6
1.2.2.2.2	вул. Цимбалів Яр (ділянка дороги від вул. Уральської до вул. О.Кошового)	Голосіївський	1450	10572	1,8
2.1.1.1	вул. Данькевича	Деснянський	1400	14650	0,3
2.1.1.2.1	вул. Вірменська	Дарницький	1150	8855	2,5
2.1.1.2.2	вул. Естонська	Шевченківський	1016	7620	3,2
2.1.2.1.1	вул. Коноплянська	Оболонський	813	6411	3,6

Продовження табл. 2.5

2.1.2.1.2.1	вул. Ялинкова	Дарницький	1100	5500	1,5
2.1.2.1.2.2	вул. Жданова	Дарницький	631	5552	2,8
2.1.2.2.1.1	пров. Межовий	Подільський	750	5040	1,4
2.1.2.2.1.2	вул. Бурмістенко (ділянка дороги від пр-т. 40-річчя Жовтня до вул. Васильківської)	Голосіївський	720	4659	2,4
2.1.2.2.2.1	вул. Чабанівська (ділянка дороги від пр-т. Глушкова)	Голосіївський	950	4359	1,2
2.1.2.2.2.2	вул. Майкопська (ділянка дороги від вул. Кустанайської до вул. Батумської)	Голосіївський	570	4094	3,2
2.2.1.1.1.2	вул. Іскрівська	Солом'янський	448	3250	3,0
2.2.1.1.2.1	вул. Грабовського (ділянка дороги від пр-т. Науки до вул. Федосіївської)	Голосіївський	680	3743	2,6
2.2.1.1.2.2	вул. Бахмачська	Святошинський	570	3580	2,9
2.2.1.2.1.1.1	пров. Уральський (ділянка дороги від вул. Уральської)	Голосіївський	620	2765	1,7
2.2.1.2.1.1.2	вул. Фрунзе	Дарницький	600	2520	1,4
2.2.1.2.1.2.1	вул. Гаршина	Святошинський	360	2590	1,8
2.2.1.2.1.2.2	пров. Будівельників	Дніпровський	420	2862	1,7
2.2.1.2.2.1	вул. Іванова	Печерський	345	2070	2,8
2.2.1.2.2.2.1	вул. Батумська	Голосіївський	660	2310	1,0
2.2.1.2.2.2.2	вул. Смолича (ділянка дороги від вул. Якубовського до вул. Конєва)	Голосіївський	390	2340	3,0
2.2.2.1.1.2.2	вул. Дмитрівська	Подільський	280	1699	4,7
2.2.2.1.2.1.2.2	вул. Паторжицького	Шевченківський	232	1404	2,9
2.2.2.1.2.2.2	вул. Яснополянська	Святошинський	275	1238	3,1
2.2.2.2.1.1.2	вул. Шумова	Печерський	175	1050	3,4
2.2.2.2.1.2.1	вул. Тургенєва	Деснянський	225	900	3,2
2.2.2.2.1.2.2.1	пров. Балакірєва	Голосіївський	280	770	1,2
2.2.2.2.2.1.2.2	пров. Бишевський	Дніпровський	100	400	1,2
2.2.2.2.2.2.1.1	пров. О.Кошового (ділянка дороги від вул. Кошового до вул. Добрий Шлях)	Голосіївський	120	525	2,4
2.2.2.2.2.2.2	пров. Комінтерну	Дарницький	170	680	4,1

Ідентифіковані елементи ВДМ суттєво зменшують розмірність досліджуваної ВДМ міста Києва за структурними ознаками і відображають 83% мережі магістральних вулиць загальноміського значення, 89% мережі магістральних вулиць районного значення, а також 75,9 % – вулиці та дороги місцевого значення.

Зменшення розмірності ВДМ забезпечується представленням структури ВДМ окремими кластерами, елементи яких характеризуються високим ступенем подібності за відповідними структурними ознаками та наступною ідентифікацією типових елементів (в межах кожного сформованого кластеру), структурні ознаки яких в цілому дають загальне уявлення як про структурний стан елементів кожного кластеру, так і ВДМ міста в цілому. Це аргументується, зокрема, основним твердженням про кластерний аналіз, що кожен кластер, в результаті виконання такої багатовимірної статистичної процедури, складається зі схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізняються [60], а також наявністю можливості до відтворення певних характеристик та особливостей структури ВДМ (що піддавалась кластеризації) на основі параметрів розподілу (описової статистики) структурних ознак елементів ВДМ, які увійшли до складу кожного сформованого кластеру.

Отримані результати такої кластеризації елементів ВДМ можуть слугувати репрезентативною моделлю при аналізі функціонування автотранспортних потоків на ВДМ не тільки вітчизняних, але й також закордонних мегаполісів.

Запропонований підхід до проведення класифікації множини елементів ВДМ може використовувати необмежену кількість ознак, як структурної природи так й іншої, дозволяє провести ідентифікацію елементів вихідної множини щодо їх особливих ознак, зменшити розмірність досліджуваної множини елементів і може бути ефективним способом опису структури ВДМ для вивчення структурних і функціональних особливостей мережі, виявлення проблемних і потенційно проблемних ділянок доріг, а також пошуку шляхів, що забезпечать ефективне функціонування автотранспортних потоків на ВДМ.

2.2 Формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків міста

2.2.1 Ітераційна процедура знаходження репрезентативних ділянок вулично-дорожньої мережі

У цьому пункті наведено результати щодо удосконалення методу формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків, який було розглянуто на прикладі ВДМ Шевченківського району м. Києва. Шевченківський район – це центральний адміністративний район міста, який відзначається найвищими показниками щільності ВДМ (близько $5,7 \text{ км/км}^2$). Протяжність всіх вулиць та доріг в межах всієї території району складає близько 150 км, при цьому домінуюча категорія – вулиці та дороги місцевого значення.

Порівняльний аналіз ВДМ адміністративних районів міста Києва показав, що ВДМ Шевченківського району (також Деснянського району) включає на 25-60% більше магістральних вулиць і доріг (див. підрозділ 2.1). Проте, слід зазначити, що фактичні параметри (кількість смуг руху, ширина однієї смуги та ін.) поперечного профілю проїзної частини цих вулиць і доріг не завжди відповідають нормативним значенням категорії. Невідповідність відмічених параметрів призводить до хибного відображення процесів, що протікають у ВДМ міста. З огляду на це, мережа моніторингу автотранспортних потоків повинна містити оптимальну кількість стаціонарних постів, розміщених в місцях перебігу основних транспортних процесів, що зробить її інформативною та чутливою до флуктуацій в міській транспортній системі.

Формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків здійснюється шляхом реалізації покрокової ітераційної процедури знаходження репрезентативних елементарних ділянок [45, 82, 108, 109], в межах яких рекомендується розміщувати пости спостереження за параметрами дорожнього руху.

Ітераційна процедура знаходження репрезентативних ділянок передбачає виконання таких послідовних дій [45, 82, 108, 109]:

- розбиття ВДМ міста на елементи (вулиці і дороги) за категоріями відповідно до діючої класифікації вулиць та доріг [50, 51];
- розбиття елементів (вулиць і доріг) на елементарні ділянки з фіксованими структурними ознаками, що визначають характер та параметри розподілу автотранспортних потоків на ВДМ;
- формування однорідних груп елементарних ділянок вулиць і доріг з подібними груповими структурними ознаками;
- встановлення характеру та параметрів розподілу індивідуальної структурної ознаки в межах сформованих однорідних груп елементарних ділянок вулиць і доріг;
- знаходження репрезентативних елементарних ділянок вулиць і доріг за параметрами розподілу індивідуальної структурної ознаки в межах сформованих однорідних груп.

Мережа моніторингу автотранспортних потоків повинна враховувати особливості розподілу вулиць і доріг різної категорії. Тому, на основі зведеної інвентаризаційної відомості міста, відповідно до діючої класифікації вулиць і доріг [50, 51] було ідентифіковано категорії всіх елементів (вулиць і доріг) ВДМ Шевченківського району м. Києва (рисунок 2.11). Це дозволило сформулювати масив даних щодо всіх елементів ВДМ району: частка магістральних вулиць загальноміського значення склала 30%; магістральних вулиць районного значення – 29 %; вулиць та доріг місцевого значення – 41%.

Як відомо, функціонування автотранспортних потоків на вулицях і дорогах міста відбувається під впливом різних чинників, причому вплив дорожніх умов на основні параметри автотранспортного потоку часто є вирішальним, оскільки, чим частіше змінюються дорожні умови вздовж вулиці, тим складнішою є взаємодія автомобілів у автотранспортному потоці. З огляду на це, було прийнято рішення вулиці і дороги міста розглядати у вигляді сукупності елементарних ділянок. За елементарну ділянку приймається частина вулиці або дороги, в межах якої зберігається її структурна конфігурація (це ділянка між двома найближчими перехрестями).

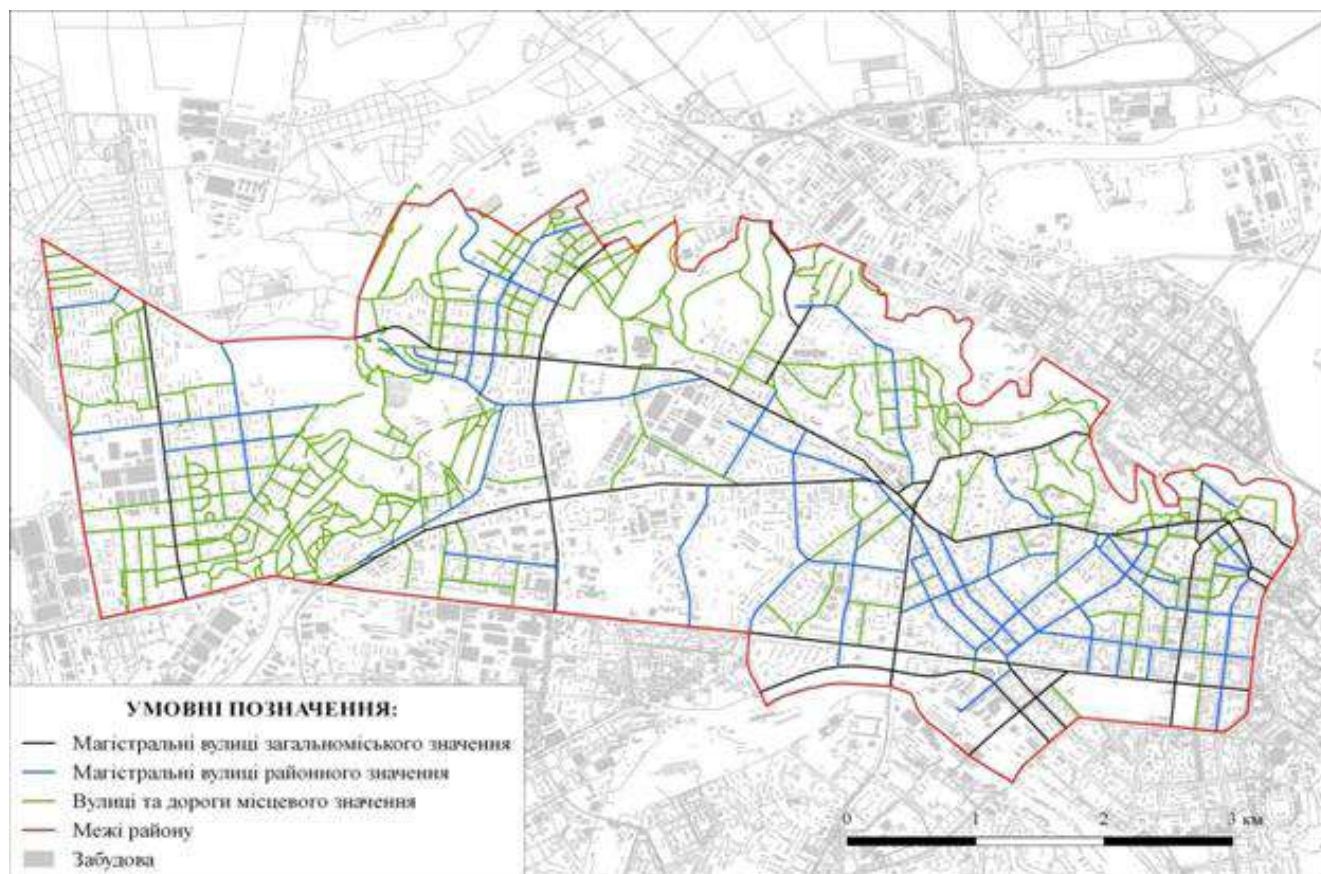


Рисунок 2.11 – ВДМ Шевченківського району міста Києва (з поділом вулиць і доріг на категорії згідно з чинною класифікацією [50, 51])

На рисунку 2.12 представлено фрагмент карти-схеми розбиття елементів ВДМ Шевченківського району м. Києва на елементарні ділянки. В цілому за результатами такого розбиття у відповідній ВДМ було відокремлено 623 елементарні ділянки ($r.1 \div r.623$, див. додаток В). Частка елементарних ділянок, що належать до категорії – магістральні вулиці загальноміського значення становить 31%; до категорії – магістральні вулиці районного значення становить 24%; до категорії – вулиці та дороги місцевого значення становить 45%.

Отже, на першому кроці ВДМ міста розбивається на елементи, тобто вулиці і дороги за категоріями відповідно до діючої класифікації доріг. Далі для кожної категорії елементи міської мережі діляться на елементарні ділянки, яким властиві певні групові та індивідуальні структурні ознаки (з огляду на вагомість впливу ознаки на параметри дорожнього руху).

В якості групових структурних ознак розглядаються структурна конфігурація елементарної ділянки, яка визначається схемою (Х-подібне, Т-подібне тощо) і типом (регульоване, нерегульоване) утворених перехресть або наявністю транспортних розв'язок на її кінцівках, та параметри поперечного профілю проїзної частини елементарної ділянки (кількість смуг руху, ширина однієї смуги тощо).

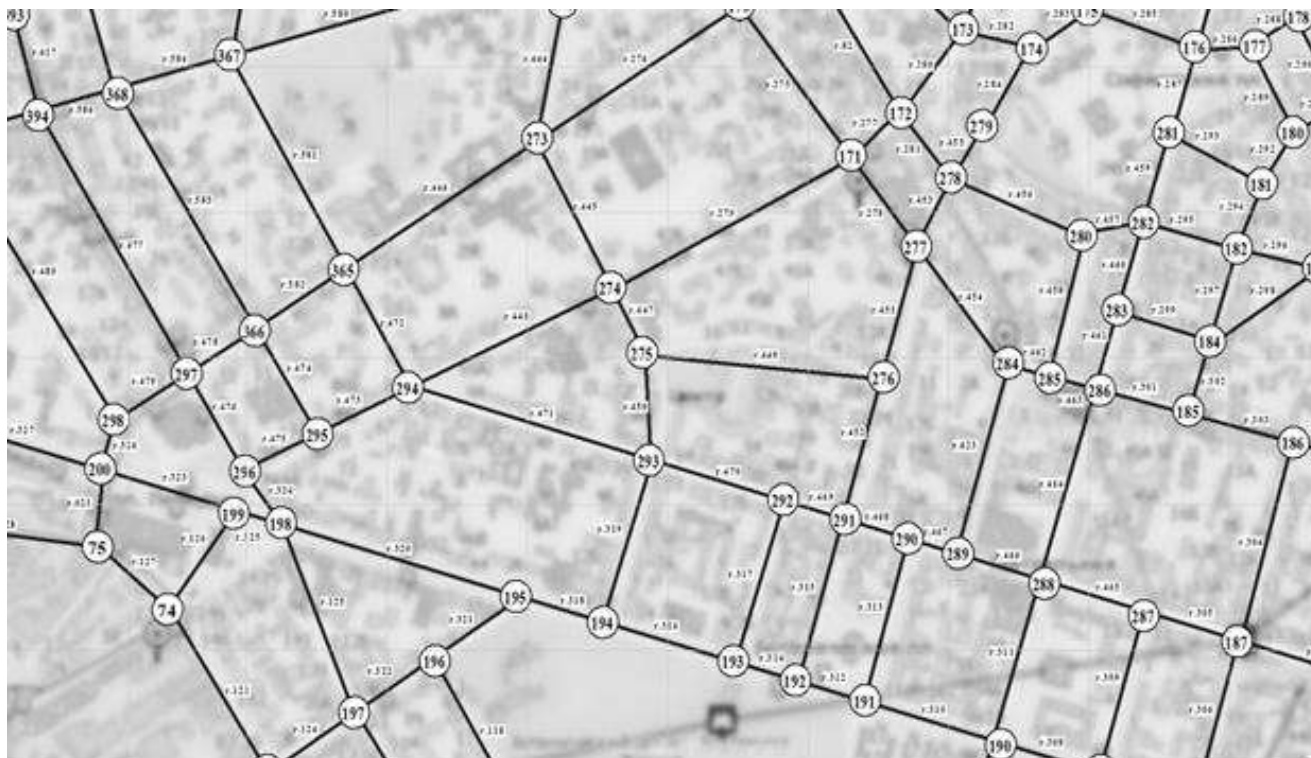


Рисунок 2.12 – Фрагмент карти-схеми розбиття елементів ВДМ Шевченківського району м. Києва на елементарні ділянки

В якості індивідуальної структурної ознаки розглядаються параметри повздовжнього профілю проїзної частини елементарної ділянки (протяжність ділянки, ухил тощо).

При встановленні типу структурної конфігурації елементарної ділянки виявлені можливі комбінації схем та типів перехресть, транспортних розв'язок на її кінцівках (Т-1÷Т-15). У спрощеному вигляді, на рисунку 2.13 наводиться приклад елементарної ділянки ВДМ, структурна конфігурація якої відповідає

типу Т-1, що визначають два нерегульовані Х-подібні перехрестя на кінцівках ділянки.

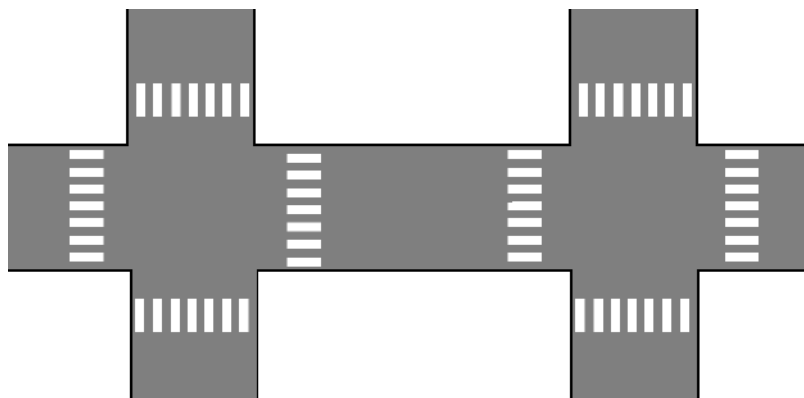


Рисунок 2.13 - Приклад структурної конфігурації елементарної ділянки

Нижче, у таблиці 2.6 представлено найбільш характерні для ВДМ Шевченківського району м. Києва типи структурної конфігурації елементарної ділянки (з поясненням щодо схеми і типу перехресть на кінцівках елементарної ділянки відповідного типу).

Таблиця 2.6 – Типи структурної конфігурації елементарних ділянок ВДМ Шевченківського району м. Києва

Структурна конфігурація, тип	Пояснення до типу структурної конфігурації (щодо схеми та типу перехресть на кінцівках елементарної ділянки)
Т-1	Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване
Т-2	Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, світлофорне регулювання
Т-3	Х-подібне, світлофорне регулювання/Х-подібне, світлофорне регулювання
Т-4	Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване
Т-5	Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, світлофорне регулювання
Т-6	Т-подібне, світлофорне регулювання/ Т-подібне, світлофорне регулювання
Т-7	Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, нерегульоване
Т-8	Т-подібне, світлофорне регулювання/ Х-подібне, нерегульоване

T-9	T-подібне, нерегульоване/Х-подібне, світлофорне регулювання
T-10	T-подібне, світлофорне регулювання/Х-подібне, світлофорне регулювання
T-11	T-подібне, світлофорне регулювання/ транспортна розв'язка
T-12	Х-подібне, світлофорне регулювання/ транспортна розв'язка
T-13	транспортна розв'язка/ транспортна розв'язка
T-14	Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване
T-15	Х-подібне, нерегульоване/ транспортна розв'язка

На рисунку 2.14 наводяться деякі схеми перехресть і транспортних розв'язок, що розглядалися при встановленні типу структурної конфігурації елементарної ділянки.

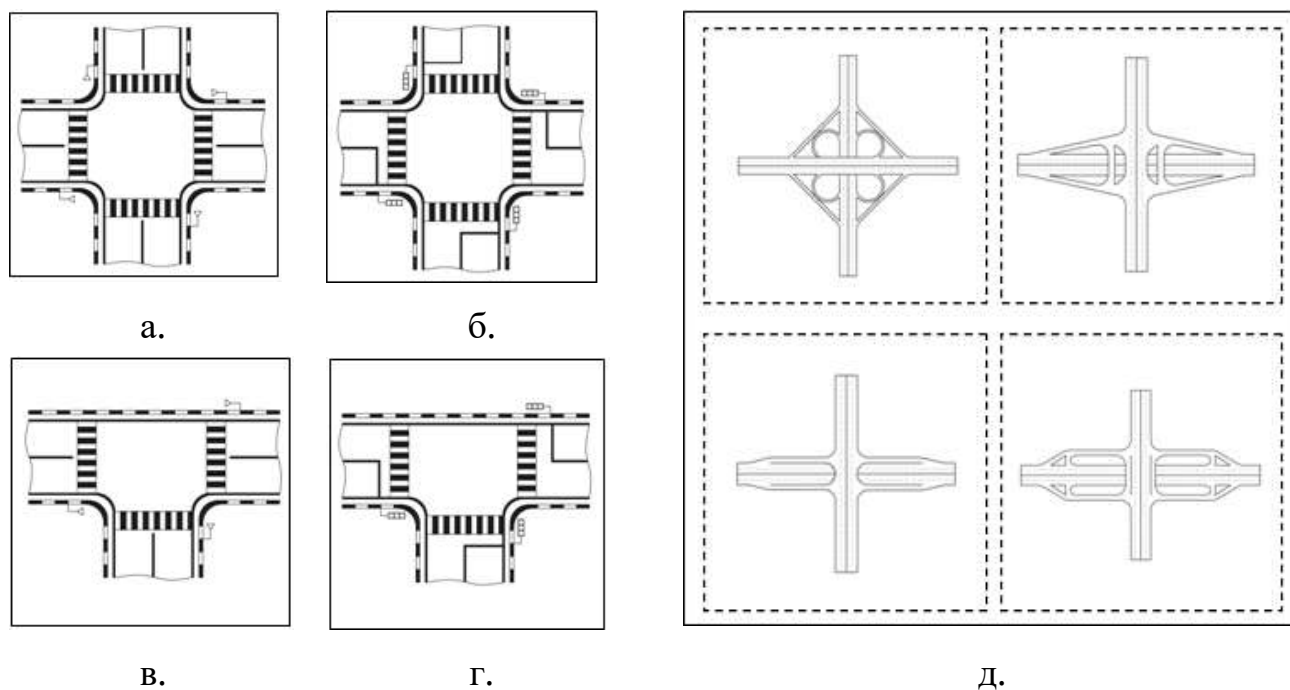


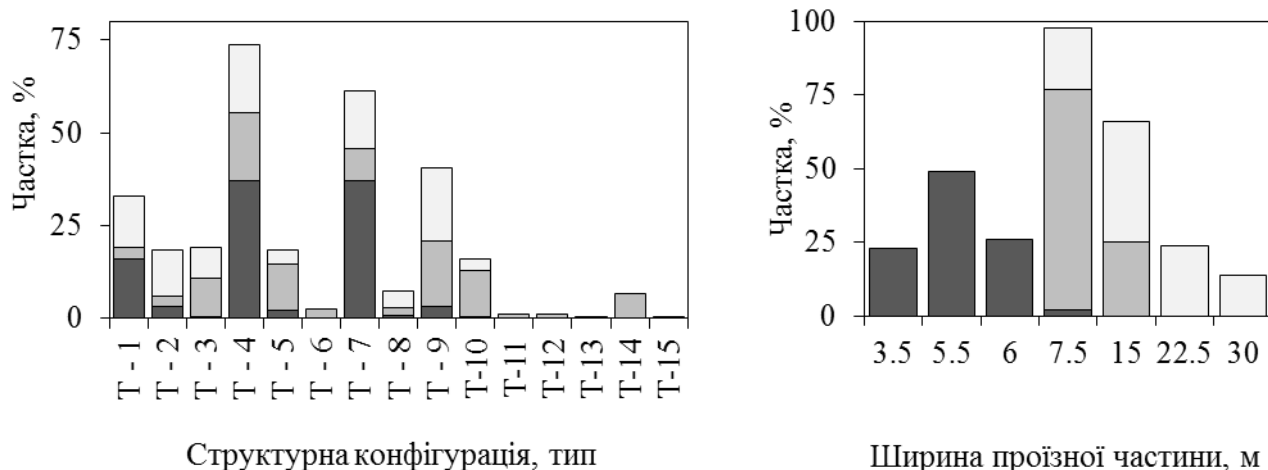
Рисунок 2.14 – Схеми перехресть і транспортних розв'язок: а – Х-подібне (нерегульоване); б – Х-подібне (зі світлофорним регулюванням); в – Т-подібне (нерегульоване); г – Т-подібне (зі світлофорним регулюванням); д – перетин вулиць і доріг у двох рівнях.

Структурні ознаки елементарних ділянок ВДМ можуть бути встановлені за допомогою використання пошуково-інформаційного картографічного сервісу Яндекс – «Яндекс. Карти», а саме сумісного використання онлайн-додатку «Яндекс. Панорами», інструменту «вимірювання відстаней» та нормативного документу (ДБН В.2.3-5-2001, Додаток В) в якому зазначено параметри різних типів поперечного профілю проїзної частини для вулиць і доріг населених пунктів відповідно до категорії.

На рисунку 2.15 для ВДМ Шевченківського району м. Києва представлено розподіл елементарних ділянок за груповими структурними ознаками (з поділом на категорії згідно з чинною класифікацією [50, 51]). На осі ординат відображено частки (виражено у відсотках) в загальному обсязі групових структурних ознак (тип структурної конфігурації елементарної ділянки, ширина проїзної частини) для кожної категорії вулиць і доріг окремо. Якщо всі частки відповідної ознаки для окремої категорії вулиць і доріг, що на рисунку представлені різним кольором, скласти, то отримаємо загальний обсяг –100%.

Встановлено, що найбільшу частку з множини елементарних ділянок вулиць і доріг категорії – магістральні вулиці загальноміського значення складають ділянки зі структурною конфігурацією типу Т-9 (Т-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, світлофорне регулювання) – 19,6%, Т-4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване) – 18,3%, Т-7 (Т-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване) – 15,6%, Т-1 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване) – 13,7%, Т-2 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, світлофорне регулювання) – 12,4%; елементарних ділянок вулиць і доріг категорії – магістральні вулиці районного значення, складають ділянки типу Т-4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване) – 18,6%, (Т-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, світлофорне регулювання) – 17,5%, Т-5 (Т-подібне, нерегульоване/Т-подібне, світлофорне регулювання) і Т-10 (Т-подібне, світлофорне регулювання/Х-подібне, світлофорне регулювання) – близько 13%; елементарних ділянок вулиць та доріг категорії – вулиці та дороги місцевого значення, складають ділянки типу Т-4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване)

і Т-7 (Т-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване) – близько 37%, Т-1 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване) – 16%.



а.

б.

-  – Магістральні вулиці загальноміського значення;
-  – Магістральні вулиці районного значення;
-  – Вулиці та дороги місцевого значення.

Рисунок 2.15 – Розподіл елементарних ділянок вулиць і доріг Шевченківського району м. Києва за груповими структурними ознаками: а – структурна конфігурація; б – ширина проїзної частини.

Розподіл елементарних ділянок за структурною ознакою (з відповідним поділом на категорії вулиць і доріг) – ширина проїзної частини (д) вказує на неоднозначні результати (рисунок 2.15 б). Зокрема, множина елементарних ділянок магістральних вулиць загальноміського значення відзначається високим вмістом ділянок (41%), проїзна частина яких містить 4 смуги руху (ширина однієї смуги для магістральних вулиць та доріг згідно з нормативним документом [50] становить 3,75 м). Сукупність елементарних ділянок магістральних вулиць районного значення містить ділянки з 2-смуговою (частка ділянок складає 75%) та 4-смуговою (частка ділянок складає 2%) проїзними частинами.

У свою чергу, сукупність елементарних ділянок вулиць і доріг категорії – вулиці та дороги місцевого значення, розподілилися за розміром ширини проїзної частини наступним чином: ділянки проїздів типу основні (ширина проїзної

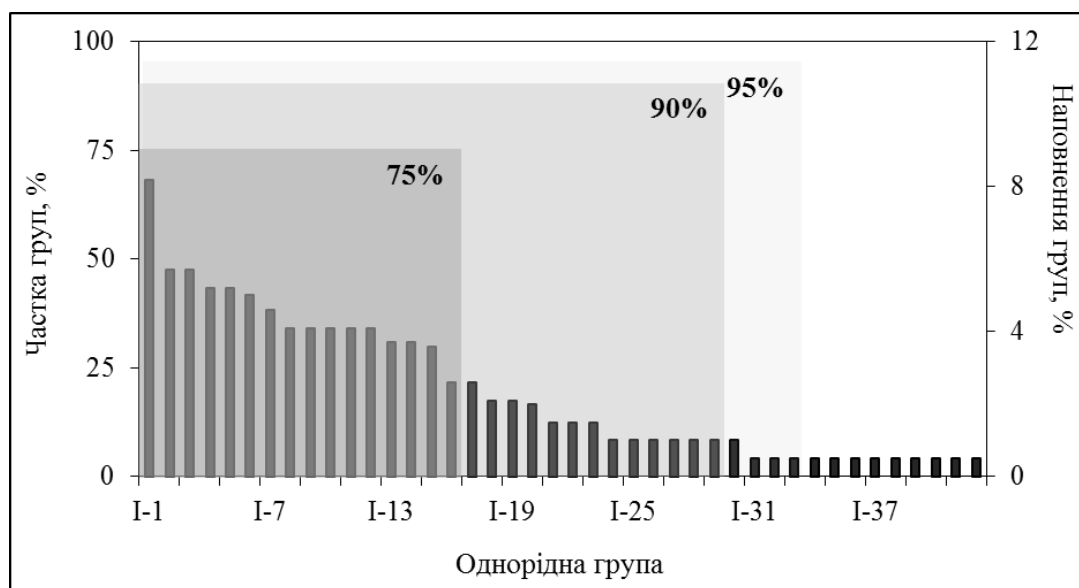
частини згідно з нормативним документом [50] становить 5,5 м) складають найбільшу частку – 49%; ділянки житлових вулиць (ширина однієї смуги – 3 м [50]) – 26%; ділянки проїздів типу другорядні (ширина проїзної частини 3,5 м [50]) – 23 %; ділянки доріг промислових і комунально-складських зон (ширина однієї смуги 3,75 м [50]) складають найменшу частку (близько 2%) усієї множини елементарних ділянок вулиць та доріг місцевого значення.

Результати щодо формування однорідних груп елементарних ділянок ВДМ Шевченківського району м. Києва за груповими структурними ознаками для вулиць і доріг різної категорії представлено в додатку Г.

2.2.2 Метод ідентифікації репрезентативних ділянок вулично-дорожньої мережі

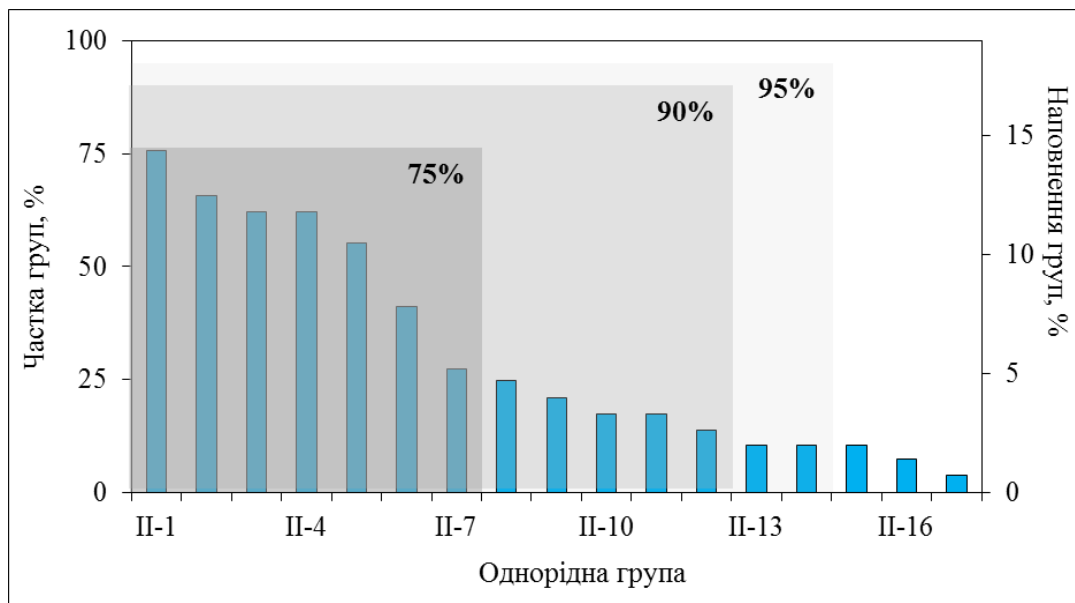
Ідентифікація репрезентативних ділянок ВДМ здійснюється в межах сформованих однорідних груп, що містять елементарні ділянки зі спільними груповими структурними ознаками.

На основі комбінаторного аналізу встановлено можливі конфігурації елементів множини елементарних ділянок ВДМ Шевченківського району (для кожної категорії вулиць і доріг), побудовано відповідні розподіли комбінаторних конфігурацій однорідних груп за наповненням відповідних груп елементарними ділянками (рисунк 2.16).

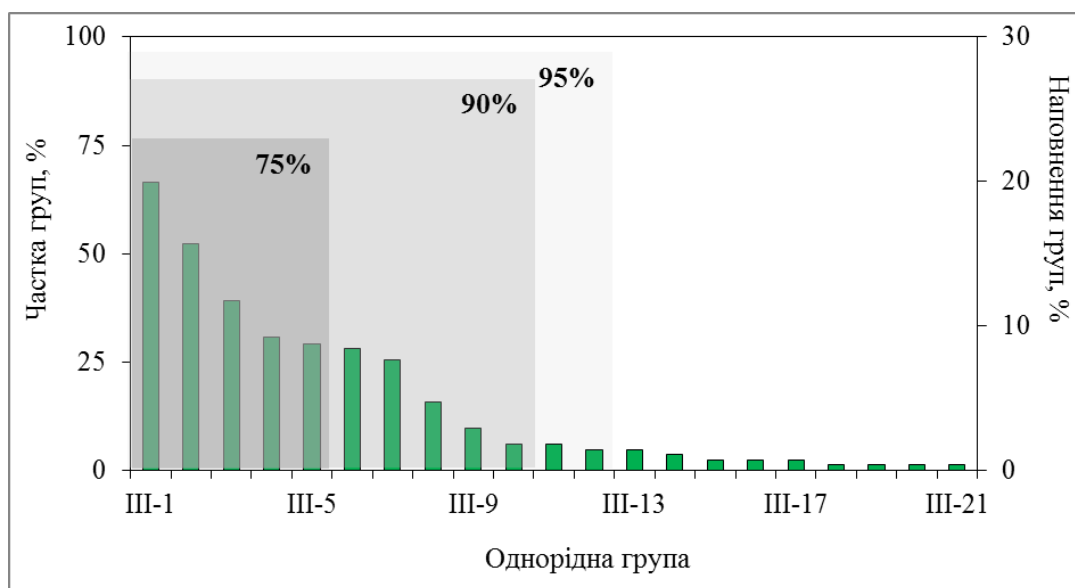


а.

Продовження рисунку 2.16



б.



в.

Рисунок 2.16 – Розподіл однорідних груп за наповненням елементарними ділянками: а – магістральні вулиці загальноміського значення; б – магістральні вулиці районного значення; в – вулиці та дороги місцевого значення

На осях абсцис гістограм (див. рисунок 2.16) використано такі позначення:

- I-i, де $i = 1, 2, \dots, n$, є ідентифікатор i-ої однорідної групи елементарних ділянок вулиць і доріг категорії I – магістральні вулиці загальноміського значення;

- II- i , де $i = 1, 2, \dots, n$, є ідентифікатор i -ої однорідної групи елементарних ділянок вулиць і доріг категорії II – магістральні вулиці районного значення;

- III- i , де $i = 1, 2, \dots, n$, є ідентифікатор i -ої однорідної групи елементарних ділянок вулиць і доріг категорії III – вулиці і дороги місцевого значення.

Для елементарних ділянок магістральних вулиць загальноміського значення виявлено 42 можливі конфігурації однорідних груп; для елементарних ділянок магістральних вулиць районного значення – 17; для елементарних ділянок вулиць та доріг місцевого значення – 21 конфігурацію.

Оскільки наповнення деяких однорідних груп виявилось незначним (менше 1%), то пошук репрезентативних ділянок серед елементів відповідних груп вважаємо недоцільним для формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків. Якщо розглядати однорідні групи, наповнення яких елементарними ділянками складає понад 1%, то мережа моніторингу (для ВДМ Шевченківського району міста Києва) буде побудована на основі сукупності елементарних ділянок, що складає 90% від усієї множини ділянок.

Якщо наповнення однорідних груп елементарними ділянками (для категорії – магістральні вулиці загальноміського значення) складає понад 2% (від усієї множини ділянок відповідної категорії вулиць і доріг), то мережа моніторингу буде контролювати автотранспортні потоки на ділянках, що охоплюють 75% ВДМ даної категорії вулиць і доріг (однорідні групи – I-1÷I-17); наповнення однорідних груп 1-2 % – це 90 % ВДМ (однорідні групи I-1÷I-28); наповнення однорідних груп менше 1 % – понад 95% мережі магістральних вулиць загальноміського значення (однорідні групи I-1÷I-34). Аналогічний аналіз проведено для однорідних груп двох інших категорій вулиць і доріг Шевченківського району м. Києва (див. рисунок 2.16 б і рисунок 2.16 в).

У межах сформованих однорідних груп за індивідуальною структурною ознакою (протяжність ділянки) були побудовані емпіричні функції розподілу елементарних ділянок вулиць і доріг, за характером та параметрами якого визначалися середні статистичні значення індивідуальної структурної ознаки, які

є центрами тяжіння (ядрами) сформованих однорідних груп і за якими ідентифікуються репрезентативні елементарні ділянки.

Ідентифікація репрезентативних ділянок здійснюється за допомогою ієрархічного методу кластерного аналізу [14, 67], який дозволяє в межах сформованих груп, із усієї сукупності досліджуваної множини елементарних ділянок, для ВДМ виявити ті ділянки, структурні ознаки яких максимально наближаються до їх центрів тяжіння (див. рисунок 2.17).

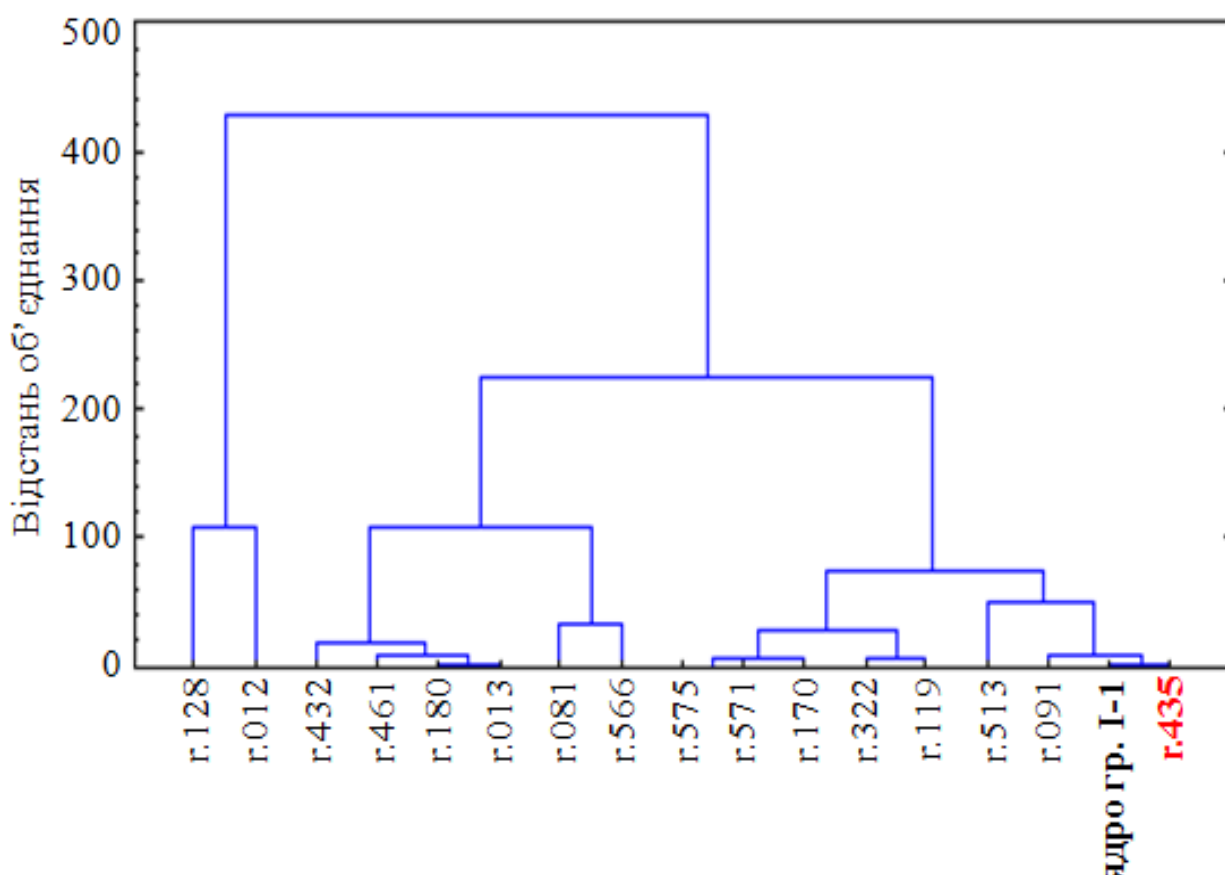


Рисунок 2.17 – Дендрограма ідентифікації репрезентативної ділянки ВДМ (на прикладі елементарних ділянок однорідної групи I-1)

У таблицях 2.7-2.9 наводяться репрезентативні ділянки та значення їх структурних ознак (окремо для кожної категорії вулиць і доріг) мережі моніторингу автотранспортних потоків, що охоплює 75% (за кожною категорією) ВДМ Шевченківського району м. Києва

Таблиця 2.7 – Репрезентативні ділянки для мережі магістральних вулиць загальноміського значення

Група	Ділянка	Назва вулиці	L, м	d, м	T, тип
I-1	г.435	вул. Артема	175	15	T-9
I-2	г.117	вул. Льва Толстого	176	15	T-4
I-3	г.182	вул. Щербакова	237	15	T-10
I-4	г.111	вул. Льва Толстого	193	15	T-3
I-5	г.14	вул. Стеценка	475	15	T-5
I-6	г.132	вул. Борщагівська	182	22,5	T-4
I-7	г.240	вул. Мельникова	214	22,5	T-5
I-8	г.267	вул. Глибочицька	297	7,5	T-4
I-9	г.247	вул. Овруцька	251	7,5	T-9
I-10	г.311	вул. Володимирська	280	22,5	T-3
I-11	г.207	вул. Щусєва	151	22,5	T-9
I-12	г.141	пр-т. Перемоги	520	30	T-14
I-13	г.161	вул. Акад. Тупольова	319	7,5	T-7
I-14	г.108	вул. Червоноармійська	256	22,5	T-10
I-15	г.137	пр-т. Перемоги	300	30	T-4
I-16	г.460	вул. Володимирська	154	15	T-7
I-17	г.134	пр-т. Перемоги	174	30	T-7

Таблиця 2.8 – Репрезентативні ділянки для мережі магістральних вулиць районного значення

Група	Ділянка	Назва вулиці	L, м	d, м	T, тип
II-1	г.400	вул. Тимофія Шамрило	260	7,5	T-4
II-2	г.47	вул. Бакинська	291	7,5	T-7
II-3	г.33	вул. Берлинського	222	7,5	T-1
II-4	г.562	вул. Шолуденка	233	7,5	T-9
II-5	г.610	вул. Дмитрівська	250	7,5	T-2
II-6	г.305	вул. Б. Хмельницького	172	15,0	T-9
II-7	г.304	вул. Пушкінська	337	7,5	T-3
II-8	г.382	вул. Вільгельма Піка	390	7,5	T-8

Таблиця 2.9 – Репрезентативні ділянки для мережі вулиць та доріг місцевого значення

Група	Ділянка	Назва вулиці	L, м	d, м	T, тип
III-1	г.339	вул. Старокиївська	185	5,5	T-7
III-2	г.458	вул. Золотоворітська	240	5,5	T-4
III-3	г.199	вул. Кузьминська	213	3,5	T-4
III-4	г.162	вул. Естонська	280	6,0	T-4
III-5	г.520	вул. Шаумяна	202	3,5	T-7
III-6	г.390	вул. Муромська	235	5,5	T-1

На рисунку 2.18 показано мережу моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ (на прикладі ВДМ Шевченківського району міста Києва). Репрезентативні елементарні ділянки даної мережі моніторингу охоплюють близько 75% відповідної ВДМ, і зменшують розмірність досліджуваної множини елементів ВДМ району приблизно у 15 разів.

Географічну основу для карти розроблено в середовищі ГІС-пакету Quantum GIS (QGIS) у вигляді окремих векторних шарів цифрової, просторово прив'язаної інформації в геодезичній системі координат WGS 84.

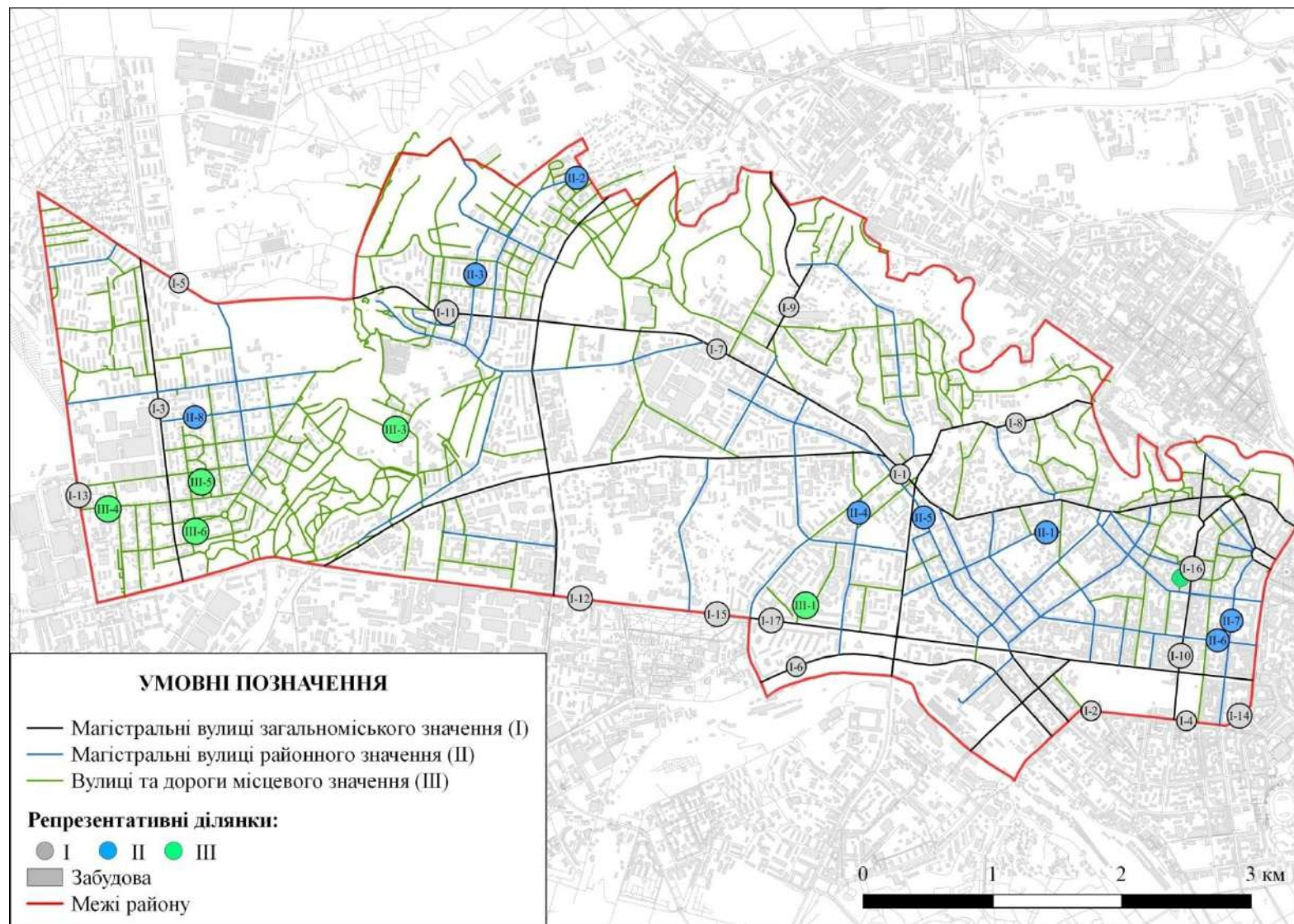


Рисунок 2.18 – Мережа моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ Шевченківського району міста Києва

2.3 Висновки до розділу 2

1. Проведено аналіз існуючого структурного стану ВДМ міста Києва. Встановлено, що за показниками щільності магістральної мережі вулиць і доріг, окремі райони міста (Голосіївський, Дарницький та Деснянський райони) значно поступаються більшості європейських міст, а розвиток ВДМ в цілому не відповідає сучасним темпам автомобілізації населення.

2. Проведено кластерний аналіз структурних ознак L і S множини елементів ВДМ міста Києва, який дозволив сформувати однорідні кластери елементів з подібними структурними ознаками вулиць і доріг. В цілому сформовано 57 кластерів, з них 4 кластерів для категорії вулиць і доріг – магістральні вулиці загальноміського значення, 8 кластерів для категорії – магістральні вулиці районного значення, 45 кластерів для категорії – вулиці і дороги місцевого значення .

3. Серед множини елементів ВДМ, в межах сформованих кластерів, ідентифіковано типові елементи, які суттєво зменшують розмірність досліджуваної множини елементів ВДМ міста, а їх структурні ознаки L і S із задовільною точністю відображають її структурний стан, зокрема 83% мережі магістральних вулиць загальноміського значення, 89% мережі магістральних вулиць районного значення та близько 76 % – вулиць та доріг місцевого значення.

4. Розроблено метод формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ міста, що включає покрокову ітераційну процедуру знаходження репрезентативних елементарних ділянок ВДМ, в межах яких рекомендується проводити облаштування стаціонарних постів спостереження за параметрами дорожнього руху. Цей метод було реалізовано для ВДМ Шевченківського району міста Києва, в результаті чого було знайдено репрезентативні ділянки даної ВДМ, що зменшують розмірність досліджуваної множини елементів ВДМ приблизно у 15 разів.

Результати досліджень даного розділу викладено у наступних публікаціях [45, 48, 82, 151].

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ НА ОСНОВІ ВИБІРКОВОГО МОНІТОРИНГУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

3.1 Метод моделювання динаміки інтенсивності руху автотранспортних потоків

3.1.1 Теоретико-методологічні аспекти моделювання на базі штучних нейронних мереж

Добовий хід інтенсивності руху автотранспортних потоків являє собою нестационарний часовий ряд, закономірності поведінки якого визначаються впливом детермінованих (структурні ознаки вулиць і доріг, засоби організації та регулювання дорожнього руху тощо) і ймовірнісних (склад автотранспортного потоку, метеорологічні умови тощо) чинників. Нестационарність добового ходу проявляється у вигляді стохастичних осциляцій інтенсивності руху. Прогноз подібних часових рядів повинен ґрунтуватися на встановленні прихованих закономірностей (зв'язків) в наборі емпіричних даних, що може бути реалізовано за допомогою математичного апарату штучних нейронних мереж.

Нейронні мережі (НМ) – це адаптивні системи обробки і аналізу даних, основним елементом яких є формальний нейрон, що здійснює операцію нелінійного перетворення суми добутку вхідних сигналів на вагові коефіцієнти [12]:

$$u = F\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i\right) F(XW), \quad (3.1.)$$

де $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор вхідного сигналу; $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ – вектор вагових коефіцієнтів; F – оператор нелінійного перетворення.

Формальний нейрон або, як його ще називають – штучний нейрон, за аналогією з біологічним прототипом, характеризується своїм поточним станом – може бути збуджений або загальмований [12]; він має групу однонаправлених вхідних зв'язків – синапси, що з'єднані з виходами інших нейронів та аксон –

вихідний зв'язок відповідного нейрона, із якого сигнал (збудження або гальмування) надходить на синапси наступних нейронів. Кожен синапс характеризується величиною синаптичного зв'язку або її вагою (w_i), що за фізичним змістом еквівалентна електричній провідності [12].

Обчислювальні можливості штучного нейрона визначаються певними принципами комбінування вхідних сигналів та функцією активації, що дозволяє, за сукупністю вхідних сигналів, відтворювати вихідний сигнал. Згідно з схемою будови штучного нейрона, яку представлено на рисунку 3.1[12], вхідні сигнали $x_1, x_2, \dots, x_n$, що представлені вектором X , надходять до нейрону, в якому кожен сигнал множиться на відповідний ваговий коефіцієнт $w_1, w_2, \dots, w_n$, і подається на вхід суматора (S), де виконується їх обробка. Після цього, зважений сигнал подається на вхід функції активації (F), яка визначає ступінь збудженості нейрона на виході (Y), і направляється на синапси наступних нейронів, де описаний вище процес повториться.

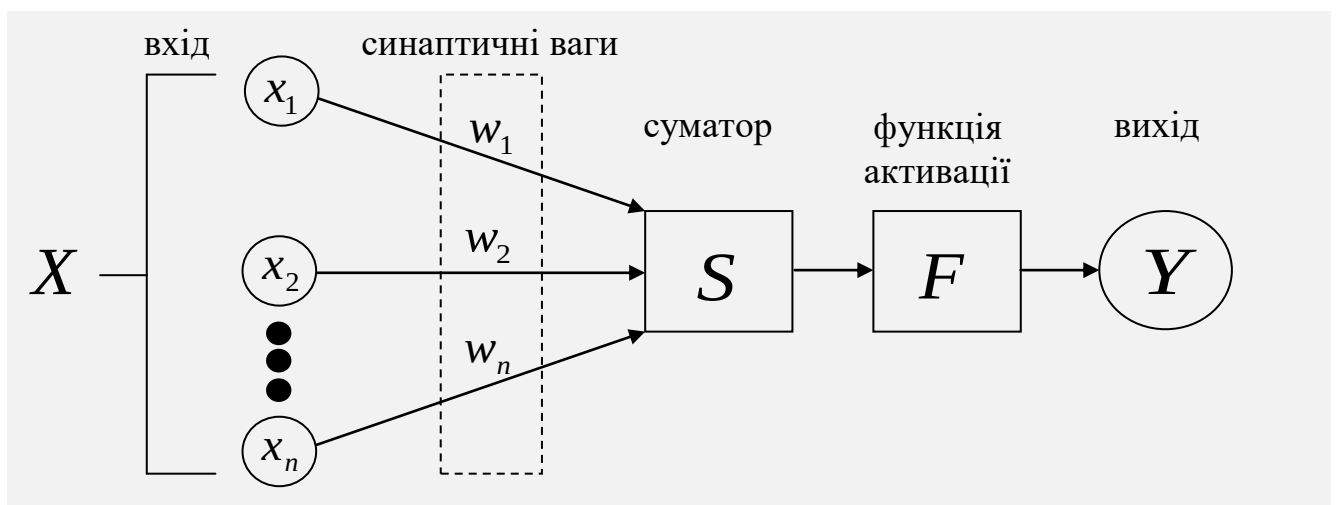


Рисунок 3.1 – Загальна схема будови штучного нейрона [12]

Сучасні штучні нейронні мережі володіють низкою цінних властивостей, зокрема, здатністю до навчання, узагальнення та абстрагування [121].

Процес навчання, в контексті штучних НМ, розглядається як процес налаштування архітектури моделі та синаптичних ваг (коефіцієнтів) між обробними елементами (нейронами) нейронної мережі для ефективного

вирішення поставленого завдання. Налаштування відбувається на основі даних, що надходять із середовища і являють собою навчальну вибірку НМ. Тому для конструювання процесу навчання необхідно мати модель середовища в якій функціонує НМ – знати зрозумілу для мережі інформацію.

Функціонування НМ поліпшується в міру ітеративного процесу коректування синаптичних ваг. За якісного навчання НМ, модель стає чутливою до незначних змін вхідних сигналів (шуму або варіації вхідних образів), що забезпечує надалі, при всіх наступних використаннях моделі, на виході отримувати результати високої точності і достовірності. Така модель адекватно виявлятиме зміст вхідних сигналів і забезпечить коректне моделювання на основі даних, що в процесі навчання не використовувались.

З огляду на це, запропоновано метод моделювання динаміки величини (стохастичних осциляцій) інтенсивності руху автотранспортних потоків на основі моделювання відповідних процесів із застосування математичного апарату НМ та методу вікна [46, 47].

Застосування математичного апарату НМ для прогнозування інтенсивності автотранспортних потоків передбачає наступні етапи [47]:

- формування набору даних щодо інтенсивності автотранспортних потоків;
- нормування даних;
- видалення циклічних закономірностей з емпіричних часових рядів, що дозволить НМ виявити нетривіальні (неперіодичні) закономірності;
- навчання НМ різної архітектури;
- вибір оптимальної моделі НМ;
- прогнозування інтенсивності руху (з різним періодом упередження – часовим горизонтом прогнозу).

Якщо у часовій послідовності емпіричного ряду (між спостереженнями за зміною величини інтенсивності руху) існує прихована залежність, то навчаючи НМ на цих даних можна виявити відповідні закономірності між складовими часового ряду та побудувати прогноз інтенсивності руху.

Для забезпечення прогнозування динаміки (зміни) величини інтенсивності руху автотранспортних потоків у різні періоди добового інтервалу часу використовується метод вікна для навчання НМ [92]. В даних дослідженнях, вікно – це період часу (час за який фіксувалася зміна величини інтенсивності автотранспортних потоків), який використовується для навчання НМ. Згідно з методом, відкривається два вікна W_x і W_y з фіксованими розмірами n та m , що мають доступ до даних емпіричного часового ряду. Відповідно до часової послідовності емпіричних даних, W_x і W_y переміщуються із заданим кроком k . При цьому дані в межах вікна W_x подаються на вхід моделі НМ, а дані в межах W_y – на вихід відповідної моделі. На кожному кроці k формується відповідна пара W_x і W_y , що використовується як елемент навчальної вибірки (спостереження за зміною величини інтенсивності руху на відповідному кроці k) нейронної мережі. Кожна наступна пара вікон отримується в результаті зміщення на один крок W_x і W_y вздовж емпіричного часового ряду.

Застосування НМ для побудови прогнозу представлено наступною схемою (рисунк 3.2).

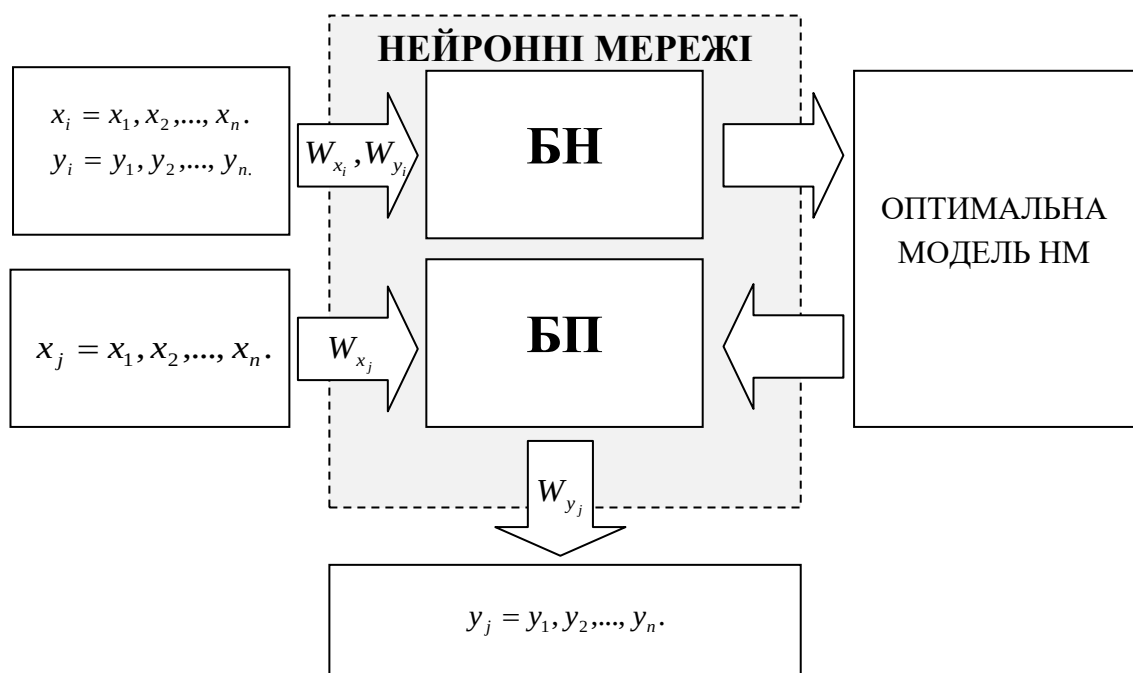


Рисунок 3.2 – Схема застосування штучних нейронних мереж

Відповідно до схеми (див. рисунок 3.2), набір вхідних даних (x_i) та вихідних даних (y_i) надходить у блок навчання (БН) нейронної мережі, в якому розглядаються різні архітектури моделей та алгоритми їх навчання, і встановлюється зв'язок між змінними x_i та y_i . Оптимальну модель НМ, що характеризується найменшими помилками навчання, використовують для вирішення цілого ряду задач, зокрема, для прогнозування. Для цього новий набір вхідних даних змінної x_j направляють у блок прогнозування (БП) нейронної мережі, в якому оптимальна модель НМ буде прогнозувати вихідної змінної y_j , на основі попередньо встановлених залежностей між змінними x_i та y_i .

Отже, для того, щоб побудувати прогноз динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків необхідно розробити ряд моделей НМ з відповідною (характерною) їм парою вікон W_{x_i} і W_{y_i} . Залежно від розміщення вікна W_x в емпіричному часовому ряді, навчена модель (на парі W_{x_i} і W_{y_i}) буде відтворювати відповідний період вікна W_y . Якщо рухатися вздовж емпіричного часового ряду із заданим кроком k , при цьому прогнозні значення $W_{y_j}^t$ отримані на виході відповідної моделі нейронних мереж, подавати на вхід W_{x_j} наступної моделі для прогнозування $W_{y_j}^{t+1}$, то це дозволить в процесі численних ітерацій змодельовати поведінку (динаміку) всього часового ряду.

3.1.2 Особливості побудови та навчання штучних нейронних мереж при прогнозуванні інтенсивності автотранспортних потоків

Як відомо [12], для розробки (побудови) ефективних моделей НМ необхідно мати набір даних, що відображають закономірності розвитку та функціонування досліджуваного об'єкта (явища, процесу).

Для формування навчальних вибірок НМ, на репрезентативній ділянці (вул. Артема – репрезентативна ділянка однорідної групи І-1, результати спостережень на цій ділянці склали основну частину емпіричних даних

навчальної вибірки НМ) та деяких інших елементарних ділянках ВДМ Шевченківського району міста Києва (вул. Щербакова, вул. О.Теліги та ін.) були проведені численні натурні спостереження за зміною (динамікою) величини інтенсивності руху. Спостереження проводились в період доби – з 6:00 до 24:00 год., з дискретністю дві хвилини, в дні тижня для яких зберігається певна закономірність добового ходу інтенсивності руху.

Характер динаміки (зміни) величини інтенсивності добового ходу на ділянці ВДМ, де присутні регульовані та нерегульовані перехрестя, має наступний вигляд (рисунок 3.3).

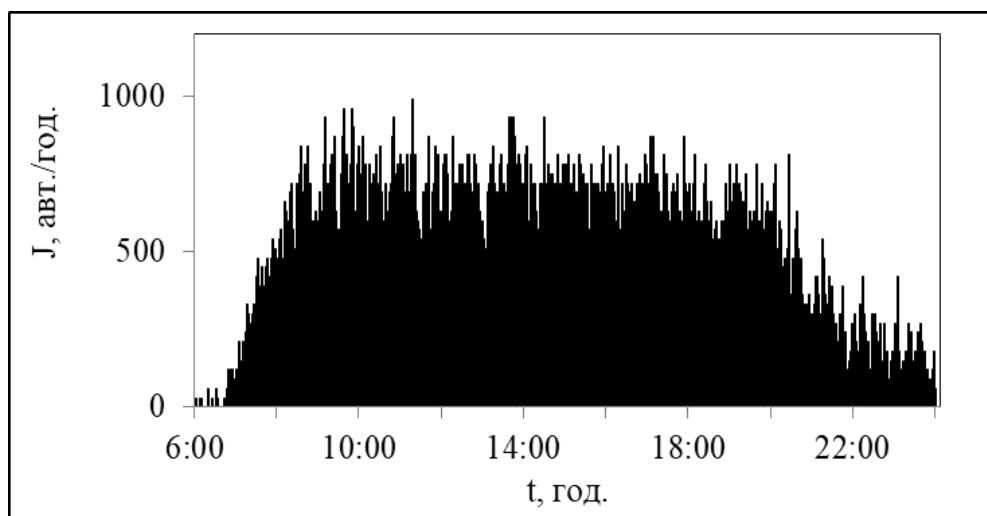


Рисунок 3.3 – Характер динаміки (зміни) величини інтенсивності добового ходу на ділянці ВДМ, де присутні регульовані та нерегульовані перехрестя

Значення динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків, які було отримано за результатами експерименту аналізувалися у вигляді емпіричного часового ряду стохастичних осциляцій інтенсивності руху (T), який розбивався на рівні часові інтервали T_i з кроком k (відповідає тридцять хвилин) вздовж ряду. В межах кожного інтервалу T_i відокремлювались періоди спостереження і прогнозування:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i = \sum_{i=1}^n (T_{c_i} + T_{n_i}) \quad (3.2)$$

де T_{c_i} – період спостереження за динамікою величини інтенсивності руху автотранспортних потоків в межах i -го часового інтервалу в емпіричному

часовому ряді; $T_{п_i}$ – період прогнозування динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків в межах i -го часового інтервалу в емпіричному часовому ряді.

Кількість і тривалість часових інтервалів T_i в емпіричному часовому ряді інтенсивності руху залежать від розміру вікна W_{x_i} і W_{y_i} – розміру навчальної вибірки НМ. При цьому, розміру вікна W_{x_i} відповідає тривалість проміжку T_{c_i} , а розміру вікна W_{y_i} – тривалість проміжку $T_{п_i}$.

Для кожного часового інтервалу T_i проводиться пошук адекватної моделі НМ для прогнозування з максимальним періодом упередження (період $T_{п_i}$) на основі емпіричних даних, – спостереження за динамікою величини інтенсивністю руху (період T_{c_i}), що подаються на вхід НМ.

За результатами численних комбінацій розмірів n та m вікна W_x і W_y (в різних часових інтервалах T_i) встановлено, що оптимальний розмір вікна W_x є проміжок часу одна година, а вікна W_y – тридцять хвилин. Оптимальні розміри вікон встановлено під час навчання НМ, зокрема за показниками регресії побудованих моделей – відношення стандартного відхилення прогнозу до стандартного відхилення емпіричних даних вихідної змінної (критерій *S.D.ratio*) та коефіцієнту кореляції (r), що входять до складу описової статистики роботи штучних НМ.

Один із чинників, який може суттєво впливати на точність прогнозування – це формат даних змінної x_i та змінної y_i , що надходять у блок навчання (БН) нейронної мережі (див. рисунок 3.2). Для усунення зайвої надмірності та неузгодженості даних необхідно проводити попередню обробку масиву даних – нормування даних щодо динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків.

З огляду на це, емпіричні дані (змінні x_i , y_i) для кожної пари W_{x_i} і W_{y_i} емпіричного часового ряду були приведені в єдиний діапазон значень 0...1:

$$x' = \frac{(x_i - x_{\min})(b - a)}{x_{\max} - x_{\min}} + a, \quad (3.3)$$

де x_i – емпіричні дані, що підлягають нормалізації; $x_{\min}, x_{\max}$ – діапазон емпіричних даних змінної x_i ; a, b – діапазон значень, до якого будуть приведені емпіричні дані змінної x_i .

Оскільки ефективність НМ підвищується в міру статистичної незалежності змінних x_i, y_i (при слабкій кореляції між змінними, на основі яких навчаються НМ), то в наборі емпіричних даних були видалені наявні циклічні закономірності динаміки величини інтенсивності руху.

Навчання НМ відбувалося за допомогою інтерактивного процесу коректування синаптичних ваг і порогів НМ на основі алгоритму зворотного поширення помилки (рекурсивного алгоритму) [95] та методу спряжених градієнтів [95].

Множина вихідних даних щодо зміни (динаміки) величини інтенсивності руху розбивалася на навчальну, контрольну та тестову підмножини для безпосереднього навчання НМ, оцінки здатності НМ до узагальнення даних, на яких вона не навчалася та порівняння альтернативних мереж відповідно.

Відповідно до алгоритму зворотного поширення помилки, дані спостережень (із навчального набору емпіричних даних) по черзі поступають на вхід НМ, яка обробляє вхідний сигнал і видає на виході результат, що далі порівнюється з цільовими значеннями вихідних даних. Таким чином під час навчання відбувається коректування синаптичних ваг моделі, направлено на мінімізацію помилки – зменшення розбіжності між реальним і бажаним виходом НМ.

Синаптичні ваги коректуються за формулою [12, 95]:

$$w_{pq}(i+1) = w_{pq}(i) + \eta \delta_q y_p, \quad (3.4)$$

де $w_{pq}(i)$ – зв'язок між p -тим й q -тим елементом (нейроном) на i -ій ітерації

навчання НМ; y_p – вихід p -го нейрона; η – швидкість навчання; δ_q – локальний градієнт помилки q -го нейрона.

При цьому,

$$\delta_q = -\ln(1 + c_q z_q), \quad (3.5)$$

де c_q і z_q – реальний і бажаний вихід q -го нейрона відповідно.

Якщо навчання НМ здійснюється за алгоритмом спряжених градієнтів, то на поверхні помилок проводиться пошук локального мінімуму за різними напрямками, при цьому спершу вибирається напрям найшвидшого спуску (вздовж якого шукається мінімум). Напрямок пошуку вибирається з огляду на те, щоб не втрачати мінімуму по тим напрямкам, за якими мінімізація уже відбулася.

Початковий напрям пошуку задається формулою [12, 95, 104]:

$$g_0 = -b_0, \quad (3.6)$$

де g_0 – початковий напрямок спуску; $-b_0$ – антиградієнт мінімізуючої функції в точці x_0 , тобто $-\nabla f(x_0)$.

На всіх послідовних кроках напрям пошуку коректується за формулою Полака-Рібера [12, 104]:

$$g_{k+1} = -b_{k+1} + \beta_k g_k, \quad (3.7)$$

де g_k – напрям спуску на k -му кроці; β_k – величина кроку; b_k – вектор градієнту мінімізуючої функції на k -му кроці.

При цьому,

$$\beta_k = \frac{b_{k+1}^T (b_{k+1} - b_k)}{b_k^T b_k} \quad (3.8)$$

де b_k^T – транспонований вектор градієнту.

В якості синаптичної функції для побудованих моделей НМ використовувалася лінійна функція, в якості функції активації – лінійна у вхідному шарі, гіперполічна – у прихованому шарі і логарифмічна – у вихідному шарі НМ.

У процесі навчання НМ, для кожної пари W_{x_i} і W_{y_i} (відповідного часового інтервалу T_i) із кроком k (тридцять хвилин) вздовж емпіричного часового ряду перебиралися численні архітектури моделей. Кількість обчислювальних елементів (нейронів) вхідного, вихідного та прихованих шарів НМ (при побудові моделей) змінювалась динамічно. Це дозволило для кожного часового інтервалу T_i , на відповідному кроці k вздовж емпіричного часового ряду, підібрати найкращу архітектуру моделі НМ.

На основі емпіричних даних щодо динаміки величини інтенсивності руху було побудовано 34 моделей НМ, що охоплюють різні періоди в добовому інтервалі часу. Встановлено, що для задач прогнозування динаміки величини інтенсивності руху оптимальними моделями НМ є моделі типу багат шаровий персептрон (MLP). Послідовне застосування даних моделей дозволяє здійснити покрокове прогнозування динаміки інтенсивності автотранспортних потоків протягом періоду доби – 6:00-24:00 год.

Для більшості побудованих моделей НМ показник відношення стандартних відхилень (критерій $S.D.ratio$) є значно меншим одиниці, що засвідчує хорошу якість регресії (див. рисунок 3.4); це також підтверджується високими коефіцієнтами кореляції між прогнозними та цільовими вихідними значеннями моделей НМ ($r > 0,95$).

Крім того, адекватність розроблених моделей (у тому числі можливості щодо їх практичного використання для прогнозування динаміки величини інтенсивності руху на ділянках ВДМ) було перевірено шляхом порівняння модельних оцінок величини інтенсивності руху з даними експерименту, що не входили в навчальну вибірку НМ. Для всіх прогнозних значень коефіцієнт кореляції перебуває в області сильного зв'язку. При цьому, значення відносної похибки величини інтенсивності автотранспортних потоків у випадку вільного та

частково зв'язаного руху, становить менше 7 %, для зв'язаного та щільного руху, не перевищує 20%.

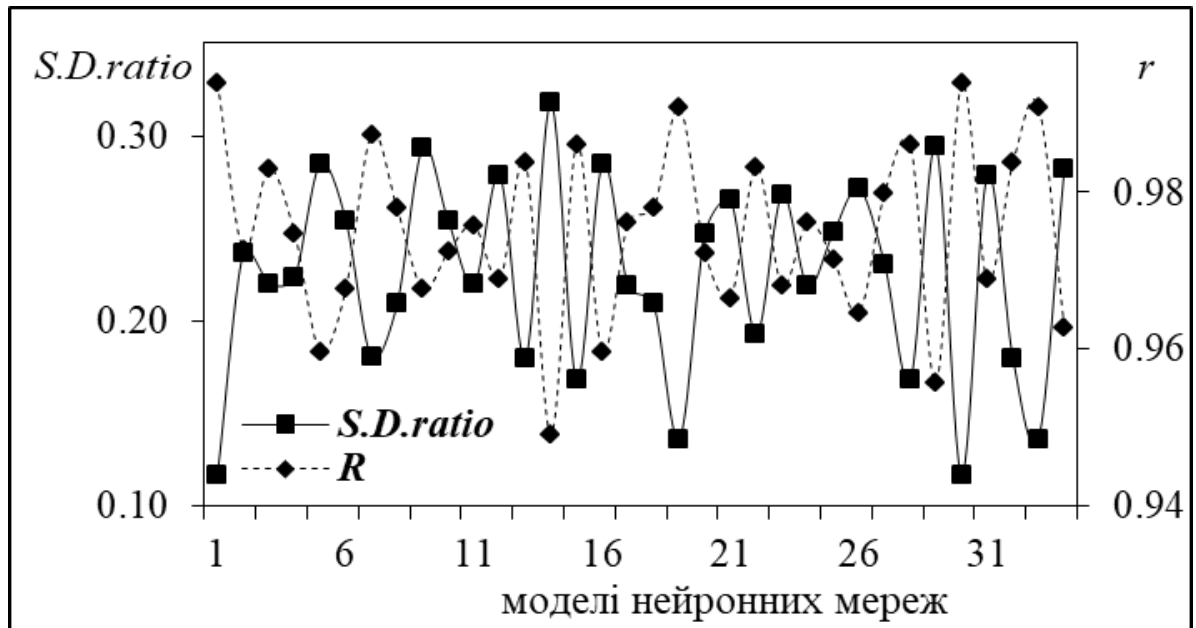


Рисунок 3.4 – Описова статистика побудованих моделей НМ

На рисунку 3.5, як приклад, показано динаміку величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на репрезентативній ділянці ВДМ, отриману шляхом натурних спостережень та шляхом нейромережевого моделювання.

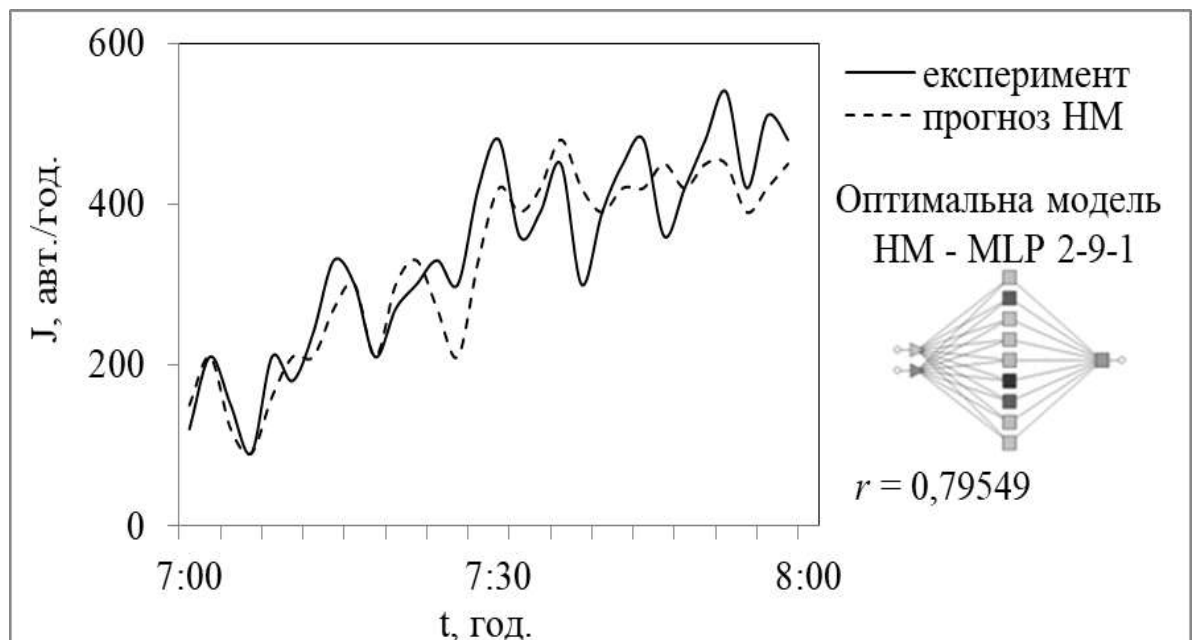


Рисунок 3.5 – Моделювання динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на репрезентативній ділянці ВДМ

3.2 Процедура раціоналізації вибіркового моніторингу та моделювання інтенсивності автотранспортних потоків

3.2.1 Дискретизація моніторингу та моделювання інтенсивності автотранспортних потоків на репрезентативній ділянці вулично-дорожньої мережі

Відповідно до поставленого завдання період моніторингу, а саме тривалість спостереження за інтенсивністю руху варіюється в широких межах – від хвилини до року [70]. Міра точності таких спостережень суттєво залежить як від тривалості окремого спостереження так і від їх дискретності. Тому необхідно виявити вплив дискретності моніторингу на точність оцінювання інтенсивності.

Процедура раціоналізації дискретного моніторингу автотранспортних потоків включає наступні етапи:

1. Встановлення емпіричного часового ряду динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків.

Результати обстежень автотранспортних потоків на елементарній ділянці ВДМ за заданий період представляються у вигляді емпіричного часового ряду динаміки величини інтенсивності руху.

2. Дискретизація емпіричного часового ряду динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків.

Емпіричний часовий ряд розбивається на часові інтервали T_i (3.2) з кроком k вздовж часового ряду.

3. Визначення оптимальної тривалості періодів спостереження (T_{c_i}) і прогнозування ($T_{п_i}$) інтенсивності руху автотранспортних потоків.

Шляхом перебору можливих комбінацій періоду T_{c_i} і періоду $T_{п_i}$ встановлюється їх оптимальна тривалість для кожного часового інтервалу T_i емпіричного часового ряду, що задовольняє умові максимуму $T_{п_i}$, при заданій точності моделювання періоду прогнозування.

4. Оцінка точності моделювання динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків.

Точність моделювання динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків оцінюється для кожного часового інтервалу T_i за формулою [62]:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2}. \quad (3.9)$$

Оптимальна тривалість періоду T_{π_i} для якого забезпечується достовірність прогнозу визначається методом графічного диференціювання [81]. Із графічної залежності ε_i від величини T_{π_i} встановлюється точка перегину $t.P_i$, яка вказує на область значень величини T_{π_i} де прогнозні значення інтенсивності автотранспортних потоків мають задовільну точність.

Процедура раціоналізації вибіркового (дискретного) моніторингу автотранспортних потоків була реалізована для добового періоду спостереження за інтенсивністю руху на репрезентативній ділянці ВДМ Шевченківського району м. Києва (ділянка г. 435 однорідної групи І-1, див. додаток В).

За результатами дискретизації емпіричного часового ряду динаміки величини інтенсивності руху на часові інтервали T_i було проведено пошук оптимального розміру (тривалості) періоду T_{π_i} . У випадку покрокового прогнозування динаміки величини інтенсивності руху, тривалість T_{π_i} відповідає розміру n вікон W_y , тобто залежить від кількості кроків переміщення вікна W_y вздовж емпіричного часового ряду (див. підрозділ 3.1). Тривалість періоду T_{π_i} в усіх часових інтервалах T_i є фіксованою (одна година), оскільки відповідає оптимальному розміру вікна W_x .

Для кожного часового інтервалу T_i проведено оцінку точності моделювання динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків (3.9) та

визначено максимальний горизонт прогнозування для якого забезпечується достовірність прогнозу (як приклад, див. рисунок 3.6). На основі методу графічного диференціювання залежності $\varepsilon_1 (T_{п_1})$ (рисунок 3.6 а) встановлено точку перегину $\tau.P_1$ (рисунок 3.6 б), яка дозволила визначити оптимальну тривалість проміжку прогнозування (для даного прикладу – це одна година) для періоду доби – 06:00-08:00 год.

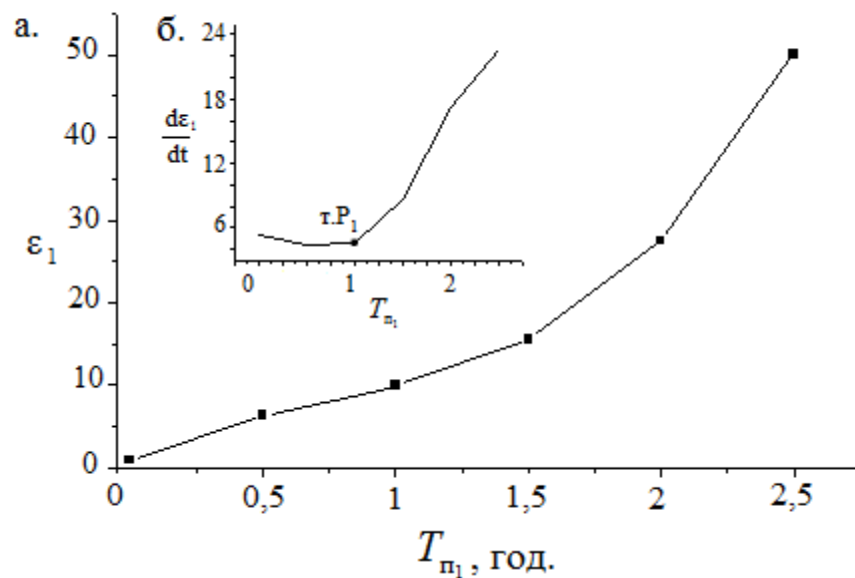


Рисунок 3.6 – Визначення горизонту прогнозування ($T_{п_1}$) для якого забезпечується достовірність прогнозу для періоду доби – 6:00-8:00 год.: а – залежність ε_1 від тривалості $T_{п_1}$; б – залежність $\frac{d\varepsilon_1}{dt}$ від тривалості $T_{п_1}$.

Аналогічні дії були проведені для кожного інтервалу T_i в добовому інтервалі часу (отримані результати наводяться в таблиця 3.1). Встановлено, що у більшості випадках прогнозування, оптимальна тривалість періоду $T_{п_i}$ для якого забезпечується достовірність прогнозу, складає тридцять хвилин.

Для більшості періодів $T_{п_i}$ коефіцієнт кореляції $> 0,70$, що вказує на сильний зв'язок [7] між емпіричними та прогнозними значеннями динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків.

Таблиця 3.1 – Оцінка точності прогнозу динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на репрезентативній ділянці ВДМ для різних періодів доби

T_i	T_{c_i}	$T_{п_i}$	ε_i	r_i
1	6:00-7:00	7:00-8:00	9,94	0,79
2	6:30-7:30	7:30-8:00	9,37	0,74
3	7:00-8:00	8:00-8:30	8,23	0,75
4	7:30-8:30	8:30-9:00	9,48	0,76
5	8:00-9:00	9:00-9:30	9,7	0,75
6	8:30-9:30	9:30-10:00	9,37	0,74
7	9:00-10:00	10:00-11:00	10,7	0,77
8	9:30-10:30	10:30-11:30	11,3	0,74
9	10:00-11:00	11:00-12:00	10,84	0,76
10	10:30-11:30	11:30-12:00	10,69	0,73
11	11:00-12:00	12:00-12:30	9,86	0,75
12	11:30-12:30	12:30-13:00	9,91	0,75
13	12:00-13:00	13:00-14:00	11,4	0,76
14	12:30-13:30	13:30-14:00	10,8	0,73
15	13:00-14:00	14:00-15:00	12,6	0,73
16	13:30-14:30	14:30-15:30	14,1	0,71
17	14:00-15:00	15:00-15:30	10,9	0,75
18	14:30-15:30	15:30-16:00	10,2	0,72
19	15:00-16:00	16:00-17:00	9,53	0,76
20	15:30-16:30	16:30-17:30	12,4	0,73
21	16:00-17:00	17:00-17:30	9,1	0,77
22	16:30-17:30	17:30-18:00	8,21	0,75
23	17:00-18:00	18:00-18:30	10,94	0,73
24	17:30-18:30	18:30-19:00	9,64	0,74
25	18:00-19:00	19:00-19:30	10,37	0,73
26	18:30-19:30	19:30-20:00	11,92	0,71
27	19:00-20:00	20:00-21:00	12,67	0,72

Продовження таблиці 3.1

28	19:30-20:30	20:30-21:30	10,3	0,74
29	20:00-21:00	21:00-22:00	9,9	0,78
30	20:30-21:30	21:30-22:30	10,1	0,76
31	21:00-22:00	22:00-22:30	8,84	0,74
32	21:30-22:30	22:30-23:30	12,3	0,74
33	22:00-23:00	23:00-24:00	13,9	0,72
34	22:30-23:30	23:30-24:00	10,3	0,74

На рисунку 3.7, як приклад, показано фрагмент моделювання динаміки величини інтенсивності руху на репрезентативній ділянці ВДМ для періоду доби, що містить проміжки часу, коли величина інтенсивності автотранспортних потоків є характерною для частково зв'язаного та зв'язаного руху.

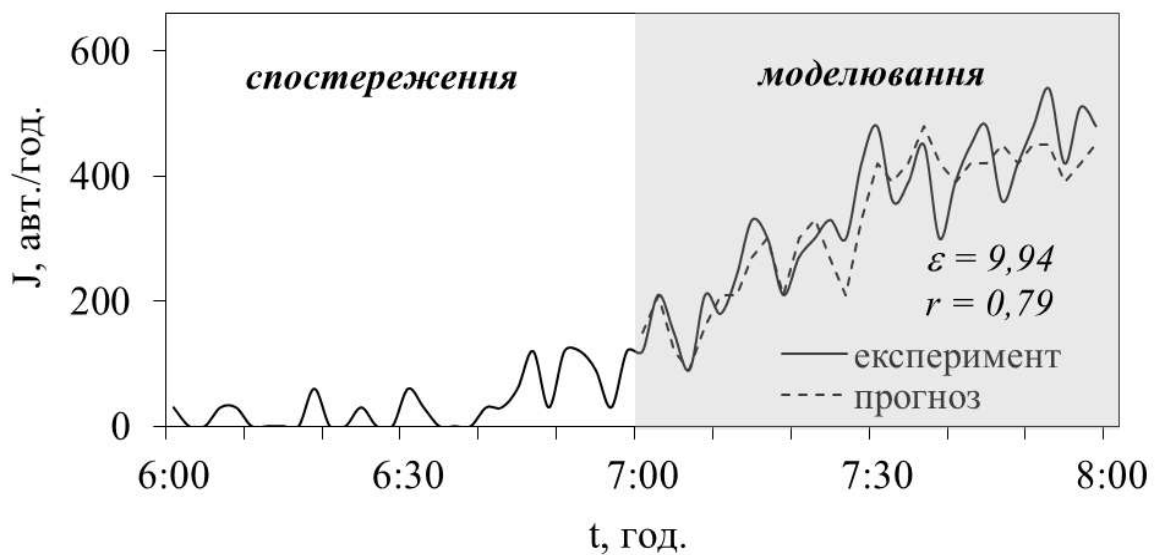


Рисунок 3.7 – Фрагмент моделювання динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на репрезентативній ділянці ВДМ

Розходження експериментальних та прогнозованих значень величини інтенсивності руху, що зростають в кінці періоду прогнозування (рисунок 3.7) пояснюється стохастичною особливістю автотранспортних потоків. Отримані результати прогнозування динаміки величини інтенсивності руху в цілому

характеризуються високою кореляцією з емпіричними даними (0,70-0,80), що можна вважати задовільним результатом для вибіркового (дискретного) моніторингу автотранспортних потоків.

3.2.2 Оцінка ефективності прогнозування інтенсивності руху при різних умовах функціонування автотранспортних потоків

Мережа моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ міста являє собою сукупність репрезентативних елементарних ділянок, на яких необхідно забезпечити неперервний моніторинг автотранспортних потоків. Кожна репрезентативна ділянка відображає окремі однорідні підмножини (групи) елементарних ділянок ВДМ за певними структурними ознаками, які прямо або опосередковано визначають динаміку та характер дорожнього руху на відповідних ділянках мережі. Як приклад, на рисунку 3.8 наводиться ВДМ Шевченківського району міста Києва, в якій окремими графічними позначеннями показано елементарні ділянки, що входять до складу однієї однорідної групи (отримано за результатами досліджень, див. підрозділ 2.3).

З огляду на це, було розглянуто питання щодо наявності типових, характерних зв'язків і закономірностей в динаміці величини інтенсивності руху на елементарних ділянках ВДМ, що входять до складу однієї однорідної групи, для встановлення можливості та обґрунтування правомірності застосування моделей НМ, які навчаються на даних спостережень на репрезентативній ділянці для моделювання відповідних процесів на будь-якій ділянці ВДМ, що входять до складу однієї однорідної групи.

Суть дослідження полягала у порівнянні стохастичних осциляцій величини інтенсивності руху (в межах часових інтервалів T_i) на репрезентативній ділянці з стохастичними осциляціями величини інтенсивності руху (в межах аналогічних часових інтервалів T_i) на іншій окремій елементарній ділянці, що входять до складу однієї однорідної групи.

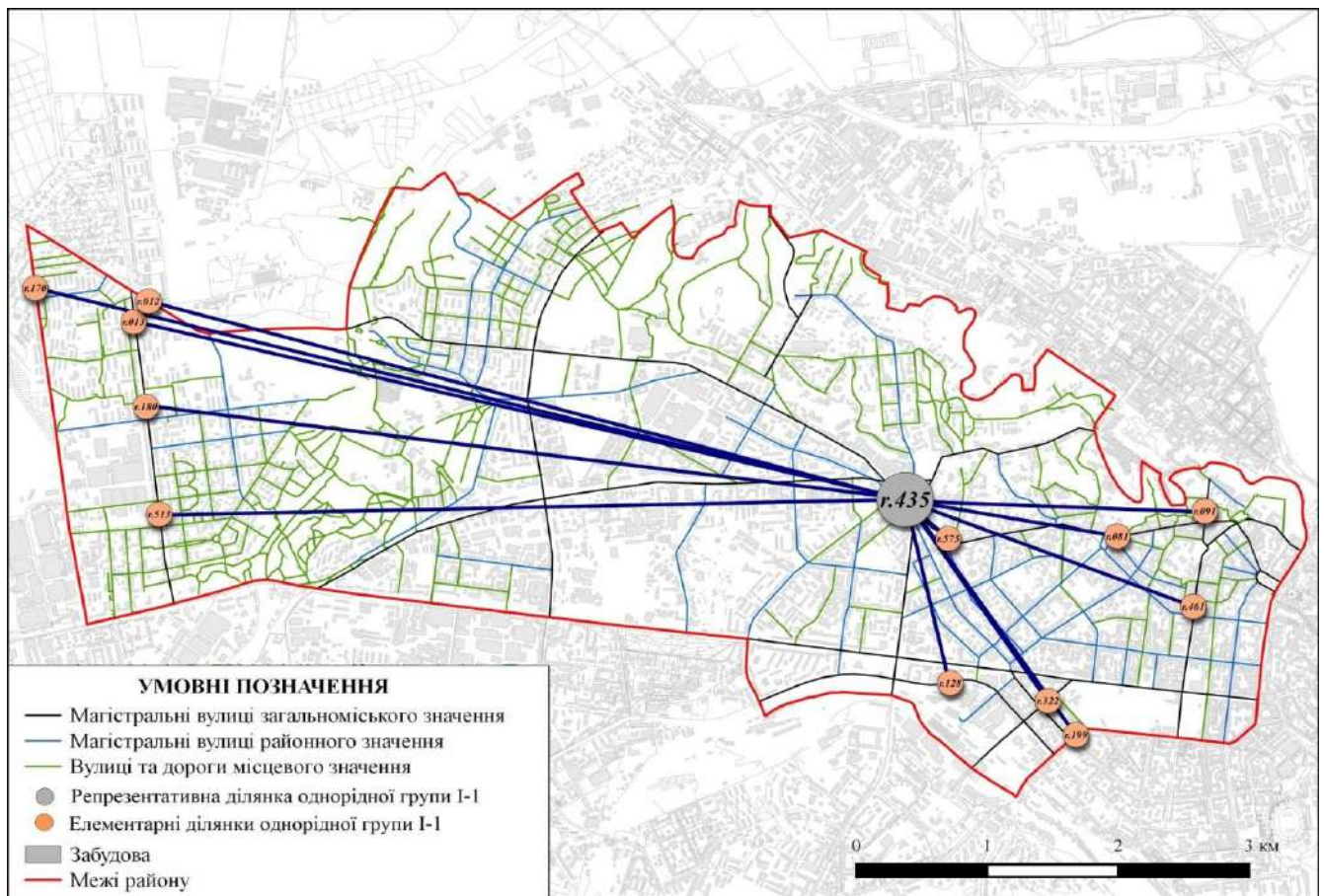


Рисунок 3.8 – Елементарні ділянки ВДМ однорідної групи (на прикладі ВДМ Шевченківського району м. Києва, однорідна група I-1)

Для проведення такого дослідження було обрано елементарну ділянку r.081, що входить до однорідної групи I-1 (див. додаток Г), в складі якої знаходиться репрезентативна елементарна ділянка r.435 – ділянка на якій було проведено численні натурні спостереження за інтенсивністю руху для формування навчальних вибірок побудованих моделей НМ (див. підрозділ 3.1). Вибір ділянки r.081 обумовлений передусім наявністю дорожньої web-камери на ділянці (дорожній портал «Відеопробки», <http://videoprobki.ua/uk>) для зручності та полегшення проведення моніторингу автотранспортних потоків (здійснення спостережень за динамікою величини інтенсивності руху) та подібністю параметрів циклу світлофорного регулювання з відповідними параметрами на репрезентативній ділянці ВДМ.

Спостереження за динамікою величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на ділянці r.081 проводились аналогічно до форми

дослідження на репрезентативній ділянці, зокрема щодо тривалості окремого спостереження і їх кількості на весь період моніторингу. За результатами експерименту для ділянки r.081 було побудовано відповідний емпіричний часовий ряд динаміки величини інтенсивності руху (рисунок 3.9), проведено його дискретизацію на рівні часові інтервали T_i з наступним відокремленням, в межах кожного інтервалу, періоду спостереження та прогнозування.

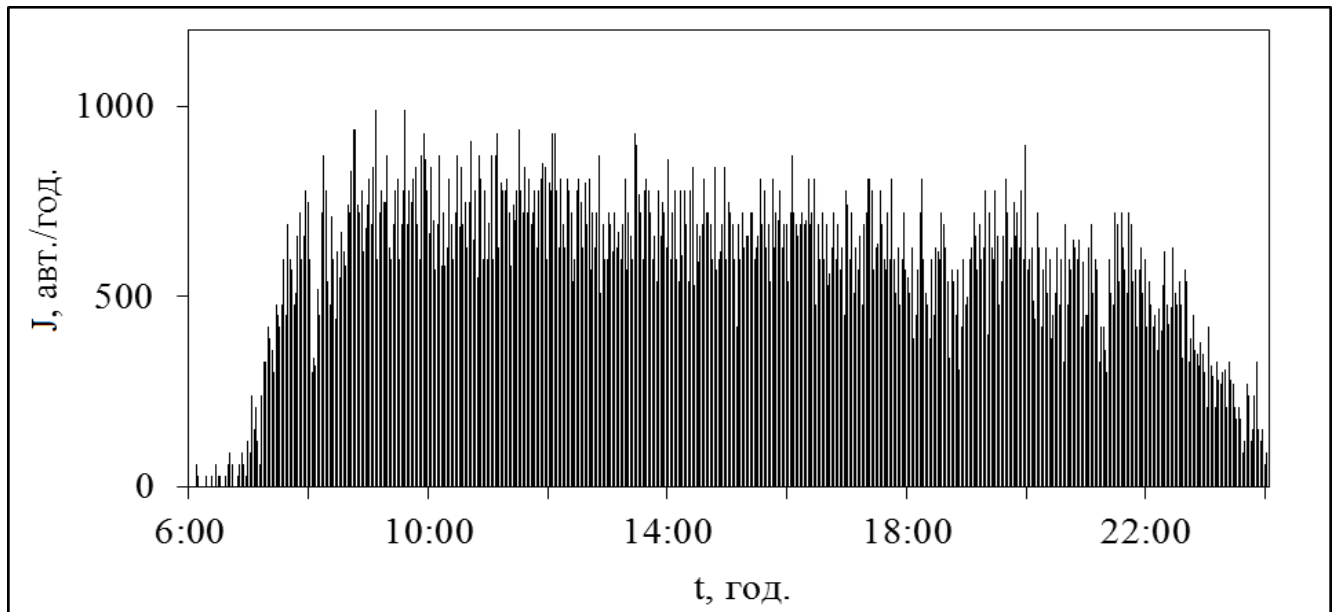


Рисунок 3.9 – Характер зміни (динаміки) величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на елементарній ділянці r.081

За допомогою кореляційного аналізу проведено міжусобне порівняння динаміки величини інтенсивності руху на репрезентативній ділянці ВДМ (навчальна вибірка НМ), в межах часових інтервалів (T_i), з динамікою величини інтенсивності руху на іншій елементарній ділянці мережі (в межах аналогічних часових інтервалів), що входять до складу однієї однорідної групи; побудовано кореляційні матриці з оцінкою тісноти зв'язку стохастичних осциляцій величини інтенсивності руху в межах окремих часових інтервалів (у тому числі періодів спостереження та періодів прогнозування) досліджуваних ділянок. Приклади побудованих кореляційних матриць наводяться в додатку Д.

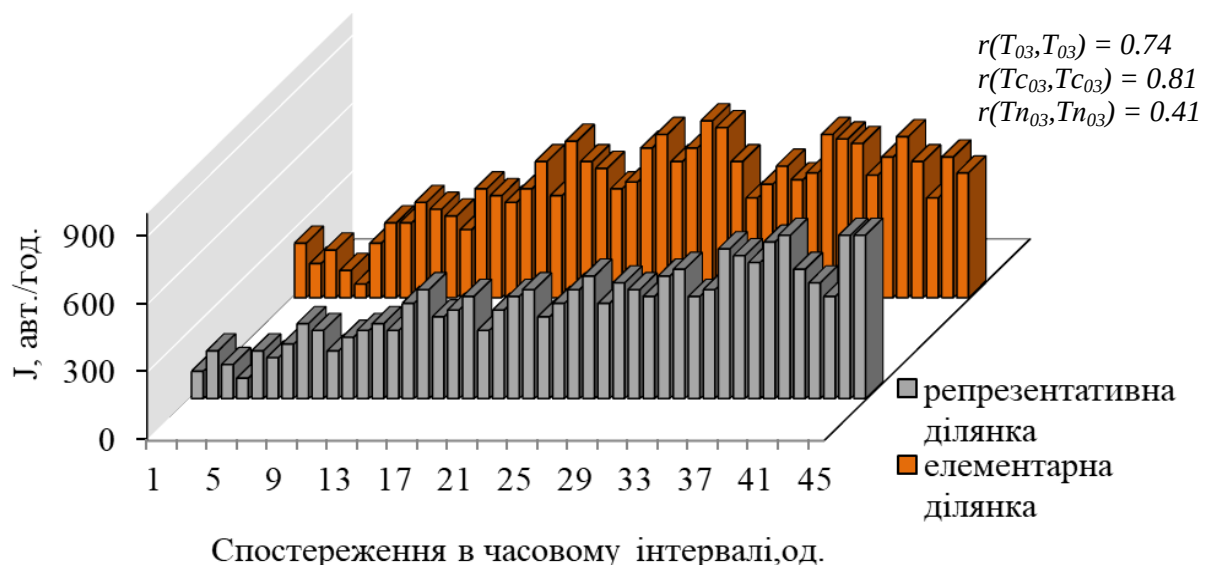
На підставі аналізу побудованих кореляційних матриць встановлено, що зв'язок між значеннями стохастичних осциляцій інтенсивності руху в межах окремих часових інтервалів елементарної ділянки r.081 та репрезентативної

ділянки г.435 існує і, в деяких випадках, має високий ступінь кореляції ($r \geq 0,70$). Це дало підстави до застосування наявних моделей НМ для прогнозування динаміки величини інтенсивності руху на елементарній ділянці г.081 та емпіричного підтвердження сформульованих положень щодо можливості застосування моделей НМ, які навчаються на даних спостережень на репрезентативній ділянці, для моделювання відповідних процесів на ділянках ВДМ, що входять до складу однієї однорідної групи.

Як приклад, на рисунку 3.10 наводяться стохастичні осциляції інтенсивності руху автотранспортних потоків, в межах інтервалів T_i , елементарної ділянки г.081 та репрезентативної ділянки г.435, зокрема динаміка величини інтенсивності руху:

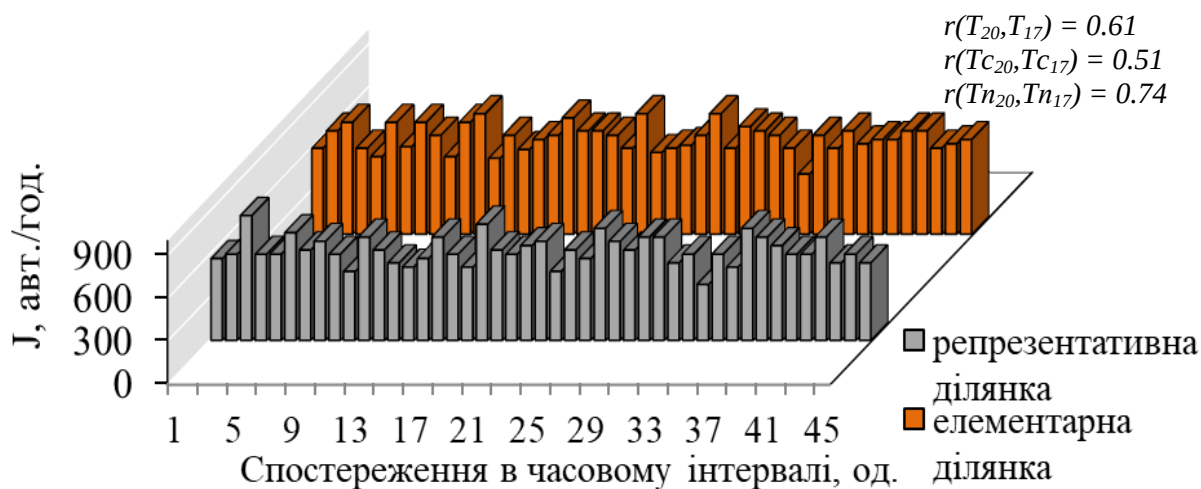
- в межах часового інтервалу T_{03} елементарної ділянки г.081 та інтервалу T_{03} репрезентативної ділянки г.435;
- в межах часового інтервалу T_{17} елементарної ділянки г.081 та інтервалу T_{20} репрезентативної ділянки г.435;
- в межах часового інтервалу T_{23} елементарної ділянки г.081 та інтервалу T_{19} репрезентативної ділянки г.435.

Для всіх наведених часових інтервалів T_i приводяться значення коефіцієнту кореляції, що були встановлені між стохастичними осциляціями інтенсивності руху, в межах періоду спостереження, періоду прогнозування та часового інтервалу в цілому, елементарної ділянки г.081 та репрезентативної ділянки г.435.

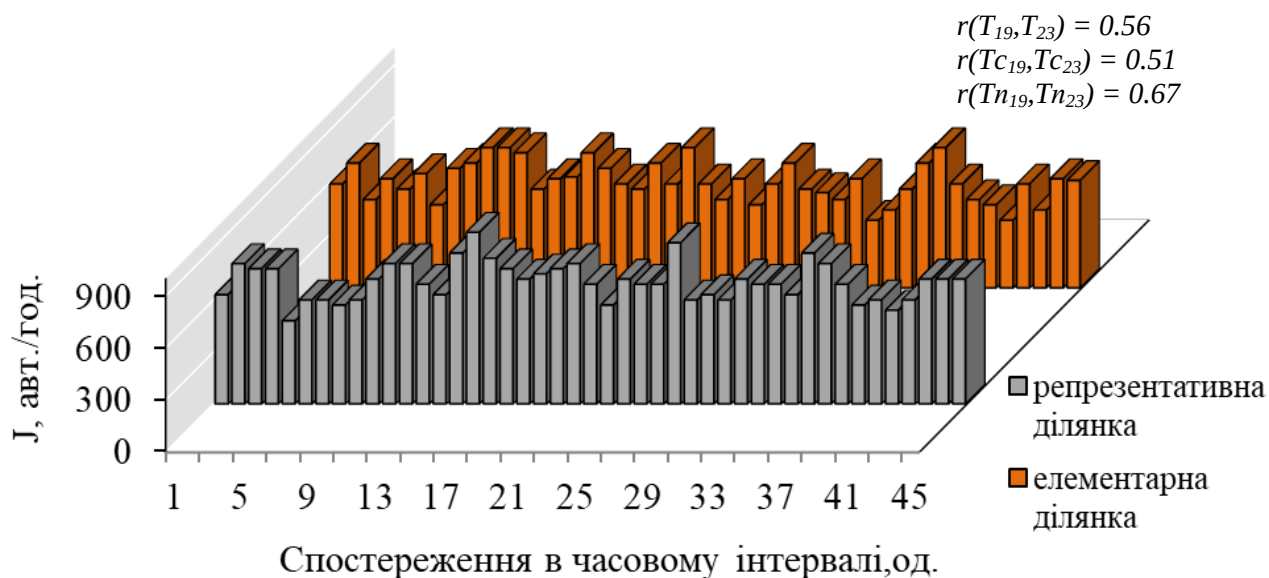


а)

продовження рис.3.10



б)



в)

Рисунок 3.10 – Стохастичні осциляції інтенсивності руху автотранспортних потоків в межах часового інтервалу T_i :

а – в межах часового інтервалу T_{03} репрезентативної ділянки г.435 та інтервалу T_{03} елементарної ділянки г.081; б – в межах часового інтервалу T_{20} репрезентативної ділянки г.435 та інтервалу T_{17} елементарної ділянки г.081; в – в межах часового інтервалу T_{19} репрезентативної ділянки г.435 та інтервалу T_{23} елементарної ділянки г.081

Емпіричне підтвердження сформульованих положень щодо можливості застосування моделей НМ, які навчаються на даних спостережень на репрезентативній ділянці, для моделювання відповідних процесів на ділянках ВДМ, що входять до складу однієї однорідної групи здійснювалася наступним чином.

На основі побудованих кореляційних матриць визначався найвищий ступінь тісноти зв'язку між стохастичними осциляціями величини інтенсивності руху в межах періоду спостереження часового інтервалу T_i елементарної ділянки г.081 та репрезентативної ділянки г.435. Після цього, проводилась ідентифікація часового інтервалу репрезентативної ділянки та навчальної вибірки моделі НМ, до складу якої входить ідентифікований інтервал T_i , а отже проводилась ідентифікація і самої моделі, яку доцільно використовувати для прогнозування динаміки величини інтенсивності руху на елементарній ділянці г.081.

У таблиці 3.2 наводяться результати раціоналізації, на основі методу графічного диференціювання [81], вибіркового (дискретного) моніторингу і прогнозування динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на елементарній ділянці г.081. Встановлено оптимальну тривалість періодів прогнозування, яка у більшості випадків складає до тридцять хвилин і відповідає одному кроку прогнозування. Для кожного часового інтервалу T_i проведено оцінювання точності моделювання динаміки величини інтенсивності руху та встановлено коефіцієнт кореляції між експериментальними і прогнозними значеннями, який у більшості випадків становить $\geq 0,70$.

Таблиця 3.2 – Оцінка точності прогнозу динаміки величини інтенсивності руху на елементарній ділянці г.081 для різних періодів доби

T_i	T_{c_i}	$T_{п_i}$	ε_i	r_i
1	6:00-7:00	7:00-7:30	8,32	0,73
2	6:30-7:30	7:30-8:00	10,11	0,69
3	7:00-8:00	8:00-8:30	9,67	0,75
4	7:30-8:30	8:30-9:00	9,17	0,72
5	8:00-9:00	9:00-9:30	10,61	0,71

Продовження таблиці 3.2

6	8:30-9:30	9:30-10:30	14,55	0,70
7	9:00-10:00	10:00-11:00	13,94	0,72
8	9:30-10:30	10:30-11:00	9,94	0,76
9	10:00-11:00	11:00-11:30	10,33	0,76
10	10:30-11:30	11:30-12:30	15,04	0,68
11	11:00-12:00	12:00-12:30	11,68	0,73
12	11:30-12:30	12:30-13:00	8,39	0,74
13	12:00-13:00	13:00-13:30	9,91	0,77
14	12:30-13:30	13:30-14:30	13,88	0,71
15	13:00-14:00	14:00-14:30	9,33	0,72
16	13:30-14:30	14:30-15:30	14,69	0,72
17	14:00-15:00	15:00-15:30	12,3	0,67
18	14:30-15:30	15:30-16:30	15,11	0,70
19	15:00-16:00	16:00-17:00	15,27	0,71
20	15:30-16:30	16:30-17:30	15,01	0,68
21	16:00-17:00	17:00-17:30	9,42	0,76
22	16:30-17:30	17:30-18:00	10,13	0,72
23	17:00-18:00	18:00-18:30	12,1	0,69
24	17:30-18:30	18:30-19:00	8,13	0,72
25	18:00-19:00	19:00-19:30	9,77	0,74
26	18:30-19:30	19:30-20:00	9,91	0,74
27	19:00-20:00	20:00-20:30	9,62	0,70
28	19:30-20:30	20:30-21:00	11,9	0,72
29	20:00-21:00	21:00-22:00	16,07	0,68
30	20:30-21:30	21:30-22:00	10,23	0,77
31	21:00-22:00	22:00-23:00	12,51	0,72
32	21:30-22:30	22:30-23:00	9,74	0,67
33	22:00-23:00	23:00-23:30	8,61	0,75
34	22:30-23:30	23:30-24:00	12,25	0,71

Результати проведеного дослідження, в цілому вказують на наявність типових зв'язків і закономірностей в динаміці величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на елементарних ділянках ВДМ, які входять до складу однієї однорідної групи. Це дає підстави для висновку про можливість

застосування моделей НМ, які навчаються на отриманих даних в результаті натурних спостережень на репрезентативній ділянці, для моделювання відповідних процесів на будь-якій ділянці мережі в межах однієї однорідної групи.

3.3 Область наукових і практичних інтересів до прогнозування динаміки інтенсивності автотранспортних потоків

Розглянутий метод моделювання зміни (динаміки) величини інтенсивності руху, що реалізується з використанням математичного апарату штучних НМ, є складовою моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах (див. підрозділ 4.4). Цей метод, як доповнення до імітаційної електротехнічної аналогової моделі аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ (див. підрозділ 4.1) дозволить забезпечити оптимізацію функціонування автотранспортних потоків на ВДМ з урахуванням прогнозних оцінок щодо наповнення відповідної мережі автотранспортними потоками.

Крім того, цей метод може представляти як практичний, так і науковий інтерес, зокрема, у зв'язку з вивченням транспортного потоку як фізичного явища зі складними і нетривіальними властивостями. Цей метод може знайти застосування у подальшому розвитку теорії транспортних потоків, зокрема в частині, що стосується розроблення і застосування динамічних імітаційних моделей, оскільки особливо актуальним натеper є розробка автоматизованих систем оперативного управління рухом, які працюють в режимі реального часу та використовують інформацію з датчиків руху в поєднанні з динамічним імітаційним моделюванням.

Метод моделювання динаміки величини інтенсивності руху може бути складовою системи адаптивного управління на ВДМ. Як відомо, для успішного використання адаптивного регулювання необхідно відстежувати характеристики автотранспортних потоків і змінювати тривалість фази регулювання за різними алгоритмами. Застосування НМ для прогнозування майбутніх значень

інтенсивності автотранспортних потоків і розрахунку тривалості фаз світлофорної сигналізації в наступний момент часу дозволить використовувати більш складні та ефективні алгоритми управління. З огляду на це, прогнозування на основі НМ дозволить в режимі реального часу своєчасно реагувати на зміни величини інтенсивності руху, спрогнозувати роботу перехрестя в наступний момент часу, тобто з урахуванням прогнозу провести коректування світлофорної сигналізації відповідно до інтенсивності руху, яка прогнозовано буде у відповідний момент часу.

Як свідчать результати проведених досліджень (див. таблицю 3.1 і 3.2) застосування моделей НМ характеризується високим ступенем кореляції прогнозу з реальними даними. Це приводить до висновку, що отримані за моделлю значення величини інтенсивності руху дозволять сформувати режим роботи світлофорної сигналізації (тривалість циклу і фаз регулювання) на певний проміжок часу вперед. При цьому, зі зменшенням помилки прогнозу, робота світлофорної сигналізації буде максимально адаптуватися під існуючі дорожні умови і ситуацію.

3.4 Висновки до розділу 3

1. Розвито метод моделювання динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на основі моделювання відповідних процесів із застосування апарату НМ, який дозволяє побудувати прогноз зміни інтенсивності, як в окремі моменти часу, так і протягом певного періоду доби. Точність прогнозування залежить від тривалості періоду на який будується прогноз та розмірів масиву вхідних даних (спостереження за інтенсивністю руху), що використовується для навчання НМ.

2. Побудовано 34 моделі НМ, що охоплюють різні періоди в добовому інтервалі часу. Для більшості побудованих моделей показник відношення стандартних відхилень (критерій *S.D.ratio*) є значно меншим одиниці, що засвідчує хорошу якість регресії; це також підтверджується високими

коефіцієнтами кореляції між прогнозними та цільовими вихідними значеннями моделей НМ ($r > 0,95$).

3. Встановлено оптимальну тривалість періоду спостереження за зміною (динамікою) величини інтенсивності руху, яка становить одну годину, і періоду прогнозування для якого забезпечується достовірність прогнозу, що у більшості випадків складає до 30 хвилин, незалежно від величини інтенсивності руху автотранспортного потоку. Відносна похибка прогнозування не перевищувала 20%.

4. Отримано результати, які в цілому вказують на наявність типових зв'язків і закономірностей у динаміці величини інтенсивності руху на елементарних ділянках ВДМ, які входять до складу однієї однорідної групи. Це дає підстави для висновку про можливість застосування моделей НМ, які навчаються на отриманих даних у результаті натурних спостережень на репрезентативній ділянці, для моделювання відповідних процесів на будь-якій ділянці мережі у межах однієї однорідної групи.

Результати досліджень даного розділу викладено у публікації [47].

РОЗДІЛ 4

ЕЛЕКТРИЧНЕ АНАЛОГОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ТА АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

4.1 Імітаційна електротехнічна аналогова модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі

4.1.1 Аналогія між електричними та дорожньо-транспортними характеристиками

На основі виявлених аналогій в закономірностях функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі (ВДМ) та перебігу процесів у електричних колах запропоновано імітаційну електротехнічну аналогову модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста [39, 107, 133]. Аналогію між електричними характеристиками та характеристиками ВДМ і автотранспортних потоків показано в таблиці 4.1.

У запропонованій моделі:

- точковий електричний заряд приймається за одиничний елемент (транспортний засіб) автотранспортного потоку;
- сила струму, що проходить через електричний опір відображає інтенсивність автотранспортного потоку на відповідній ділянці ВДМ;
- густина струму, відображає інтенсивність автотранспортного потоку через одиницю перерізу елементарної ділянки ВДМ;
- елементарні ділянки ВДМ представлені електричними опорами, провідність яких визначає пропускну здатність відповідної ділянки;
- напруженість поля в опорі, через який проходить струм, відображає щільність автотранспортного потоку на елементарній ділянці ВДМ;
- падіння напруги на опорі відображає інтегральний потік на відповідній елементарній ділянці;
- Е.Р.С. джерела – максимальний автотранспортний потік на відповідній елементарній ділянці.

- ємність лінійного провідника, відображає відношення автотранспортних потоків відповідно за одиницю часу та на одиниці довжини ВДМ міста.

Таблиця 4.1 – Аналогія між електричними характеристиками та характеристиками ВДМ і автотранспортних потоків [39,107,133]

Електричні характеристики	Характеристики ВДМ і автотранспортних потоків
q – точковий заряд.	Одиниця автотранспортного потоку.
$Q = \sum_i q_i$ – заряд провідника.	N – кількість одиниць автотранспортного потоку.
$I = \frac{dQ}{dt}$ – сила струму.	$J_t = \frac{dN_t}{dt}$ – інтенсивність автотранспортного потоку через весь переріз ділянки ВДМ, де dN_t – кількість одиниць автотранспортного потоку за час dt ; $[J] = \text{год}^{-1}$.
$j = \frac{I}{S} = \frac{1}{S} \cdot \frac{dQ}{dt}$ – густина струму.	$J_s = \frac{1}{S} \cdot \frac{dN_t}{dt}$ – інтенсивність автотранспортного потоку через одиницю перерізу ділянки ВДМ, де S – переріз ділянки ВДМ; $[S] = \text{км}$.
$R = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{l}{S}$ – опір лінійного провідника, де γ – питома електропровідність.	$R = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{l}{S}$ – опір, який визначається часом проходження автотранспортного потоку по відповідній ділянці ВДМ, де l – довжина ділянки ВДМ, γ – пропускна здатність одиниці перерізу мережі; $[R] = \text{год}$.
E – напруженість електричного поля в провіднику.	ρ – щільність автотранспортного потоку; $[\rho] = \text{км}^{-1}$.

Продовження таблиці 4.1

U – падіння напруги на провіднику: $U = E \cdot l$, де l – довжина лінійного провідника.	N_l – кількість одиниць автотранспортного потоку на ділянці l ВДМ; $[l] = \text{км}$. $N_l = \rho \cdot l$; $[N_l] = 1$.
Ξ – Е.Р.С. джерела.	$N_l^{\max.}$ – максимальний автотранспортний потік на відповідній ділянці ВДМ; $[N_l^{\max.}] = 1$.
$C = \frac{Q}{U} = \frac{\int_l I(t) dt}{\int_l E(l) dl}$ – ємність лінійного провідника.	$C = \frac{Q}{U} = \frac{\int_l J(t) dt}{\int_l \rho(l) dl} = \frac{N_t}{N_l}$ – відношення автотранспортних потоків за одиницю часу та на одиниці довжини ВДМ; $[C] = 1$.

Перебіг квазістаціонарних електричних процесів, що відбуваються в колах постійного струму, аналогічний поведінці транспортного потоку на ділянці ВДМ й передбачають наступні наближення. Якщо на будь-якій ділянці кола відбувається зміна сили струму або напруги, то на інших ділянках кола ці зміни відбудуться через деякий час. Оскільки час поширення збурень за порядком величини значно менший тривалості цих процесів, то можна вважати, що в кожний момент часу сила струму однакова на всіх послідовно з'єднаних ділянках кола. Квазістаціонарні процеси досліджуються за допомогою законів постійного струму, якщо застосовувати ці закони до миттєвих значень сили струмів і напруг на ділянках кола.

З огляду на це, закон Ома в диференціальній формі має наступний вигляд:

$$j = \gamma \cdot E, \quad (4.1)$$

де $\gamma = \frac{1}{\rho}$ – питома електропровідність;

ρ – питомий опір.

Тоді, з урахуванням аналогій (таблиця 4.1), маємо:

$$\frac{1}{S} \cdot \frac{dN_t}{dt} = \gamma \cdot \rho. \quad (4.2)$$

Звідси,

$$\frac{dN_t}{dt} = S \cdot \gamma \cdot \rho. \quad (4.3)$$

Оскільки:

$$\begin{cases} R = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{S} \\ R = \frac{l}{v} \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{\gamma} \frac{l}{S} = \frac{l}{v} \Rightarrow v = \gamma \cdot S, \quad (4.4)$$

з (4.3 і 4.4) маємо:

$$\frac{dN_t}{dt} = v \cdot \rho, \quad (4.5)$$

або

$$J_t = v \cdot \rho. \quad (4.6)$$

де v – швидкість руху.

Таким чином, основне транспортне рівняння (4.6) є ізоморфним відображенням закону Ома (4.1).

Оскільки рух автотранспортних потоків на ділянках ВДМ, як правило, нестационарний, то необхідно враховувати перехідні процеси, які виникають у мережі. Квазістационарний рух на ділянці ВДМ моделюється RC-ділянками, як аналог RC-ланцюгів електричної схеми.

Наповнення ВДМ у часі від нуля, до нормативних значень ($N_{\max}$) відбувається за законом, який може бути відображений поведінкою квазістационарних струмів, що виникають в RC – ланцюзі, з'єднаним з джерелом

електрорушійної сили (Ξ). Аналогію між електричними і транспортними процесами показано в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Аналогія між електричними і транспортними процесами

Електричні процеси	Транспортні процеси
Закон Ома в диференціальній формі: $j = \gamma \cdot E,$ де $\gamma = \frac{1}{\rho}$ – питома електропровідність; ρ – питомий опір.	Основне рівняння руху: $J_t = v \cdot \rho,$ де $v = \frac{l}{R}$ – швидкість руху; ρ – щільність автотранспортного потоку.
Відповідно до напруги, процес зарядки конденсатора: $U = U_{\max} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}),$ де $\tau = RC$ – час релаксації електричного заряду на конденсаторі.	Процес наповнення ВДМ автотранспортними потоками: $N_l = N_l^{\max} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}),$ де $\tau = RC$ – час релаксації автотранспортних потоків. Відповідно до закону Ома (інтегральна форма), інтенсивність автотранспортного потоку на момент часу t: $J_t = \frac{N_{\max}}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}).$
Процес розрядки конденсатора: $U = U_{\max} e^{-\frac{t}{\tau}},$ $U_{\max}$ – початкове значення напруги на конденсаторі.	Процес розвантаження ВДМ: $N_l = N_l^{\max} e^{-\frac{t}{\tau}},$ Відповідно, інтенсивність автотранспортного потоку на момент часу t: $J_t = \frac{N_{\max}}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}.$

Електричні заряди, які накопичуються на обкладинках конденсатора, перешкоджають проходженню струму і зменшують його. Тоді справедливе наступне рівняння:

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{RC} = \frac{\Xi}{R}, \quad (4.7)$$

де R – повний опір з урахуванням внутрішнього опору джерела.

Це неоднорідне рівняння зводиться до однорідного, розв’язок якого після інтегрування набуває вигляду:

$$Q = \Xi \cdot C(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (4.8)$$

де $\tau = RC$ – час релаксації електричного заряду на конденсаторі.

При $t \rightarrow \infty$ заряд конденсатора прагне до максимального значення:

$$Q_{\max} = \Xi \cdot C. \quad (4.9)$$

Тоді,

$$Q = Q_{\max}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}). \quad (4.10)$$

Відповідно до напруги на конденсаторі, маємо:

$$U = U_{\max}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}). \quad (4.11)$$

Отже, автотранспортний потік, який починає наповнювати ділянки ВДМ, може бути представлений наступним чином:

$$N_l = N_l^{\max} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (4.12)$$

де τ – час релаксації нестационарних автотранспортних потоків ВДМ міста.

Відповідно до закону Ома (інтегральна форма), інтенсивність автотранспортного потоку:

$$J_t = \frac{N_{\max}}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (4.13)$$

Тоді, згідно з (4.13), маємо:

$$\begin{aligned} J_{t1} &= \frac{N_{\max}}{R} (1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}) \\ J_{t2} &= \frac{N_{\max}}{R} (1 - e^{-\frac{t_2}{\tau}}), \end{aligned} \quad (4.14)$$

де J_{t1} – інтенсивність автотранспортного потоку на момент часу t_1 ; J_{t2} – інтенсивність потоку на момент часу t_2 .

$$\tau = \frac{t_1 \ln J_2 - t_2 \ln J_1}{\ln(J_1 - J_2)}. \quad (4.15)$$

Отже, згідно з формулою (4.15), визначається час релаксації нестационарних автотранспортних потоків.

Оскільки:

$$\tau = RC, \quad (4.16)$$

то

$$\begin{cases} C = \frac{\tau}{R} \\ C = \frac{N_t}{N_l} \end{cases} \Rightarrow \frac{\tau}{R} = \frac{N_t}{N_l} \Rightarrow N_l = N_t \cdot \frac{R}{\tau}. \quad (4.17)$$

Таким чином, отримана формула (4.17) дозволяє контролювати за наповненням ділянок ВДМ автотранспортними потоками на основі попередньо встановлених індивідуальних характеристик ділянок ВДМ – опору (R) і часу релаксації нестационарних автотранспортних потоків (τ).

4.1.2 Методологічні засади електричного моделювання вулично-дорожньої мережі та автотранспортних потоків

У цьому пункті розкриваються основні методологічні засади щодо електричного аналогового моделювання структурної конфігурації ВДМ та автотранспортних потоків, які функціонують на ділянках відповідної мережі.

Відповідно до моделі, структурна конфігурація ВДМ (фрагменту мережі) та автотранспортні потоки, які функціонують на ділянках мережі, можуть мати різну електричну інтерпретацію (способи реалізації моделі [149]). Зокрема, ВДМ може бути представлена у вигляді електричної схеми, в якій перехрестя вулиць і доріг (в одному та більше рівнях) моделюються окремими вузлами, а ділянки доріг між двома перехрестями – електричними опорами [40, 101, 103, 106, 149]. При такій інтерпретації ВДМ інтенсивність руху автотранспортних потоків на кожній ділянці ВДМ моделюється як сумарна інтенсивність автотранспортних потоків зустрічних напрямків руху.

При іншій інтерпретації – кожен ділянку ВДМ (фрагменту мережі) в електричній схемі моделюють послідовним з'єднанням діода та опора, що в цілому для електричної схеми відображає параметри конфігурації структурних елементів та організацію дорожнього руху на ділянках і перехрестях ВДМ [37, 38, 110, 149].

Таке представлення ділянок вулиць і доріг дозволяє моделювати елементи ВДМ довільної конфігурації (різносмугові дороги, розв'язки, перехрестя тощо) у вигляді принципових електричних схем, при цьому враховувати всі (без виключення) дозволені на перехрестях напрямки руху транспортних засобів (рух прямо, поворот праворуч та ліворуч, розворот), розглядати ділянки вулиць та доріг з двостороннім рухом як елементи, що мають окремі проїзні частини (що відокремлені одна від одної розділювальною смугою), здійснювати оцінку завантаженості ВДМ автотранспортними потоками, у тому числі – оцінку окремих ліній і вузлів мережі з точки зору перевантаження або недовантаження цих елементів.

Електричне моделювання, дослідження і оптимізацію функціонування автотранспортних потоків на ВДМ доцільно здійснювати у середовищі комп'ютерної програми симулятора електричних схем, зокрема такої, як Electronics WorkBench або NI Multisim, в яких легко і зручно здійснюються вимірювання параметрів кола, а також структурна і параметрична модифікація.

Обов'язковою умовою електричного моделювання є те, що сумарний вхідний і сумарний вихідний автотранспортні потоки для модельованої ВДМ (в моделі – сумарні вхідні і сумарні вихідні струми) мають бути однаковими:

$$\sum_{i=1}^n J_i^{in}(t) = \sum_{i=1}^n J_i^{out}(t) \quad (4.18)$$

Дана умова перевіряється за формулою:

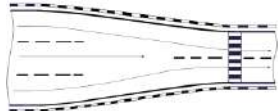
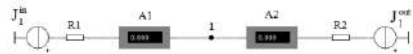
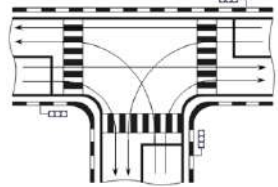
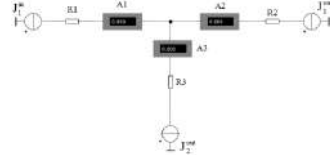
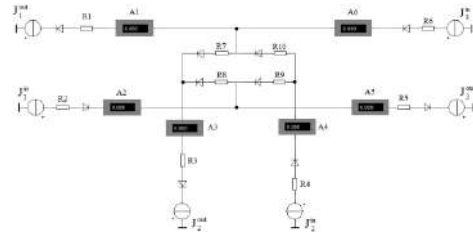
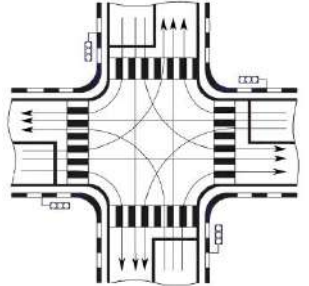
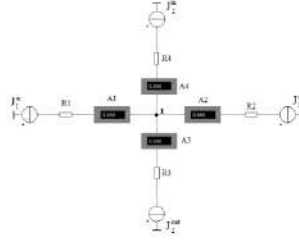
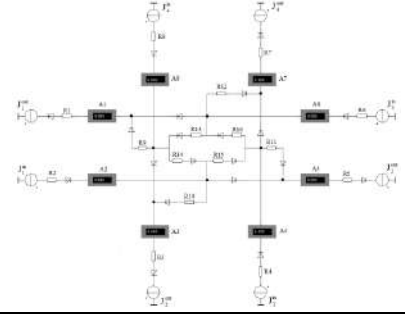
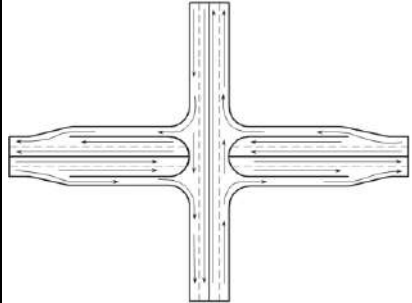
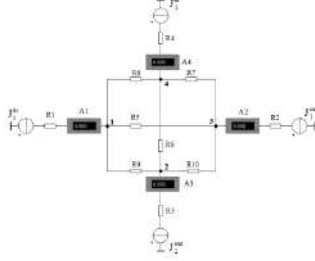
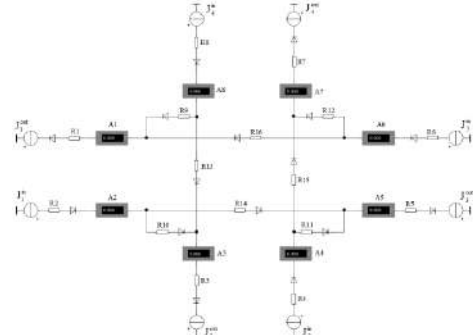
$$E(t) = \frac{\sum_{i=1}^n J_i^{in}(t) - \sum_{i=1}^n J_i^{out}(t)}{\sum_{i=1}^n J_i^{in}(t)} \cdot 100\% . \quad (4.19)$$

Причини розходження між вхідними і вихідними автотранспортними потоками обумовлені наявністю у відповідній ВДМ об'єктів тяжіння транспортних потоків (житлові будинки, установи, підприємства обслуговування та інші громадські будівлі і споруди) та перевантаженістю цієї мережі.

Оскільки розходження вхідних/вихідних потоків однозначно залежить від масштабу мережі, то цілком очевидно, що при моделюванні макромасштабних об'єктів мережі ці розходження стануть суттєвими. З огляду на це, електричну схему (при моделюванні значних ВДМ) необхідно ускладнювати шляхом підключення внутрішніх джерел струму з від'ємним або додатнім знаком в залежності від періоду моделювання і характерних для даного періоду умов, що відображатимуть відповідні об'єкти тяжіння транспортних потоків.

У таблиці 4.3 наводяться приклади електричного аналогового моделювання окремих типових елементів ВДМ.

Таблиця 4.3 – Приклади електричного аналогового моделювання елементів ВДМ міста

№ п/н	Елемент ВДМ	План-схема	Електрична модель	
			змішане з'єднання опорів	послідовні з'єднання діода та опору
1	2	3	4	5
1	Звуження ділянки дороги			
2	Перетин вулиць і доріг в одному рівні (Т-подібне перехрестя)			
3	Перетин вулиць і доріг в одному рівні (Х-подібне перехрестя)			
4	Перетин вулиць і доріг в кількох рівнях (транспортна розв'язка)			

Для кожного елементу наводиться план-схема (див. стовпчик 3) та електрична модель різної інтерпретації, а саме:

- у вигляді змішаного з'єднання опорів, що відображають поздовжньо-поперечні характеристики проїзної частини кожної ділянки ВДМ в цілому (див. стовпчик 4);

- у вигляді послідовних з'єднань діода та опору, що відображають поздовжньо-поперечні характеристики проїзної частини кожної ділянки ВДМ роздільно для наявних напрямків руху (див. стовпчик 5).

План-схема кожного з наведених елементів ВДМ відображає особливості конфігурації відповідного елементу та організацію дорожнього руху на його ділянках, що представлено у вигляді стрілок, які вказують на основні напрямки руху і маневри на ділянці та в місцях перетину доріг (рух прямо, поворот праворуч та ліворуч). Розворот на наведених план-схемах не показано, проте електрична модель перехрестя з інтерпретацією у вигляді послідовних з'єднань діода та опору такий маневр також враховує.

Електричні схеми елементів ВДМ, які наводяться в таблиці 4.3, було зібрано у середовищі комп'ютерної програми-симулятора електричних схем NI Multisim з використанням всіх можливостей його користувацького інтерфейсу.

При інтерпретації елементів ВДМ у вигляді змішаного з'єднання опорів використовуються такі основні елементи електричного кола, як (див. стовпчик 4, таблиця 4.3):

- джерела вхідних (J_i^{in} , де $i = 1, 2, \dots, n$) та вихідних (J_i^{out} , де $i = 1, 2, \dots, n$) струмів, які є аналогами вхідної та вихідної інтенсивності руху автотранспортних потоків відповідно;

- вузли схеми (1, 2, ..., n), які моделюють вуличні перехрестя;

- електричні опори (R_i , де $i = 1, 2, \dots, n$), провідність яких є аналогом пропускної здатності елементарних ділянок вулиць і доріг.

Інтенсивності руху на ділянках вхідних і вихідних автотранспортних потоків розглядаються як сумарні інтенсивності у двох напрямках руху (при

моделюванні ділянок з двостороннім рухом). При електричному моделюванні напрям вхідних і вихідних струмів обирають довільно, а їх величину коригують (за необхідності) таким чином, щоб сума всіх вхідних струмів для модельованої ВДМ (фрагменту мережі) дорівнювала сумі вихідних струмів.

У вузлах електричної схеми виконується перший закон Кірхгофа, що відповідає збігу кількості транспортних засобів, які входять до відповідного перехрестя доріг та виходять через нього. Електричний опір кожної окремої ділянки ВДМ у схемі електричного кола відображає параметри всієї проїзної частини відповідної ділянки ВДМ, тобто без відокремлення напрямів руху на ділянках з двостороннім рухом.

При інтерпретації елементів ВДМ у вигляді послідовних з'єднань діода та опору використовуються такі основні елементи електричного кола, як (стовпчик 5, таблиця 4.3):

- джерела вхідних (J_i^{in} , де $i = 1, 2, \dots, n$) та вихідних (J_i^{out} , де $i = 1, 2, \dots, n$) струмів, які є аналогами вхідної та вихідної інтенсивності руху автотранспортних потоків відповідно;

- ідеальні діоди, що послідовно з'єднані з опорами (R_i , де $i = 1, 2, \dots, n$); дозволяють змодельовати структурну конфігурацію ВДМ та враховувати всі (без виключення) дозволені на перехрестях напрямки руху транспортних засобів (рух прямо, поворот праворуч та ліворуч, розворот);

В якості вхідних (J_i^{in}) і вихідних (J_i^{out}) джерел струму приймаються інтенсивності руху на ділянках вхідних і вихідних автотранспортних потоків відповідної ВДМ, їх величину приймають з урахуванням напрямків руху на відповідних ділянках ВДМ.

Опори (R_i), відображають поздовжньо-поперечні характеристики проїзної частини ділянок вулиць і доріг для кожного напрямку руху окремо. Їх величину обчислюють за формулою (див. таблицю 4.1):

$$R = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{S}, \quad (4.20)$$

де l – довжина ділянки ВДМ (у випадку повороту при в'їзді на перехрестя приймається довжина дуги (траєкторії) повороту), $[l] = \text{км}$;

γ – пропускна здатність однієї смуги руху на ділянці мережі (у випадку повороту при в'їзді на перехрестя приймається пропускна здатність смуги руху ділянки, на яку спрямований рух транспортних засобів), $[\gamma] = \text{год}^{-1}$;

S – ширина проїзної частини ділянки ВДМ (у випадку повороту при в'їзді на перехрестя приймається ширина проїзної частини для дуги повороту), $[S] = \text{км}$; $S = nd$; n – кількість смуг руху; d – ширина смуги.

Для електричного моделювання розподілу автотransпортних потоків на ділянках ВДМ (за інтенсивністю руху, не залежно від електричної інтерпретації), в гілках електричної схеми-аналога відповідної ВДМ послідовно під'єднують амперметри (A_i , де $i = 1, 2, \dots, n$). Це дозволяє здійснювати контроль на ділянці кола за електричним струмом, що являє собою аналог інтенсивності автотransпортного потоку на відповідній ділянці ВДМ. Показання зазначеного амперметра на ділянці (змодельована величина інтенсивності автотransпортних потоків – J_i) та пропускна здатність відповідної ділянки – P_i , при наступному зіставленні (співвідношенні) цих величин (J_i до P_i) вказує на рівень завантаженості відповідної ділянки автотransпортними потоками.

Разом з тим слід відмітити, що при розгляді фрагментів ВДМ великого масштабу (наприклад, ВДМ окремого адміністративного району міста) електрична схема з інтерпретацією у вигляді послідовних з'єднань діода і опору, виявиться складною, розрахунок якої достатньо громіздкий та трудомісткий. Для спрощення представлення електричної схеми, в таких програмних середовищах, як NI Multisim, Electronic Workbench та ін., окремі елементи (сукупність елементів) електричної схеми можуть бути перетворені шляхом застосування опції Create Subcircuit, на окремі блоки (підсхеми) з зовнішніми затискачами. Це означає, що елементи електричної схеми ВДМ, зокрема ті, що моделюють перехрестя доріг (в одному та більше рівнях) можуть бути перетворені у відповідні блоки.

З огляду на це, при електричному моделюванні подібних фрагментів ВДМ рекомендується попередню проводити класифікацію наявних різновидів перехресть вулиць і доріг (у межах досліджуваної мережі), зокрема за такими ознаками:

- за схемою перехрестя (Т-подібне перехрестя, Х-подібне перехрестя, перетин вулиць і доріг в кількох рівнях (транспортні розв'язки) тощо);
- за категоріями вулиць і доріг, які утворюють перехрестя (за категоріями відповідно до діючої класифікації вулиць і доріг на основі зведеної інвентаризаційної відомості міста);
- за дозволеними напрямками руху на ділянках вулиць і доріг, що утворюють перехрестя (односторонній, двосторонній рух);
- за кількістю смуг руху (роздільно для кожного напрямку) проїзної частини ділянок вулиць і доріг, що утворюють перехрестя (одна смуга, дві смуги і т.д.).

Класифікація за зазначеними ознаками дозволить у межах досліджуваної ВДМ (фрагменту мережі), ідентифікувати подібні (типові) перехрестя доріг та рознести їх у однорідні групи. Це, у свою чергу, дозволить для кожної групи зібрати електричну схему (модель) перехрестя – типову для всіх елементів відповідної групи; електричну схему перетворити у блок, який надалі використовувати при електричному моделюванні ВДМ з фактичними параметрами конфігурації структурних елементів, а також при проведенні імітаційних експериментів для пошуку оптимальних сценаріїв розвитку ВДМ міста.

Для забезпечення збору електричної схеми довільної ВДМ необхідно попередньо організувати інформаційний банк даних щодо поздовжньо-поперечних характеристик ділянок, які формують структуру відповідної ВДМ.

Оскільки час проходження транспортного засобу на ділянці дороги може бути визначений через середню швидкість:

$$t = \frac{l}{v_1}, \quad (4.21)$$

де v_1 – розрахункова (нормативна) швидкість повздовжнього прямолінійного руху окремого транспортного засобу [41], км/год., то з (4.20) і (4.21) випливає:

$$\frac{R}{t} = \frac{v_1}{\gamma \cdot n \cdot d} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (4.22)$$

Тут $v_2 = \gamma \cdot n \cdot d$ – розрахункова швидкість поперечного руху, що отримана на основі аналогій розмірності, км/год. і є характеристикою певної елементарної ділянки ВДМ.

З (4.22) можна отримати наступний вираз:

$$R = \frac{v_1}{v_2} t = k \cdot t, \quad (4.23)$$

де коефіцієнт приведення $k = \frac{v_1}{v_2}$ – інтегральний параметр елементарної ділянки, який визначається відношенням швидкостей поздовжньо-поперечного руху, що можуть бути знайдені через геометричні параметри міських вулиць і доріг, а також нормативні значення швидкості [50, 51].

Тоді з (4.21), (4.23) отримуємо:

$$R = \frac{l}{v_2} \quad (4.24)$$

Отже, з (4.24) випливає фізичний зміст опору руху (R), який можна розглядати як інтегральну характеристику певної елементарної ділянки ВДМ.

4.2 Верифікація електричного моделювання на базі електричної моделі міського кварталу

На прикладі кварталу ВДМ Шевченківського району міста Києва розглянуто [37, 38] особливості застосування імітаційної електротехнічної

аналогової моделі аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста [39,107,133] та запропонованих способів її реалізації [149]. На рисунку 4.1 наводиться топографічний план і план-схема організації дорожнього руху (рисунк 4.1 б) на ділянках та в місцях перетину доріг кварталу (стрілками показано основні напрямки руху і маневри на ділянці та в місцях перетину доріг – рух прямо, поворот праворуч та ліворуч; маневр розвороту на план-схемі не показано, проте електрична схема кварталу з інтерпретацією у вигляді послідовних з'єднань діода та опору такий маневр також враховує, рисунок 4.2 а).

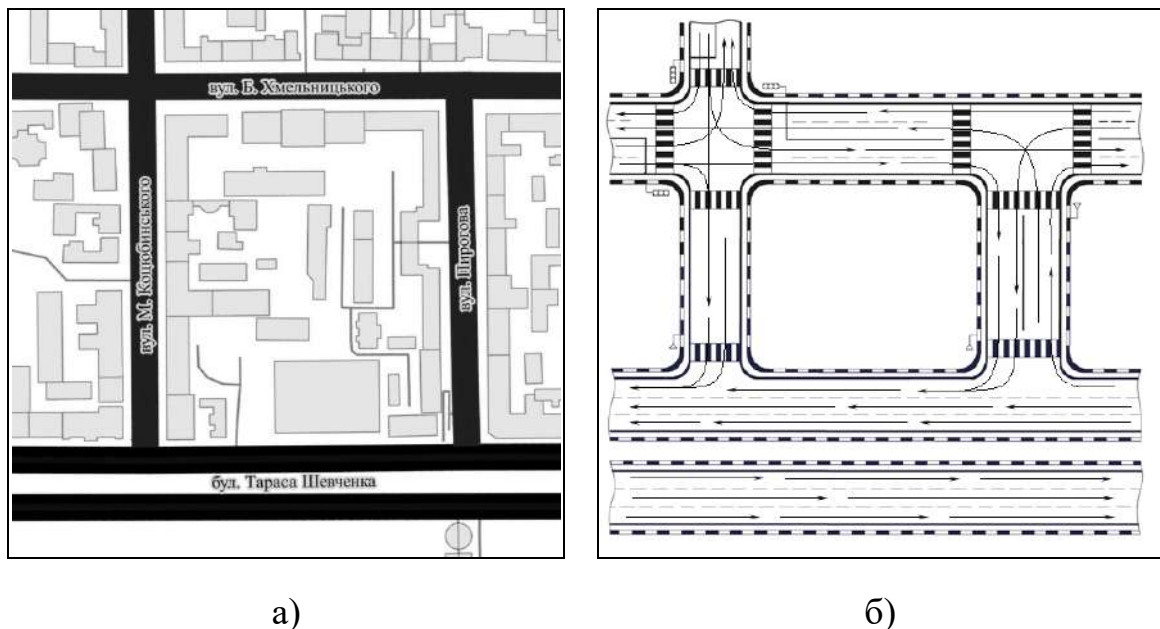


Рисунок 4.1 – Квартал ВДМ Шевченківського району м. Києва:
а – топографічний план; б – план-схема організації руху.

Згідно з інвентаризаційною відомістю м. Києва квартал утворюють магістральні вулиці загальноміського та районного значення, а саме бул. Тараса Шевченка, вул. Михайла Коцюбинського, вул. Богдана Хмельницького та вул. Пирогова.

Вуличні перехрестя кварталу мають Х-подібну та Т-подібну конфігурації, при цьому ділянки доріг, які утворюють ці структурні елементи ВДМ суттєво відрізняються одна від одної за організацією руху (на ділянках кварталу впроваджена організація одностороннього та двостороннього руху) та

поздовжньо-поперечними характеристиками проїзних частин (за кількістю смуг руху, шириною однієї смуги тощо), що створює особливі умови для електричного моделювання автотранспортних потоків, які функціонують на ділянках кварталу, зокрема, в частині верифікації електротехнічної аналогової моделі [39, 107, 133] та запропонованих способів її реалізації.

Як відмічалось вище (див. підрозділ 4.1), імітаційна електротехнічна аналогова модель [39, 107, 133] має два підходи (способи) до інтерпретації структурної конфігурації ВДМ (фрагменту мережі) та автотранспортних потоків, що функціонують на ділянках відповідної мережі. Зокрема, кожна ділянка ВДМ у електричній схемі мережі може бути представлена як послідовне з'єднання діода та опору, що в цілому для електричного кола відображатиме параметри конфігурації структурних елементів ВДМ та схему організації дорожнього руху на ділянках та в місцях перетину вулиць і доріг.

При іншій інтерпретації – вуличні перехрестя моделюються вузлами, а ділянки доріг (між двома найближчими перехрестями) – опорами; автотранспортний потік на кожній ділянці ВДМ розглядається як сумарний (інтегрований) потік, ВДМ моделюється без врахування особливостей організації руху (дозволених напрямків руху) на її ділянках.

З огляду на це, в середовищі комп'ютерної програми NI Multisim для міського кварталу було зібрано електричні схеми з інтерпретацією ділянок кварталу (див. рисунок 4.2):

- у вигляді послідовних з'єднань діода і опора (рисунок 4.2 а);
- у вигляді змішаного з'єднання опорів (рисунок 4.2 б).

Слід відмітити, що спосіб реалізації імітаційної електротехнічної аналогової моделі [39, 107, 133], за яким інтерпретація структури ВДМ значно спрощується (див. рисунку 4.2 б) має в якості основного недоліку – обмеження на його застосування. Це обмеження стосується насамперед дослідження фрагментів ВДМ невеликого масштабу (зокрема, в масштабі одного кварталу) і, відповідно, пов'язане із складністю (іноді із неможливістю) встановлення балансу (4.18) між сумарними вхідними/вихідними струмами електричної моделі фрагментів мережі

невеликих розмірів, зважаючи на незначну кількість ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків відповідної мережі.

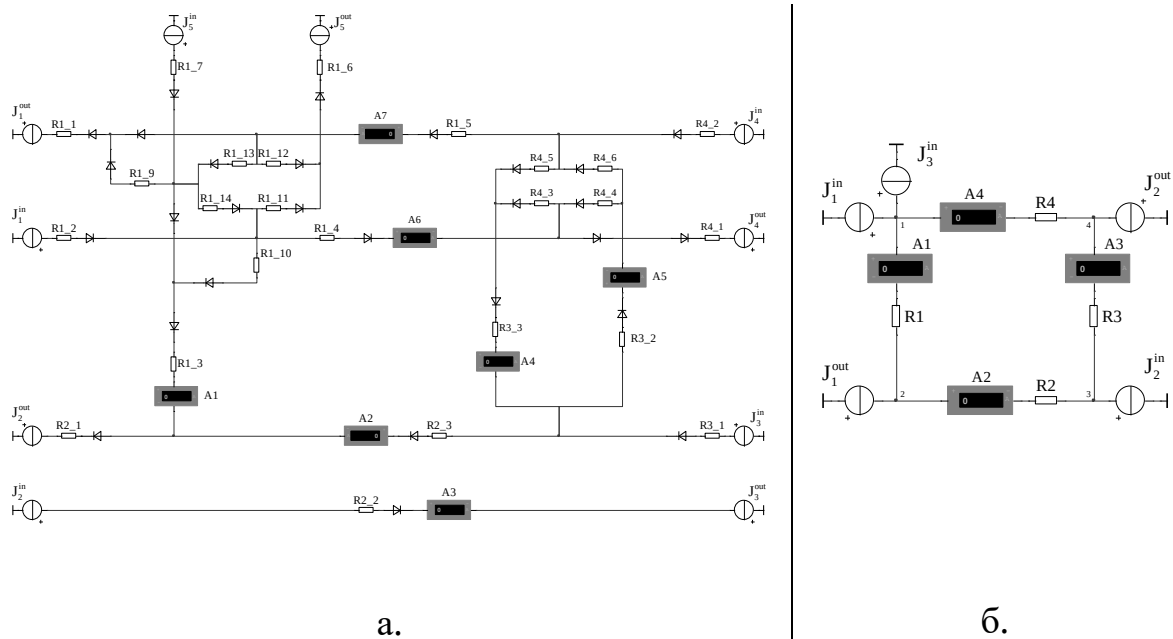


Рисунок 4.2 – Електрична схема кварталу: а – інтерпретація у вигляді послідовних з'єднань діода і опору; б – інтерпретація у вигляді змішаного з'єднання опорів.

У той же час, якщо розглядати фрагменти ВДМ більшого масштабу (зв'язані квартали мережі) проблема щодо встановлення балансу (4.18) між потоками вирішується внаслідок збільшення кількості відповідних ділянок мережі, про що, безпосередньо, свідчать результати проведених досліджень [40]. Разом з тим, при моделюванні таких ВДМ (фрагментів мережі) виникає потреба у постійному пошуку балансу між вхідними/вихідними струмами моделі, оскільки зміна періоду моделювання, яка, відповідно, супроводжується зміною величини вхідних/вихідних струмів, призведе до порушення балансу між струмами електричної схеми відповідної ВДМ.

Як видно з рисунку 4.2 а, електрична схема кварталу має складну розгалужену структуру, і це при тому, що квартал є найменшою структурною одиницею житлового середовища. З огляду на це, у середовищі NI Multisim окремі елементи електричної схеми кварталу (зокрема ті, що моделюють

перехрестя доріг) шляхом застосування опції Create Subcircuit були перетворені в окремі блоки (підсхеми). Відповідно, це дозволило отримати значно простішу й зручнішу для користування електричну модель відповідного фрагменту ВДМ (рисунок 4.3).

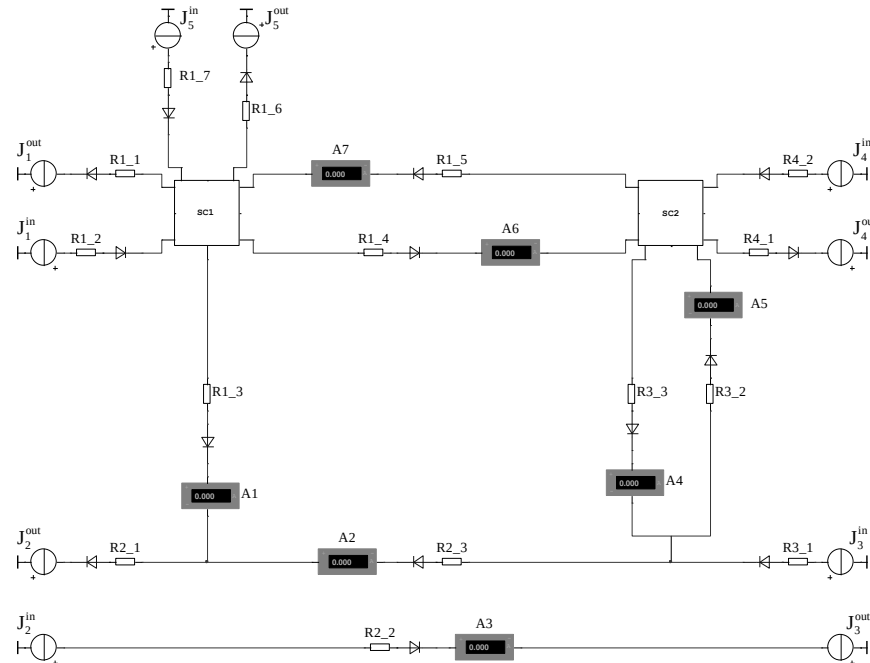


Рисунок 4.3 – Електрична схема кварталу, в якій перехрестя доріг представлені блоками (підсхемами) шляхом застосування опції Create Subcircuit в середовищі NI Multisim

Для моделювання розподілу автотранспортних потоків (за інтенсивністю руху) на базі електричної моделі кварталу необхідно оперувати даними щодо поздовжньо-поперечних характеристик ділянок кварталу (такі дані потрібні для розрахунку опорів в гілках електричної схеми) та даними щодо величини інтенсивності руху на ділянках вхідних/вихідних автотранспортних потоків міського кварталу, що є аналогами вхідних (J_{in}) і вихідних (J_{out}) джерел струму.

З огляду на це, розглянемо процедуру щодо формування та обробки зазначених даних, що було реалізовано, зокрема для забезпечення моделювання на базі електричної схеми з більш складною інтерпретацією лінійних, функціональних та організаційних зв'язків структурних елементів кварталу (рисунок 4.2 а).

Аналіз поздовжньо-поперечних характеристик проїзної частини ділянок кварталу, включаючи розрахункові швидкості та інтенсивності руху транспорту на цих ділянках відповідно до категорій вулиць і доріг, за якими визначаються нормативи їх проектування в плані, поздовжньому та поперечному профілях проводився на основі інвентаризаційної відомості м. Києва, нормативних документів [50, 51] та картографічного сервісу «Яндекс. Карти». За результатами аналізу проведено розрахунок опорів R_i (таблиця 4.4) для електричної схеми (рисунки 4.2 а), зокрема, для кожної гілки схеми встановлено «нормативний» опір – на основі інвентаризаційної відомості м. Києва та відповідних нормативних документів [50, 51], і «фактичний» опір – на основі аналогічних документів та картографічного сервісу «Яндекс. Карти» (з використанням опції «Панорамний перегляд вулиць»); останній, як було встановлено, коректно відображає поздовжньо-поперечні характеристики ділянок кварталу. При розрахунку «фактичного» опору смуги руху на проїзній частині ділянок кварталу, які фактично використовуються водіями транспортних засобів для паркування своїх автомобілів не враховувалися.

Таблиця 4.4 – Опори електричної схеми кварталу (див. рисунок 4.2 а)

«Нормативний» опір						«Фактичний» опір					
R_{1_01}	0,112	R_{1_09}	0,004	R_{3_02}	0,067	R_{1_01}	0,224	R_{1_09}	0,013	R_{3_02}	0,556
R_{1_02}	0,112	R_{1_10}	0,005	R_{3_03}	0,067	R_{1_02}	0,224	R_{1_10}	0,018	R_{3_03}	0,556
R_{1_03}	0,067	R_{1_11}	0,004	R_{4_01}	0,031	R_{1_03}	0,227	R_{1_11}	0,013	R_{4_01}	0,061
R_{1_04}	0,061	R_{1_12}	0,005	R_{4_02}	0,031	R_{1_04}	0,123	R_{1_12}	0,018	R_{4_02}	0,061
R_{1_05}	0,061	R_{1_13}	0,005	R_{4_03}	0,006	R_{1_05}	0,123	R_{1_13}	0,005	R_{4_03}	0,014
R_{1_06}	0,096	R_{2_01}	0,017	R_{4_04}	0,004	R_{1_06}	0,343	R_{2_01}	0,017	R_{4_04}	0,004
R_{1_07}	0,096	R_{2_03}	0,029	R_{4_05}	0,008	R_{1_07}	0,343	R_{2_03}	0,029	R_{4_05}	0,019
R_{1_08}	0,004	R_{3_01}	0,015	R_{4_06}	0,008	R_{1_08}	0,004	R_{3_01}	0,015	R_{4_06}	0,008

З метою забезпечення електричної схеми наявними вхідними/вихідними струмами, на відповідних ділянках кварталу були проведені натурні

спостереження за зміною величини інтенсивності руху автотранспортних потоків. Для кожної ділянки кварталу побудовано профіль розподілу величини інтенсивності руху автотранспортних потоків, що чисельно відповідає величині вхідному/вихідному струму електричної моделі (див. рисунок 4.4)

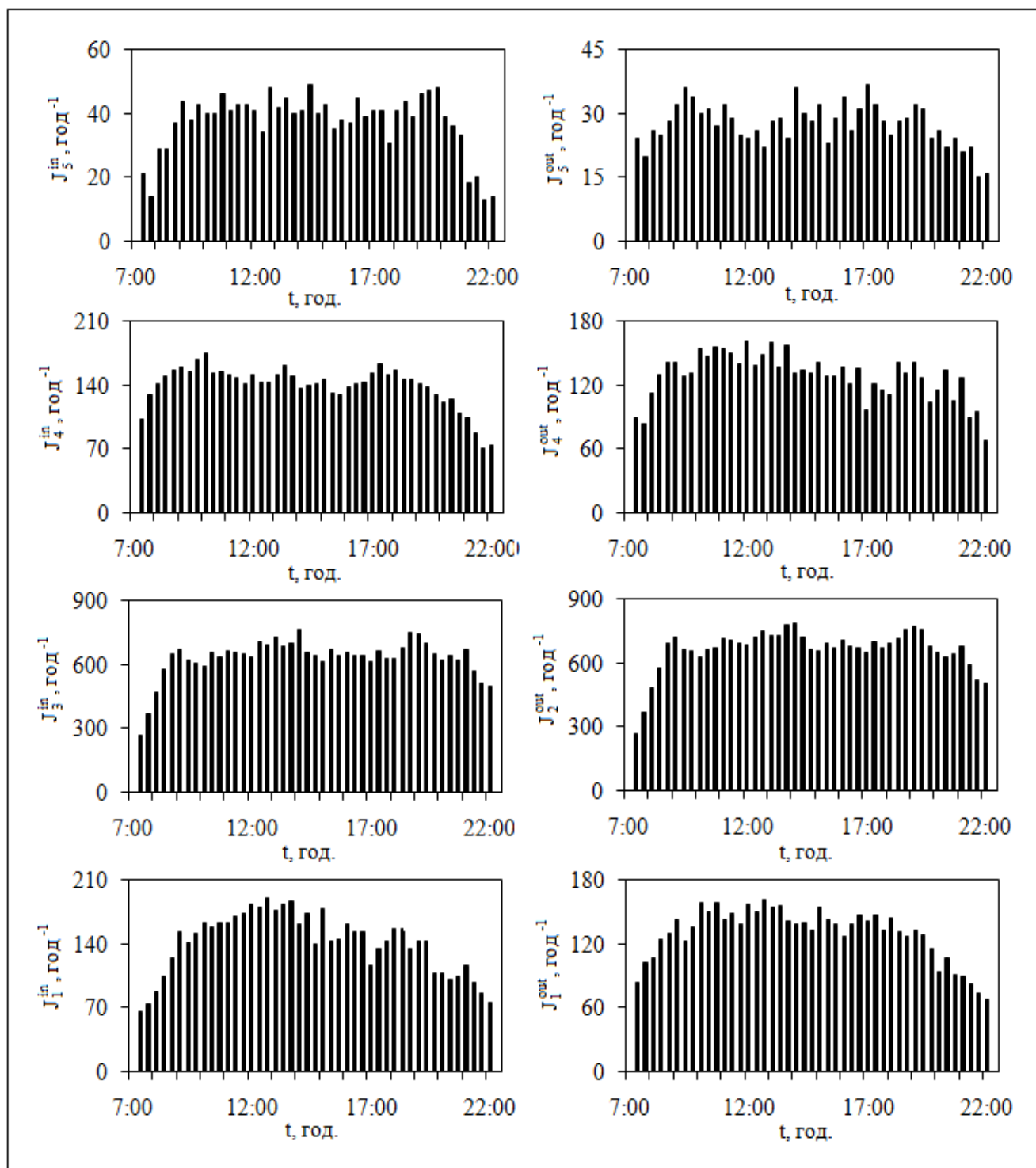


Рисунок 4.4 – Розподіли вхідних (J_i^{in}) та вихідних (J_i^{out}) струмів для моделі кварталу протягом аналізованого періоду (7:00-22:00 год.).

Спостереження за інтенсивністю руху проводились одночасно на всіх ділянках, у період – 7:00-22:00 год. та в дні тижня для яких зберігається закономірність добового ходу інтенсивності автотранспортних потоків. Зазначений період доби включає фази пікових (максимальних) завантажень доріг, що дозволило коректно провести верифікацію запропонованої імітаційної електротехнічної аналогової моделі [39, 107, 133] та способів її реалізації.

Незважаючи на ранкову мінливість, автотранспортні потоки розглядаються як квазістаціонарні, оскільки час релаксації їх інтенсивності значно перевищує час знаходження транспортних засобів в межах міського кварталу. Для уникнення впливу технічних засобів регулювання дорожнього руху (дорожніх знаків, розмітки, обладнання, світлофорів тощо) на характер динаміки величини інтенсивності руху, в наведених розподілах зміну величини інтенсивності представлено з дискретністю двадцять хвилин, що на порядок перевищує тривалості циклу світлофорного регулювання на ділянках кварталу.

Емпіричні дослідження сумарних вхідних і вихідних автотранспортних потоків протягом аналізованого періоду (7:00-22:00 год.) показало, що розходження цих потоків не перевищує 4% (рисунок 4.5). Оскільки для моделі кварталу баланс (4.18) виконується, це дозволило в NI Multisim провести електричне моделювання розподілу цих потоків (за інтенсивністю руху) на ділянках кварталу.

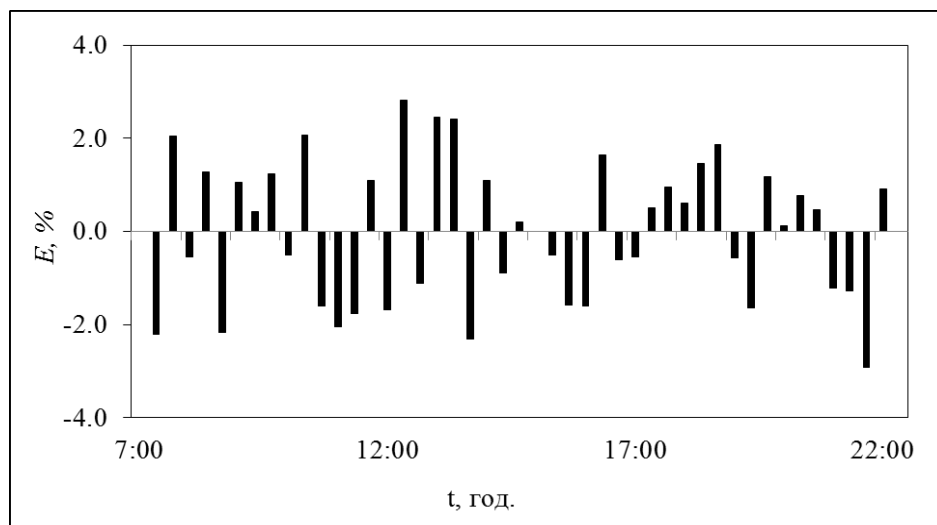


Рисунок 4.5 – Розходження між сумарними вхідними та вихідними автотранспортними потоками кварталу

Електричне моделювання розподілу автотранспортних потоків здійснювалось на базі електричної схеми, в якій задавалися різні значення величини опору в гілках відповідної схеми (таблицю 4.4): у першому випадку задавалась величина «нормативного» опору; в другому – «фактичного» опору.

Порівняння модельних оцінок з даними експерименту (натурні спостереження за інтенсивністю руху на ділянках кварталу) показало на неоднозначність отриманих результатів. Так, для випадку моделювання, коли в гілках електричної схеми задавалась величина «нормативного» опору, значення інтенсивності руху за моделлю (покази амперметрів) значно розходяться з результатами натурних спостережень. Середнє значення відносної похибки моделювання для такого моделювання варіюється в межах від 20 до 170%. У свою чергу, залучення в електричній схемі значень «фактичного» опору суттєво покращило результати моделювання, а саме – похибка моделювання (розходження між результатами моделювання і даними експерименту) не перевищила 10%.

Розподіл відносної похибки між результатами електричного моделювання на базі електричної схеми кварталу та експерименту протягом аналізованого періоду (7:00-22:00 год.) представлено на рисунку 4.6 (на базі електричної схеми з використанням «нормативних» опорів – $\bar{\varepsilon}_n$, та «фактичних» опорів – $\bar{\varepsilon}_f$).

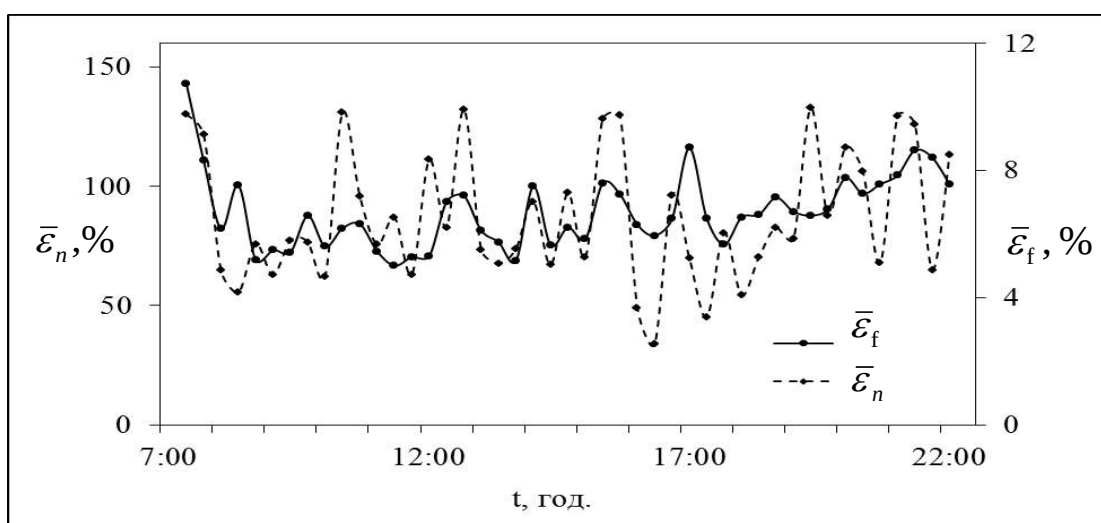


Рисунок 4.6 – Розподіл відносної похибки між результатами моделювання та експерименту протягом аналізованого періоду (на базі електричної схеми з використанням «нормативних» опорів – $\bar{\varepsilon}_n$, та «фактичних» опорів – $\bar{\varepsilon}_f$)

4.3 Моделювання завантаженості вулично-дорожньої мережі міста автотранспортними потоками

4.3.1 Встановлення розподілу автотранспортних потоків та оцінка завантаженості вулично-дорожньої мережі

Імітаційна електротехнічна аналогова модель [39, 107, 133] дозволяє вирішувати ряд важливих завдань, до яких відносяться, зокрема, оцінка та моніторинг (у тому числі оперативний) поточного і прогнозування перспективного розподілу автотранспортних потоків (за інтенсивністю руху) на ділянках ВДМ (фрагменту мережі) з відомою конфігурацією, визначення ефективності функціонування мережі при різних рівнях завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків відповідної мережі та умов експлуатації вулиць і доріг (при виконанні планових робіт з будівництва, реконструкції, ремонту та утримання доріг тощо), виявлення ділянок ВДМ з надмірною завантаженістю автотранспортними потоками, оптимізація функціонування автотранспортних потоків на ВДМ, підвищення пропускної здатності ВДМ (фрагменту мережі) тощо.

Ключові аспекти електричного моделювання (у тому числі оптимізації) функціонування автотранспортних потоків на ВДМ в контексті приведених завдань розглянуто на прикладі реального фрагменту ВДМ Шевченківського району м. Києва (рисунок 4.7), до складу якої, входять 40 елементарних ділянок; з них – 13 ділянок – це ділянки вхідних та вихідних автотранспортних потоків, які забезпечують надходження транспорту в мережу та його функціонування в межах визначеними фрагментом.

Для відповідного фрагменту ВДМ, у середовищі комп'ютерної програми NI Multisim, було зібрану електричну схему (див. рисунок 4.8 і 4.9), що в повній мірі відображає топологію мережі, параметри конфігурації її структурних елементів та організацію дорожнього руху на ділянках та в місцях перетину доріг даного фрагменту ВДМ.

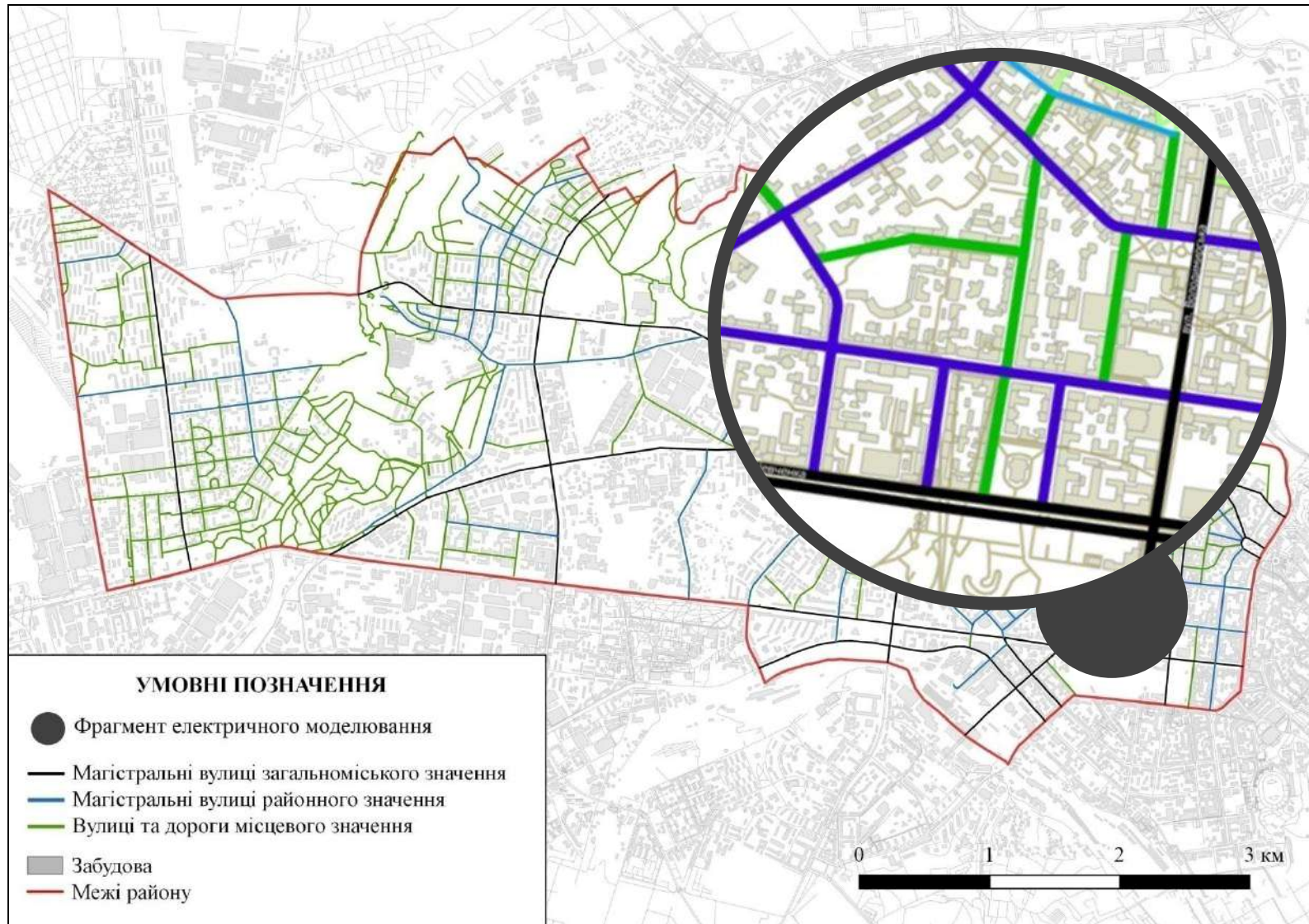


Рисунок 4.7 – ВДМ Шевченківського району м. Києва, на якій показано фрагмент для електричного моделювання і оптимізації функціонування автотранспортних потоків

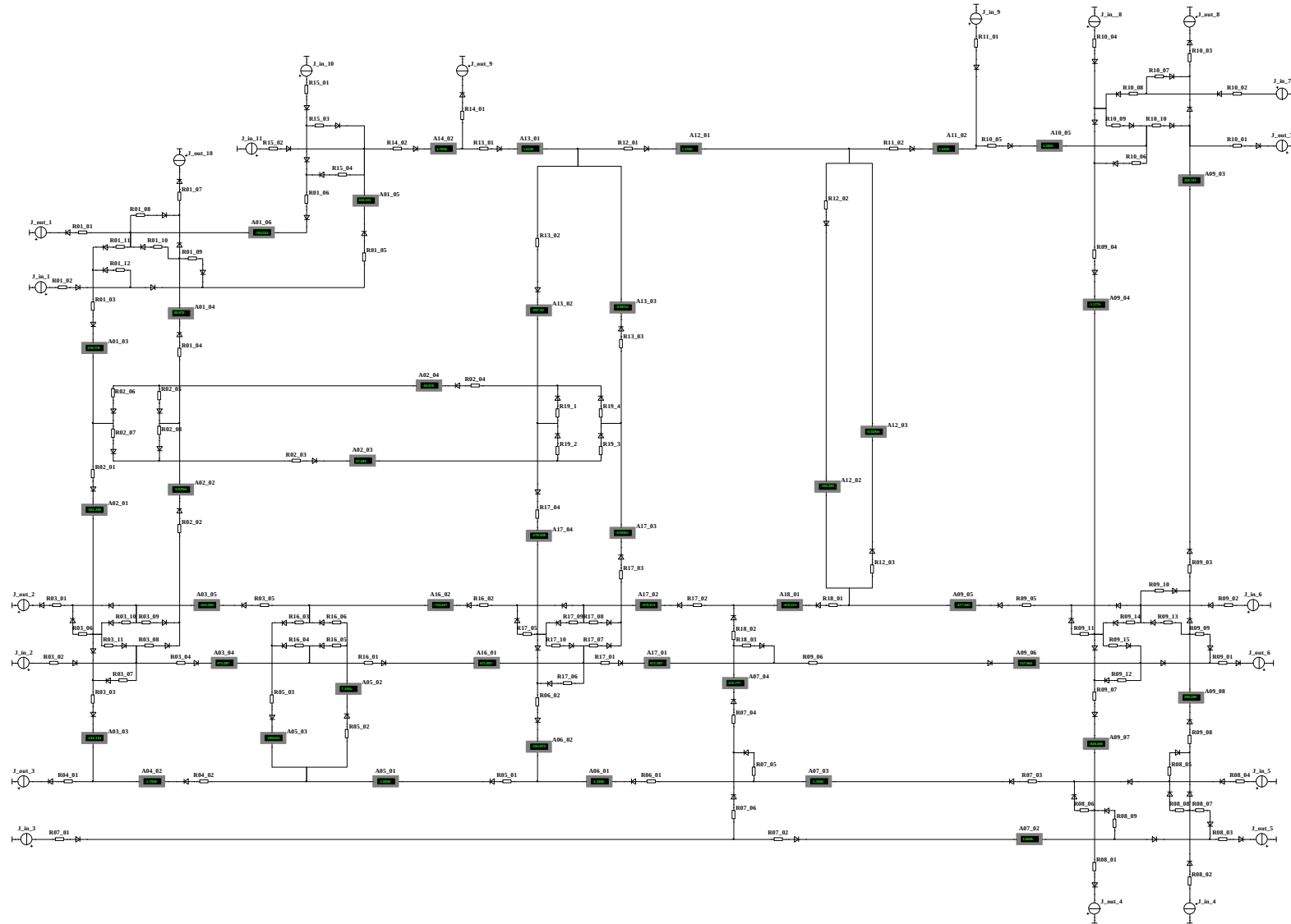


Рисунок 4.8 – Електрична схема фрагменту ВДМ Шевченківського району м. Києва (інтерпретація у вигляді послідовних з'єднань діода і опору)

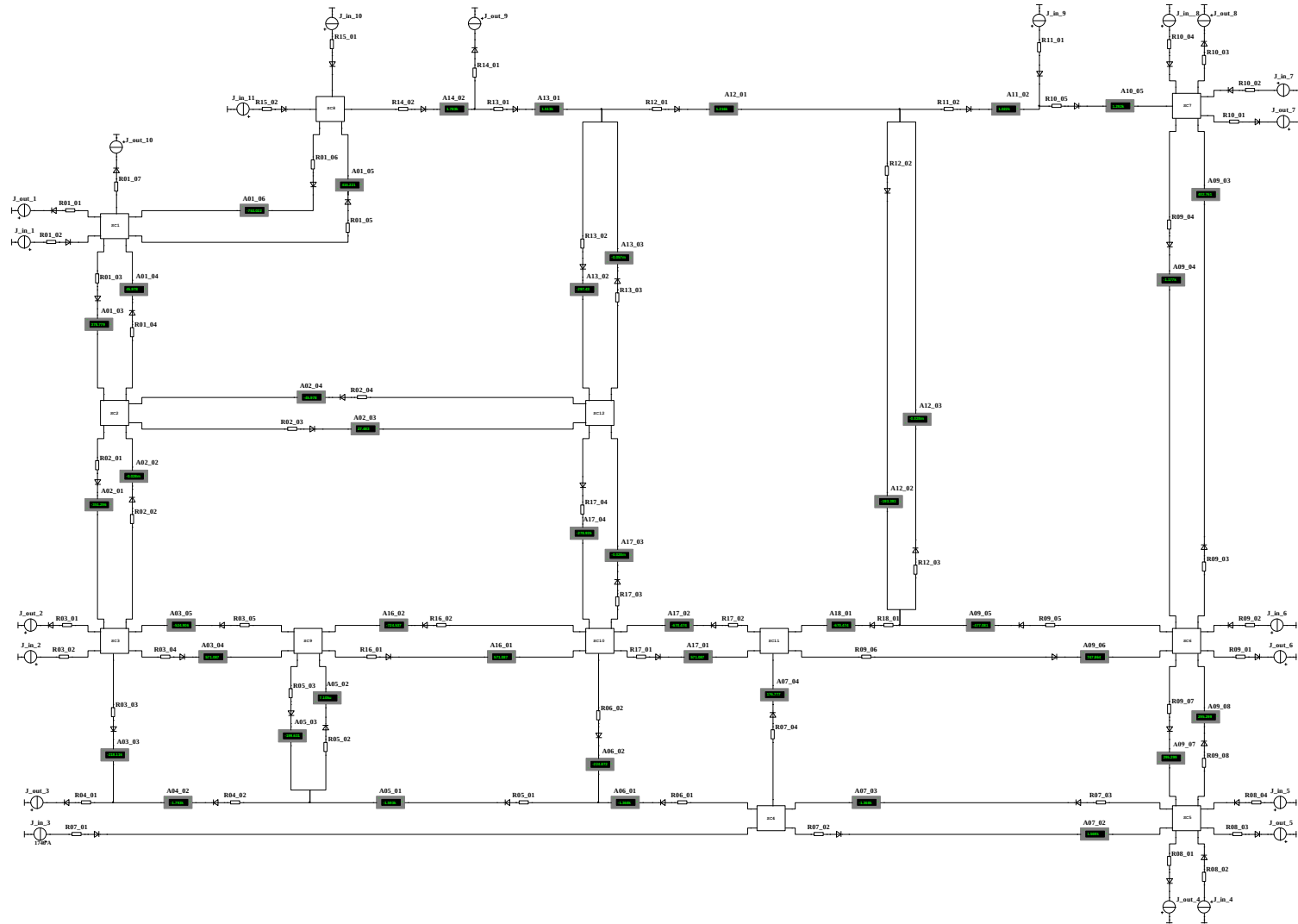


Рисунок 4.9 – Електрична схема фрагменту ВДМ Шевченківського району м. Києва, в якій перехрестя доріг перетворені на блоки (підсхеми) з зовнішніми затискачами (результат застосування опції Create Subcircuit в NI Multisim)

Значення опорів в гілках електричної схеми даного фрагменту ВДМ у першому наближенні розраховувались за результатами аналізу поздовжньо-поперечних характеристик проїзної частини ділянок відповідної мережі (довжина ділянки, кількість смуг руху на проїзній частині, ширина однієї смуги) та величини розрахункової інтенсивності руху транспорту на кожній ділянці мережі за нормативними документами [50, 51] згідно з категорією вулиць і доріг за якими визначаються нормативи їх проектування в плані, повздовжньому та поперечному профілях. Проте, на етапі калібрування електричної схеми, було встановлено, що значення опорів потребують уточнення і перерахунку.

З огляду на це, були проведені відповідні дослідження, направлені на встановлення реальних параметрів проїзної частини кожної окремої ділянки даного фрагменту ВДМ, зокрема щодо фактичної кількості смуг руху (наявність на проїзній частині смуги руху, що використовується для паркування), ширини однієї смуги та її пропускної здатності.

Для оцінки ефективності роботи ВДМ, а також пошуку шляхів щодо її підвищення з точки зору електричного моделювання важливо мати уявлення щодо функціонування мережі в умовах різної завантаженості ділянок вхідних та вихідних автотранспортних потоків.

З огляду на це, на базі електричної схеми відповідної ВДМ, необхідно розглянути низку сценаріїв щодо завантаженості ВДМ автотранспортними потоками і, відповідно до кожного сценарію, провести класифікацію ділянок мережі за рівнем завантаженості автотранспортними потоками – побудувати профіль розподілу завантаженості ВДМ залежно від рівня завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків.

Як відомо [86, 87], рівень завантаженості (z_i) окремої ділянки ВДМ автотранспортними потоками визначається відношенням інтенсивності руху (J_i) на ділянці до пропускної здатності проїзної частини відповідної ділянки (P_i). При різних рівнях завантаженості, як відомо [87, 140], забезпечуються різні рівні зручності та безпеки дорожнього руху (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 – Рівні зручності дорожнього руху [87, 139]

Рівень зручності	Z	Характеристика дорожнього руху
А	0,00-0,20	<i>Вільний</i>
Б	0,20-0,45	<i>Частково зв'язаний</i>
В	0,45-0,70	<i>Зв'язаний</i>
Г	0,70-1,00	<i>Щільний</i>
Д	0,00;1,00	<i>Затор. Колонний рух.</i>

Для проведення описаного вище дослідження необхідно попередньо, для кожної ділянки досліджуваної ВДМ (фрагменту мережі), визначити максимальну величину інтенсивності руху, що в містах, як відомо [55], відповідає пропускній здатності вуличних перехресть.

Як відомо [86, 87], на ділянках ВДМ зі світлофорним регулюванням максимальна кількість транспортних засобів, що може пройти по одній смузі руху за один цикл при заданій тривалості зеленого сигналу, залежить від того, наскільки повно буде використовуватися час горіння зеленого сигналу.

Пропускна здатність однієї смуги руху на таких ділянках ВДМ визначається виходячи із середнього значення інтервалу між автомобілями при роз'їзді черги [87]:

$$t_{зел} = \delta t_0 + \delta t(m-1), \quad (4.25)$$

звідки

$$m = \frac{t_{зел} - \delta t_0 + \delta t}{\delta t}, \quad (4.26)$$

де $t_{зел}$ – тривалість зеленого сигналу, с;

δt_0 – інтервал часу між включенням зеленого сигналу і від'їздом з перехрестя першого автомобіля (за результатами спостережень [13] складає 1-3 с, при розрахунках рекомендується приймати $\delta t_0 = 2$ с), с;

δt – середній інтервал між автомобілями, які покидають чергу, що знаходяться в зоні стоп-лінії (за результатами спостережень [13] для легкового транспорту складає 1-3 с), с.

Тоді, годинна пропускна здатність однієї смуги руху на ділянках ВДМ зі світлофорним регулюванням буде визначатися за наступною формулою [13, 86, 87]:

$$P_i = \frac{3600}{T_{\text{ц}}} \cdot \frac{t_{\text{зел}} - \delta t_0 + \delta t}{\delta t} \quad (4.27)$$

де P_i – пропускна здатність однієї смуги руху (напряму руху), авт./год;

$T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу регулювання, с.

Для визначення пропускної здатності нерегульованих перехресть перш за все необхідно встановити схему руху автомобілів на дорогах, що перетинаються [13, 86], зокрема визначити головну і другорядну дорогу, оскільки максимальна інтенсивність руху автотранспортних потоків на ділянці другорядного напрямку залежить від інтенсивності руху на вулиці або дорозі головного напрямку. Для таких ділянок ВДМ пропускна здатність розраховується за формулою [13, 86]:

$$P_i = N \frac{e^{-(N/3600)\Delta t_{\text{зп}}}}{1 - e^{-(N/3600)\delta t}}, \quad (4.28)$$

де $\Delta t_{\text{зп}}$ – граничний інтервал між автомобілями в потоці на головній вулиці, при виникненні якого автомобіль, що очікує проїзду на другорядній вулиці, може виконати маневр перетину або злиття ($\Delta t_{\text{зп}} \approx 6,5$ с [13]), с;

δt – середній інтервал між автомобілями, що входять в зону злиття з другорядної вулиці (для легкових автомобілів $\delta t = 3,6-2,8$ с [13]), с.

На основі розрахунків (4.27 і 4.28) встановлено пропускну здатність для кожної ділянки фрагменту ВДМ, що розглядається (див. додаток Е). Ця пропускна здатність є характерною для пікового періоду завантаженості даного фрагменту ВДМ автотранспортними потоками. При розрахунку пропускної здатності ділянок ВДМ зі світлофорним регулюванням, тривалість горіння зеленого сигналу та циклу регулювання приймалися за результатами натурних спостережень за зміною параметрів світлофорного циклу на відповідних ділянках ВДМ.

На рисунку 4.10 представлено інтенсивності руху на ділянках вхідних та вихідних автотранспортних потоків досліджуваного фрагменту ВДМ, що чисельно відповідають пропускній здатності даних ділянок.

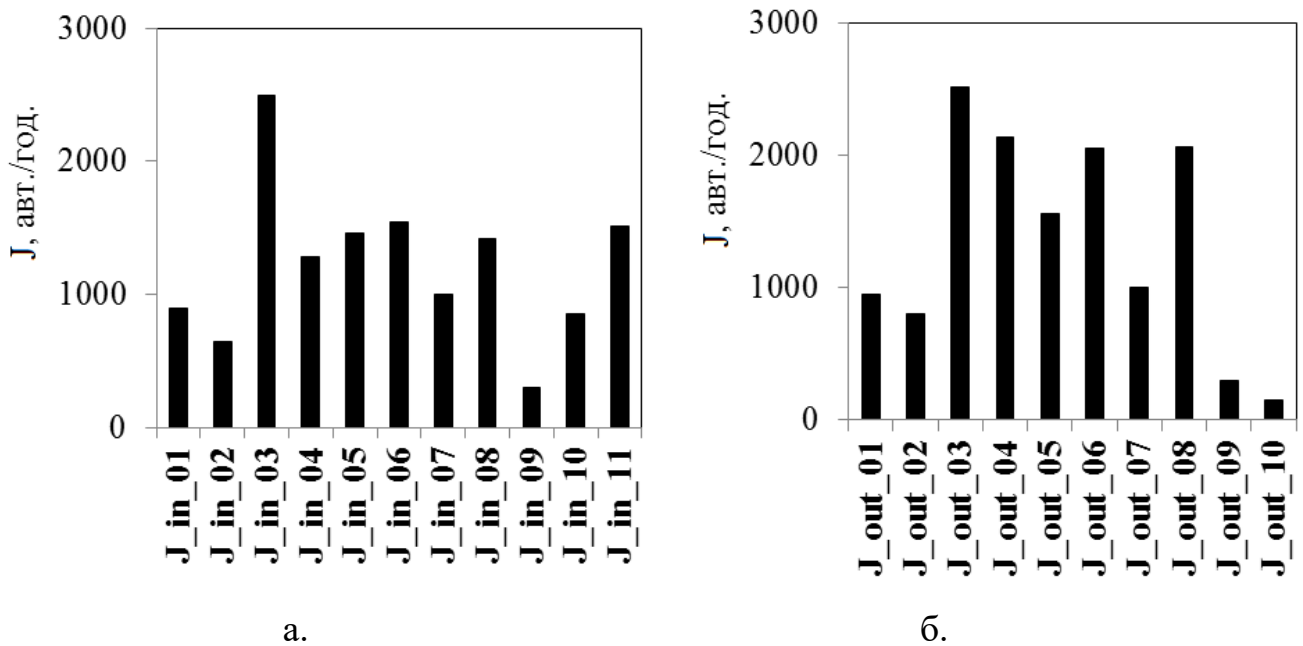


Рисунок 4.10 – Інтенсивності руху на ділянках вхідних та вихідних автотранспортних потоків досліджуваного фрагменту ВДМ, що чисельно відповідають пропускній здатності даних ділянок: а – на ділянках вхідних автотранспортних потоків (J_i^{in}); б – на ділянках вихідних автотранспортних потоків (J_i^{in}).

Перевірка виконання умови балансу (4.18) між сумарним вхідним і сумарним вихідним автотранспортними потоками для модельованої ВДМ показала на те, що розходження між цими потоками не перевищує 10 % і, з огляду на масштаб фрагменту ВДМ, є цілком прийнятною для коректного розподілу автотранспортних потоків (за інтенсивністю руху) на основі електричного моделювання.

На базі електричної схеми реального фрагменту ВДМ (див. рисунок 4.8 або 4.9), що відображає фактичні параметри ділянок доріг та схему організації дорожнього руху було проведено електричне моделювання розподілу автотранспортних потоків за результатами якого для кожної ділянки ВДМ було

встановлено рівень завантаженості, а для мережі в цілому – розподіл рівнів зручності руху (рисунок 4.11, таблиця 4.6).

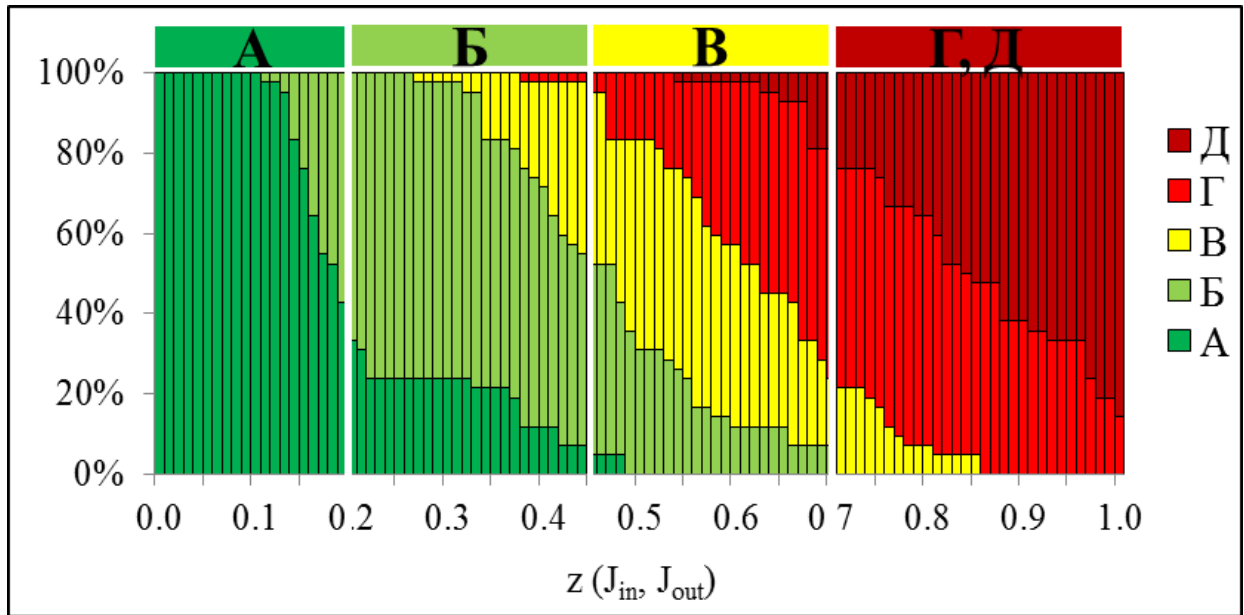


Рисунок 4.11 – Розподіл рівнів зручності руху для модельованого фрагменту ВДМ

Таблиця 4.6 – Розподіл рівнів зручності руху для модельованого фрагменту ВДМ¹⁾

$z (J_{in}, J_{out})$	Розподіл рівнів зручності руху, %				
	А	Б	В	Г	Д
$< 0,20$	100 - 42,9	2,4 ²⁾ - 57,1	-	-	-
0,20-0,45	33,3 - 7,1	76,2 - 31,0	2,4 ³⁾ - 59,5	2,4 ⁴⁾	-
0,46-0,70	4,8	28,6 - 4,8	61,9 - 23,8	4,8 - 59,5	2,4 ⁵⁾ - 19,0
$> 0,70$	-	-	21,4 - 4,8	59,5 - 14,3	19,0 - 85,7

Примітки:

¹⁾ за результатами моделювання розподілу автотранспортних потоків на ВДМ на базі електричної схеми, елементи якої відображають поточні (фактичні) параметри ділянок доріг та організацію руху на ВДМ;

²⁾ рівень зручності руху «Б» виникає при $z (J_{in}, J_{out}) = 0,12$;

³⁾ рівень зручності руху «В» виникає при $z (J_{in}, J_{out}) = 0,24$;

⁴⁾ рівень зручності руху «Г» виникає при $z (J_{in}, J_{out}) = 0,38$;

⁵⁾ рівень зручності руху «Д» виникає при $z (J_{in}, J_{out}) = 0,55$.

На рисунку 4.11 для модельованого фрагменту ВДМ наводиться профіль розподілу рівнів зручності руху, який відображає у мережі для різного рівня завантаженості ділянок вхідних та вихідних автотранспортних потоків (в моделі це вхідні та вихідні джерела струми – J_i^{in} і J_i^{out} відповідно) сукупність елементарних ділянок, що характеризуються різним рівнем зручності руху (від рівня зручності «А» до рівня зручності «Д»). Наведені результати одержані на основі електричного моделювання розподілу автотранспортних потоків і відповідних розрахунків на базі електричної моделі-аналога відповідного фрагменту мережі, елементи якої відображають поточні параметри ділянок доріг та організацію руху на мережі.

Отримано результати, які вказують на те, що при рівнях завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків від 0,38 і вище в мережі з'являються ділянки з рівнем завантаженості 0,70 (див. рисунок 4.12), що відповідає рівню зручності руху «Г», а при рівні завантаженості 0,69, що відповідає верхній границі рівня зручності руху «В» – близько 80% ділянок усієї досліджуваної мережі характеризуються як ділянки з рівнем зручності руху «Г» і «Д» (див. рисунок 4.13).

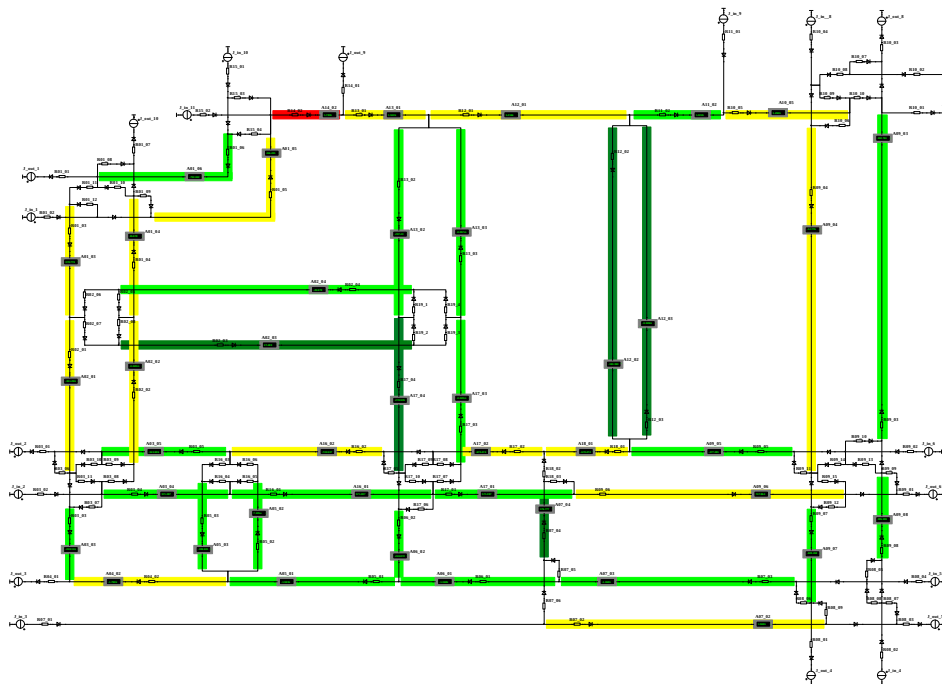


Рисунок 4.12 – Розподіл ділянок у електричній схемі фрагменту ВДМ за рівнем зручності руху при $z (J_{in}, J_{out}) = 0,38$.

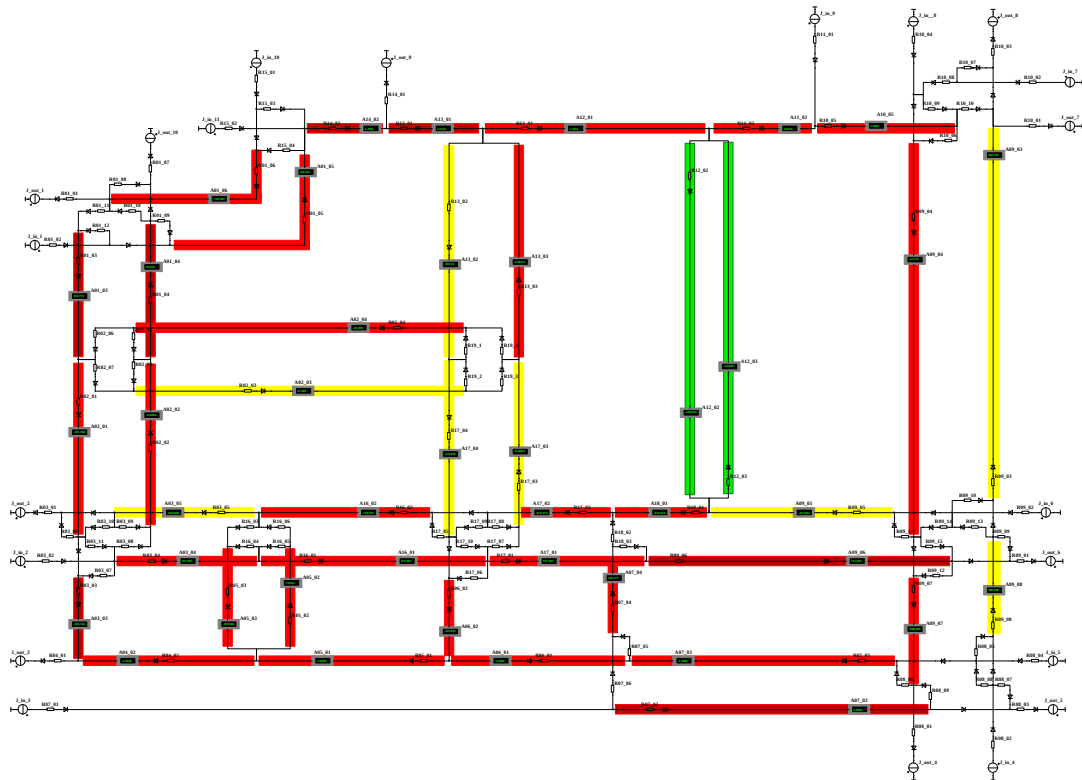


Рисунок 4.13 – Розподіл ділянок у електричній схемі фрагменту ВДМ за рівнем зручності руху при z (J_{in}, J_{out}) = 0,69.

Як відомо [139], при такому рівні завантаженості автомобілі рухаються із зупинками внаслідок стану автотранспортного потоку близького до затору. При цьому, встановлено, що пропускна здатність даного фрагменту ВДМ, за умови що рівень завантаженості її ділянок не перевищує 0,7, становить приблизно 4900 авт./год. при наявній схемі організації руху.

За результатами електричного моделювання (див. рисунок 4.11 або таблиця 4.6) встановлено, що:

- при рівні завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків – **0,00÷0,20 (рівень зручності «А»)** розподіл ділянок (за рівнем зручності руху) відбувається між двома рівнями зручності («А» і «Б») – частка ділянок з рівнем зручності «А» варіюється в межах 100-42,9 %; з рівнем зручності «Б» – 2,4-57,1%.

- при рівні завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків – **0,20÷0,45 (рівень зручності «Б»)** розподіл ділянок відбувається між

рівнями зручності «А» ÷ «Г». Частка ділянок з рівнем зручності «А» варіюється в межах 33,3-7,1 %; з рівнем зручності «Б» – 76,2-31,0 %; з рівнем зручності «В» – 2,4-59,5%; з рівнем зручності «Г» складає 2,4%. Встановлено, що ділянки з рівнем зручності «Г», з'являються при завантаженості $\geq 0,38$;

- при рівні завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків – **0,45÷0,70 (рівень зручності «В»)** розподіл ділянок відбувається між рівнями зручності «А» ÷ «Д». Частка ділянок з рівнем зручності «А» складає 4,8% (при завантаженості 0,48 і вище ділянки з рівнем зручності «А» відсутні); з рівнем зручності «Б» варіюється в межах 28,6-4,8 %; з рівнем зручності «В» – 61,9-23,8 %; з рівнем зручності «Г» – 4,8-59,5%; з рівнем зручності «Д» – 2,4-19,0%. При цьому, слід відмітити суттєве зменшення частки ділянок з рівнем зручності «Б», збільшення частки ділянок з рівнем зручності «Г» та виникнення ділянок з рівнем зручності «Д» (при рівнях завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків $\geq 0,55$);

- при рівні завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків – **0,70÷1,00 (рівень зручності «Г» і «Д»)** розподіл ділянок відбувається між рівнями зручності «В» ÷ «Д». Частка ділянок з рівнем зручності «В» становить 21,4-4,8% (при завантаженості $\geq 0,86$ ділянки з рівнем зручності «В» відсутні); з рівнем зручності «Г» – 59,5-14,3%; з рівнем зручності «Д» – 19,0-85,7%

4.3.2 Управління і оптимізація функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі

Цільовою функцією оптимізації автотранспортних потоків є максимізація пропускної здатності ВДМ, яка залежить від рівня завантаженості її ділянок. Задача щодо підвищення пропускної здатності ВДМ є класичною задачею оптимізації щодо максимального потоку на мережі через перерозподіл рівнів завантаженості її ділянок.

Оптимізація досягається шляхом перерозподілу автотранспортних потоків на ділянках ВДМ з метою розвантаження перевантажених ділянок для забезпечення більш повного і рівномірного завантаження ВДМ міста в цілому.

Головний ефект при цьому буде полягати в підвищенні швидкості руху на перевантажених ділянках і в цілому на мережі, зниженні собівартості перевезень і аварійності на вулицях та дорогах міста. Перерозподіл автотранспортних потоків з метою розвантаження перевантажених ділянок мережі дозволить зменшити затримки руху на ділянках ВДМ. При цьому очевидним є те, що на перевантажених ділянках завжди буде відбуватися зниження затримок, а на недовантажених збільшення затримок може і не відбуватися в силу наявних резервів пропускної здатності цих елементів мережі. З огляду на це можна припустити, що і в цілому в мережі буде відбуватися зниження сумарних затримок руху.

Задача оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ має наступний вид:

$$\begin{cases} f(z_1, z_2, \dots, z_n) \rightarrow \max \\ J^{in} - J^{out} = 0 \\ 0 \leq z_i \leq 0,7. \end{cases} \quad (4.29)$$

де $f(z_1, z_2, \dots, z_n)$ – пропускна здатність ВДМ, яка залежить від рівнів завантаженості ділянок ВДМ $z_1, z_2, \dots, z_n$;

J^{in}, J^{out} – інтенсивність руху на ділянках вхідних та вихідних автотранспортних потоків відповідно.

$$z_i = \frac{J_i}{P_i} \in (0, 1), \quad (4.30)$$

де J_i – змодельована інтенсивність руху автотранспортного потоку на i -ій ділянці ВДМ; P_i – пропускна здатність i -ої ділянки ВДМ.

Як відомо, при $z \rightarrow 1$ спостерігається висока щільність автотранспортних потоків, знижується швидкість, умови руху ускладнюються.

При $z > 0,7$ відбувається граничне насичення потоку. Експлуатація вулиць і доріг при такому рівні завантаженості є недоцільною [13, 139].

Пошук оптимального варіанту заходів щодо максимізації використання пропускної здатності міської ВДМ здійснюється в середовищі комп'ютерної

програми-симулятора електричних схем NI Multisim шляхом перебору та порівняння всіх можливих варіантів за встановленим критерієм.

Припущення оптимізації:

- ВДМ з кінцевою кількістю елементарних ділянок і перехресть може бути представлена електричною схемою, кожна гілка якої складається з опору і послідовно з'єднаного ідеального діода; зібраною відповідно до заданих планувальних умов ВДМ, з урахуванням дозволених напрямків руху на ділянках і в місцях перетину доріг (у випадку зміни дорожніх умов по довжині елементарної ділянки вводяться додаткові ділянки);

- ділянки доріг з двостороннім рухом у електричній схемі можуть розглядатися як елементи, що мають окремі проїзні частини, що відокремлені одна від іншої розділювальною смугою;

- сумарний вхідний і сумарний вихідний автотранспортні потоки для модельованої ВДМ (в моделі – сумарні вхідні і сумарні вихідні струми) є однаковими, тобто виконується закон збереження;

- оптимізація проводиться за умови виключення виникнення форс-мажорних ситуацій на ділянках і перехрестях відповідної ВДМ, зокрема, таких як ДТП;

- при електричному моделюванні розподілу автотранспортних потоків на ВДМ у добовому інтервалі часу зміна величини інтенсивності руху вхідних і вихідних автотранспортних потоків розглядається з дискретністю часу, що відповідає або перевищує тривалості знаходження автомобілів на відповідній мережі, що дозволить уникнути впливу технічних засобів регулювання дорожнього руху (світлофорне регулювання) на характер зміни величини інтенсивності автотранспортних потоків на ділянках ВДМ та забезпечить проведення коректного моделювання;

- при моделюванні великих ВДМ (фрагментів мережі) основні об'єкти тяжіння транспортних потоків (в межах відповідної ВДМ, такі як паркінги, торгово-розважальні центри тощо) можуть бути представлені в електричній схемі-

аналога ВДМ як внутрішні джерела струму з від'ємним або додатнім знаком в залежності від періоду моделювання та характерних для даного періоду умов.

Для врахування періодичних збурень або факторів, які виникають на ВДМ, зокрема таких, як виникнення ДТП на певних ділянках мережі, у відповідних гілках електричної схеми значення опору перераховується або прямує до досить великого значення в залежності від ситуації, при цьому розподіл автотранспортних потоків на ВДМ за результатами моделювання буде мати принципово інший характер відповідно до даної ситуації і умов.

Оптимізація автотранспортних потоків на основі електричного моделювання здійснюється шляхом управління внутрішніми і зовнішніми параметрами системи [149].

Внутрішні параметри – це параметри проїзної частини ділянок ВДМ, схема організації дорожнього руху на ділянках та в місцях перетину доріг (у тому числі режими світлофорного регулювання).

При цьому можуть проводитися наступні заходи:

- заборона паркування на проїзній частині окремих ділянок ВДМ (для тих ділянок, на яких є можливим проведення подібного заходу);
- перепланування перехресть та транспортних розв'язок;
- організація одностороннього та реверсивного руху;
- вибір оптимальних схем та алгоритмів світлофорного регулювання.

До зовнішніх параметрів відносяться інтенсивності руху транспорту на ділянках вхідних/вихідних автотранспортних потоків відповідної ВДМ (фрагменту мережі), параметри проїзної частини даних ділянок та організація руху на них. Здійснюючи контроль за величиною інтенсивності руху на ділянках вхідних/вихідних автотранспортних потоків відповідної ВДМ (фрагменту мережі) можна підтримувати на мережі оптимальну завантаженість ділянок, і тим самим забезпечувати на ВДМ безпечні і комфортні умови руху.

Таким чином, з огляду на попередні результати електричного моделювання (на базі електричної схеми, елементи якої відображали поточні (фактичні) параметри ділянок доріг та організацію руху на ВДМ) було проведено

оптимізацію функціонування автотранспортних потоків, на підставі якої встановлено, що пропускна здатність даного фрагменту мережі в цілому може бути підвищена на 32%, до показника 6800 авт./год., зокрема за рахунок більш повного використання автомобілями (виключно для руху) ширини проїзної частини перевантажених ділянок. При цьому встановлено, що ділянки з граничним рівнем завантаженості ($z > 0,70$), в межах даного фрагменту ВДМ, будуть виникати при рівні завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків від 0,52 і вище.

На рисунку 4.14 та в таблиці 4.7 для модельованого фрагменту ВДМ представлено розподілу рівнів зручності руху, що отримано за результатами моделювання та відповідних розрахунків (4.30) на базі модифікованої електричної моделі-аналога відповідного фрагменту мережі.

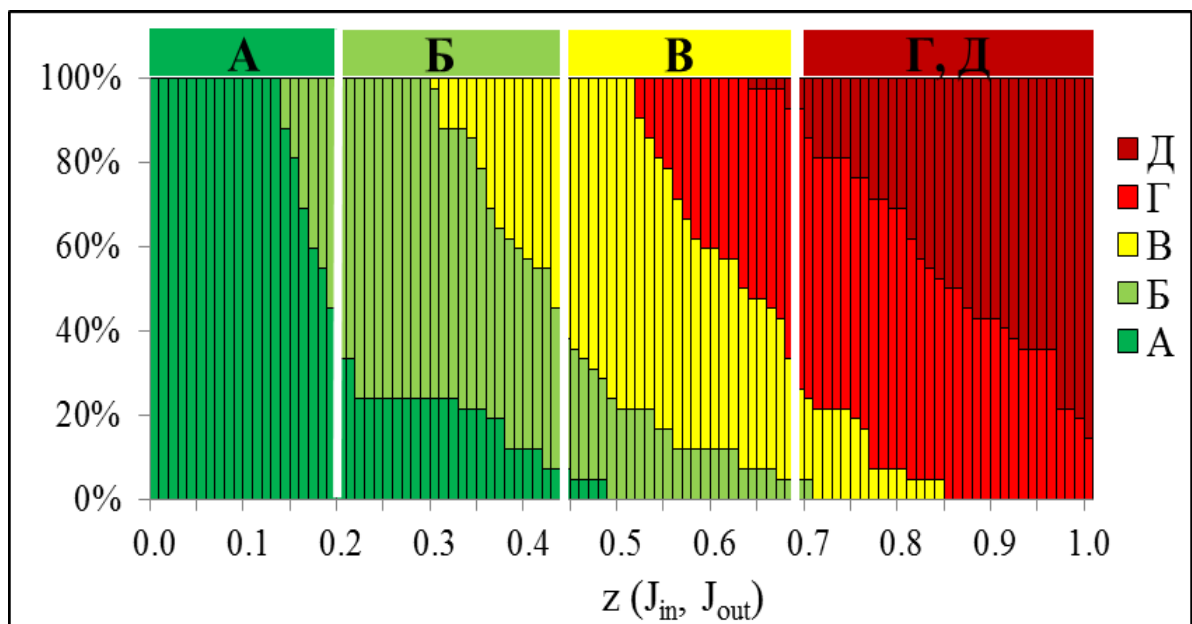


Рисунок 4.14 – Розподіл рівнів зручності руху для модельованого фрагменту вулично-дорожньої мережі

Зокрема, на підставі зміни параметрів проїзної частини окремих ділянок відповідної мережі, а саме – щодо кількості смуг руху проїзної частини, фактично відведених для руху автомобілів і пропускної здатності цих смуг, в окремих гілках електричної схеми було виконано перерахунок опорів (R_{01_05} , R_{03_03} , R_{05_02} , R_{05_03} , R_{07_04} , R_{09_06} , R_{10_05} , R_{13_01} та R_{14_02}). З точки зору змін в організації руху на

ділянках ВДМ, такий перерахунок опорів відображає заборону паркування автомобілів на відповідних ділянках ВДМ, тобто смуги руху, які раніше відводилися для паркування, відтепер було залучено, виключно, для руху.

Таблиця 4.7 – Розподіл рівнів зручності руху для модельованого фрагменту ВДМ¹⁾

z (J_{in} , J_{out})	Розподіл рівнів зручності руху, %				
	А	Б	В	Г	Д
< 0,20	100-45,2	11,9 ²⁾ - 54,8	-	-	-
0,20-0,45	33,3 - 7,1	76,2 - 31,0	2,4 ³⁾ - 61,9	-	-
0,46-0,70	4,8	31,0-4,8	78,6-21,4	9,8 ⁴⁾ - 66,7	2,4 ⁵⁾ - 7,1
> 0,70	-	4,8	21,4 - 4,8	64,3-14,3	14,3 - 85,7

Примітки:

¹⁾ за результатами моделювання та оптимізації розподілу автотранспортних потоків на ВДМ на базі електричної схеми зі зміненими параметрами;

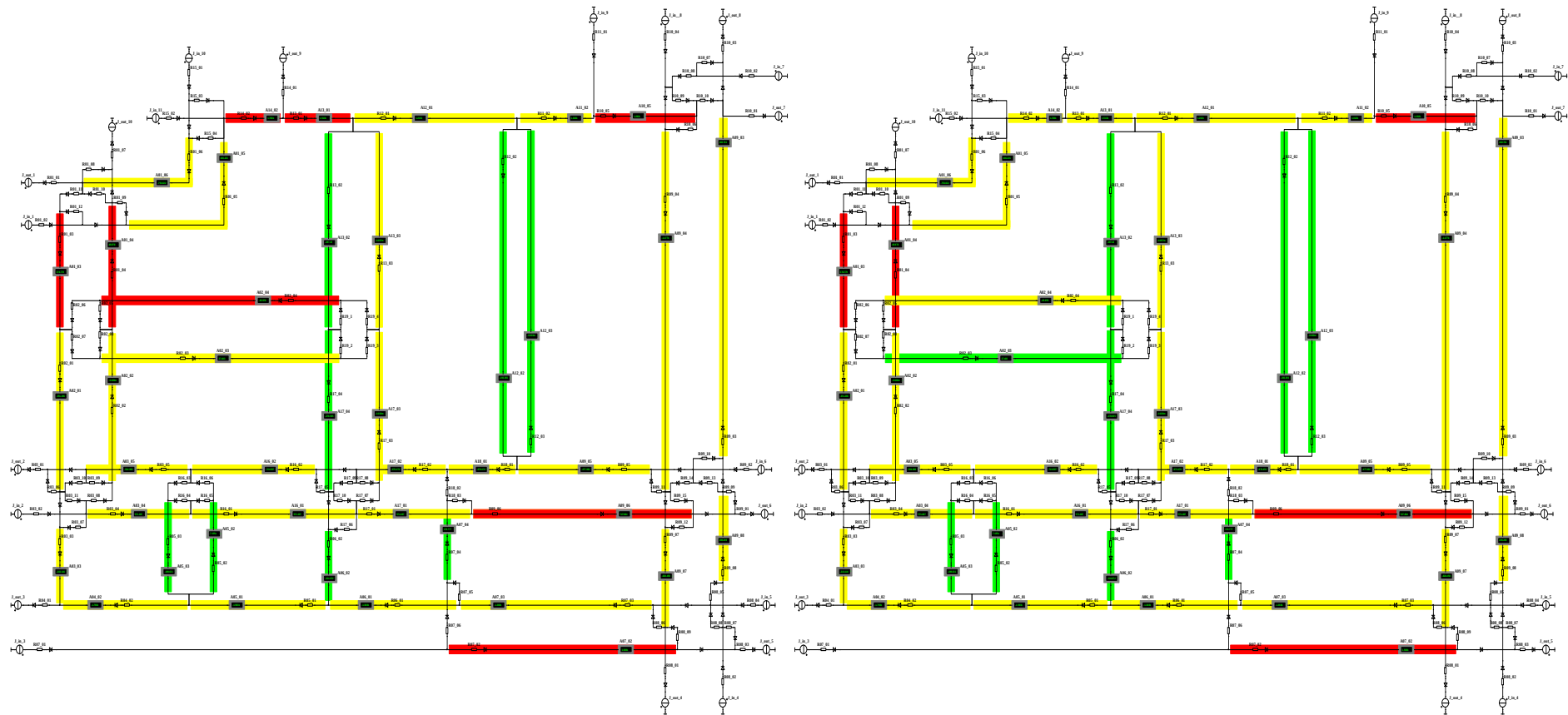
²⁾ рівень зручності руху «Б» виникає при $z(J_{in}, J_{out}) = 0,14$;

³⁾ рівень зручності руху «В» виникає при $z(J_{in}, J_{out}) = 0,30$;

⁴⁾ рівень зручності руху «Г» виникає при $z(J_{in}, J_{out}) = 0,52$;

⁵⁾ рівень зручності руху «Д» виникає при $z(J_{in}, J_{out}) = 0,64$.

Розподіл ділянок у електричній схемі фрагменту ВДМ за рівнем зручності руху при $z(J_{in}, J_{out}) = 0,52$ до оптимізації та після її проведення представлено на рисунку 4.15.



а)

б)

Рисунок 4.15 – Розподіл ділянок у електричній схемі ВДМ за рівнем зручності руху при $z (J_{in}, J_{out}) = 0,52$:

а – до оптимізації; б – після оптимізації

За результатами електричного моделювання (див. рисунок 4.14 або таблиця 4.7) встановлено, що:

- при рівні завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків – **$0,00 \div 0,20$** (відповідає рівню зручності «А») частка ділянок з рівнем зручності «А» варіюється в межах 100-45,2 %; з рівнем зручності «Б» – 11,9-54,8%; ділянки з рівнем зручності «В», «Г», «Д» відсутні.

- при рівні завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків – **$0,20 \div 0,45$** (відповідає рівню зручності «Б») частка ділянок з рівнем зручності «А» варіюється в межах 33,3 - 7,1 %; з рівнем зручності «Б» – 76,2 - 31,0 %; з рівнем зручності «В» – 2,4-61,9%; ділянки з рівнем зручності «Г», «Д» відсутні.

- при рівні завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків – **$0,45 \div 0,70$** (відповідає рівню зручності «В») частка ділянок з рівнем зручності «А» складає 4,8%; з рівнем зручності «Б» варіюється в межах 31,0-4,8 %; з рівнем зручності «В» – 78,6-21,4 %; з рівнем зручності «Г» – 9,8-66,7% (з'являються при рівні завантаженості $\geq 0,52$); з рівнем зручності «Д» – 2,4-7,1% (з'являються при рівні завантаженості $\geq 0,64$).

- при рівні завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків – **$0,70 \div 1,00$** (відповідає рівню зручності «Г», «Д») ділянки з рівнем зручності «А» відсутні; частка ділянок з рівнем зручності «Б» складає 4,8% (виключно при рівні завантаженості 0,70); з рівнем зручності «В» варіюється в межах 21,4 - 4,8% (при завантаженості 0,7-0,84); з рівнем зручності «Г» – 64,3-14,3 %; з рівнем зручності «Д» – 14,3-85,7%.

Разом з тим, знайти рішення, щоб при $z(J_{in}, J_{out}) \geq 0,52$ для модельованого фрагменту ВДМ виконувалася умова оптимізації (4.29) не вдалося навіть при розгляді сценаріїв, які передбачали радикальні зміни щодо організації дорожнього руху на даній ВДМ (перепланування окремих перехресть, організація одностороннього руху на ділянках, зміна параметрів циклу світлофорного регулювання). Результати, у всіх випадках такого моделювання, показували, що при $z(J_{in}, J_{out}) \geq 0,52$, зниження рівня завантаженості на окремих перевантажених

ділянках ВДМ буде одночасно супроводжуватися перевантаженням інших ділянок мережі. Це, вірогідно, вказує на те, що рішення такої задачі виходить за межі даного фрагменту ВДМ.

4.3.3 Моделювання (відтворення) поточного рівня завантаженості вулично-дорожньої мережі автотранспортними потоками

У цьому пункті наведено результати моделювання (відтворення) завантаженості ВДМ автотранспортними потоками (для активного періоду доби, на прикладі досліджуваного фрагменту ВДМ), що реалізується за допомогою електротехнічної аналогової моделі [39, 107, 133] з використанням аналітичного веб-сервісу «Яндекс. Затори» для відтворення величини вхідних/вихідних автотранспортних потоків, оцінки точності та достовірності результатів електричного моделювання.

Аналітичний веб-сервіс «Яндекс. Затори» надає інформацію стосовно завантаженості вулиць і доріг за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке встановлюється водіями на особистий мобільний телефон чи кишеньковий персональний комп'ютер. Програма в автоматичному режимі визначає (за допомогою GPS) місце положення водія і надсилає на сервер Яндекс інформацію про поточні координати автомобіля, напрямок та швидкість його переміщення. Аналогічну інформацію Яндекс отримує від своїх партнерів та компаній, які мають парк автомобілів, обладнаних GPS-приймачем і модемом.

При отриманні інформації від водіїв, сервер розраховує середню швидкість на окремих ділянках та опубліковує її на відповідній карті офіційного сайту Яндекс. Завантаженість вулиць і доріг на карті відображається у вигляді бордового, червоного, жовтого та зеленого забарвлення окремих ділянок ВДМ (відповідно: затори – бордовий або червоний колір, дорога відносно вільна – жовтий, дорога повинністю вільна – зелений). Інформацію у вигляді кількісних показників завантаженості вулиць і доріг (у тому числі інтенсивності руху автотранспорту на ділянках) веб-сервіс не надає.

В таблиці 4.8 представлено рівні завантаженості вулиць і доріг за відомою градацією веб-сервісу «Яндекс. Затори», зокрема для кожного рівня градації наводиться індикатор завантаженості, характерні швидкості руху та відповідні дорожні умови (за даними веб-сервісу «Яндекс. Затори» [175]), межі варіації коефіцієнта завантаженості дороги.

Таблиця 4.8 – Показники завантаженості вулиць і доріг для аналітичного веб-сервісу «Яндекс. Затори»

Позначення ¹⁾	Індикатор завантаженості ²⁾	V^3 , км/год	Z^4	Дорожні умови [175]
	зелений	> 30	0,00-0,42	Вулиця (дорога) вільна.
	жовтий	15-30	0,42-0,74	Швидкість руху, вища, ніж на вільній вулиці (дорозі).
	червоний	5-15	0,74-0,85	Затор.
	бордовий	0-5	0,85-1,00	Затор (рух перекрито).

Примітки:

¹⁻³⁾ за даними веб-сервісу «Яндекс. Затори» (межі варіації швидкості руху за кожною градацією встановлено під час відстеження завантаженості доріг на веб-сервері) [175];

⁴⁾ за результатами експерименту.

Межі варіації коефіцієнта завантаженості для веб-сервісу «Яндекс. Затори» було встановлено під час експерименту, в рамках якого проводилися натурні спостереження за інтенсивністю руху на ділянках відповідного фрагменту ВДМ (у тому числі відстеження дорожньої ситуації за допомогою дорожнього порталу «Відеопробки», <http://videoprobki.ua/uk>) з одночасним відстеженням на веб-сервісі «Яндекс. Затори» зміни забарвлення індикатору завантаженості та швидкості руху на ділянок ВДМ.

За даними веб-сервісу «Яндекс. Затори» щодо завантаженості ВДМ м. Києва протягом активного періоду доби, і даними таблиці 4.8, для досліджуваного фрагменту мережі було відтворено інтенсивності руху на ділянках вхідних/вихідних автотранспортних потоків, величину якої було уточнено шляхом проведення натурних спостережень за автотранспортними потоками на відповідних ділянках ВДМ.

Електричне моделювання розподілу автотранспортних потоків (за інтенсивністю руху) проводилося на базі електричної схеми-аналога фрагменту

ВДМ, елементи якої відображають поточні (фактичні) параметри ділянок доріг та організацію руху на мережі. За результатами моделювання для кожної ділянки мережі було встановлено рівень завантаженості автотранспортними потоками, показники якого приведені до аналогічних показників завантаженості вулиць (доріг) аналітичного веб-сервісу «Яндекс. Затори» (див. таблицю 4.8) та представлено на рисунку 4.16 а, у вигляді карти завантаженості ВДМ автотранспортними потоками. Для оцінки точності і достовірності отриманих результатів електричного моделювання на веб-сервісі «Яндекс. Затори» було зроблено скриншот завантаженості відповідного фрагменту ВДМ автотранспортними потоками, що є характерною для активного періоду доби.

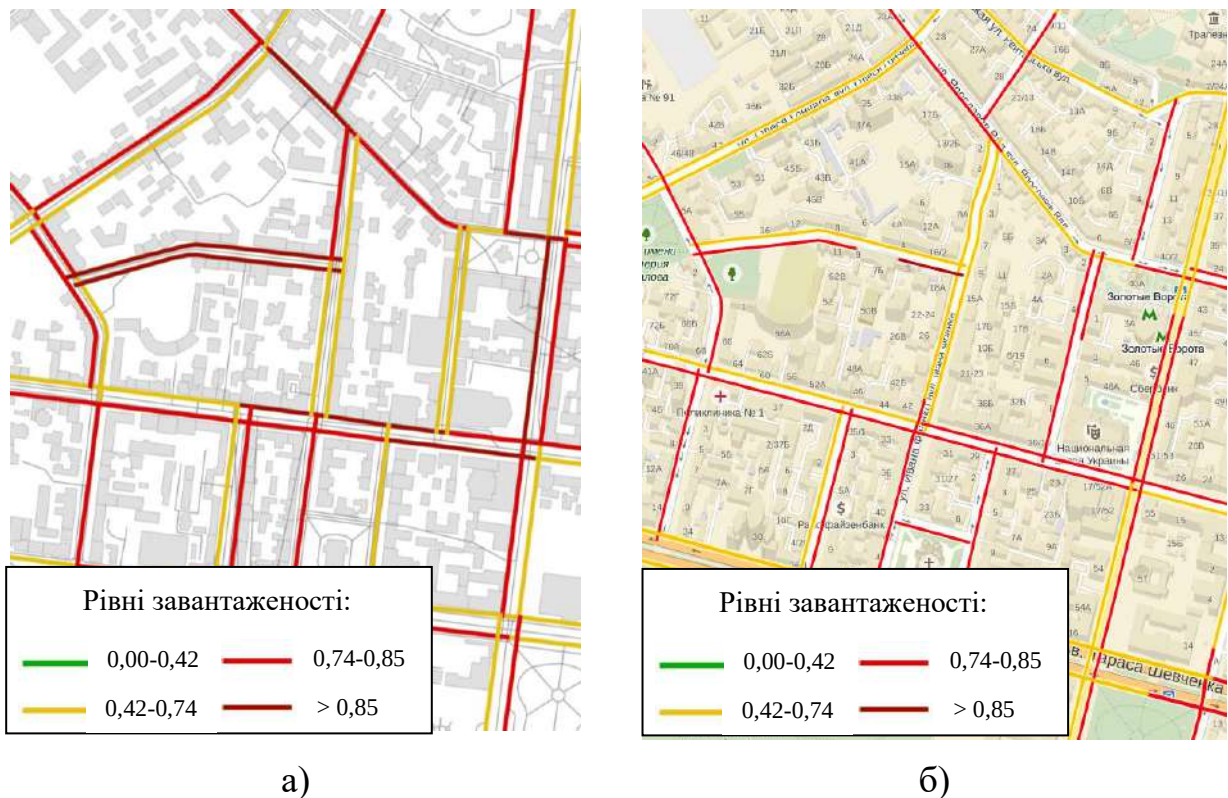


Рисунок 4.16 – Завантаженість фрагменту ВДМ автотранспортними потоками: а – за результатами електричного моделювання; б – за даними веб-сервісу «Яндекс Затори»

Між показниками завантаженості ділянок ВДМ, що були отримані за результатами електричного моделювання та показниками за даними веб-сервісу «Яндекс Затори» встановлено коефіцієнт кореляції, який становить – 0,86, і вказує на сильний зв'язок між відповідними показниками. Крім того, достовірність

результатів електричного моделювання підтверджують дані спостереження за інтенсивністю руху автотранспортних потоків, що проводилися на окремих ділянках ВДМ (розбіжність не перевищила 20%).

Розподіл ділянок за рівнем зручності і безпеки руху (див. таблицю 4.5) має наступний вигляд: частка ділянок з рівнем зручності «В» складає 24%, з рівнем зручності «Г» – 62%, з рівнем зручності «Д» – 24%. Ділянки з рівнем зручності «А» і «Б» на мережі відсутні.

4.4 Модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах

Результати проведеного дослідження дозволили запропонувати модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ (рисунок 4.17), яка передбачає здійснення трьох логічно пов'язаних між собою етапів [49, 150].

На першому етапі вирішується задача щодо формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ міста. Вирішення цієї задачі передбачає виконання таких послідовних дій:

- розбиття ВДМ міста на елементи (вулиці та дороги) за категоріями відповідно до чинної класифікації вулиць і доріг [50, 51];
- формування однорідних груп елементарних ділянок вулиць і доріг з подібними груповими структурними ознаками;
- знаходження репрезентативних елементарних ділянок за параметрами розподілу індивідуальної структурної ознаки в межах сформованих однорідних груп.
- розбиття елементів (вулиць і доріг) на елементарні ділянки з фіксованими структурними ознаками;

Інформативність мережі моніторингу значною мірою залежить від варіації ознак елементарних ділянок за якими формуються однорідні групи, міри відповідності параметрів проїзної частини доріг до нормативів, обсягу вибірки репрезентативних елементарних ділянок тощо.

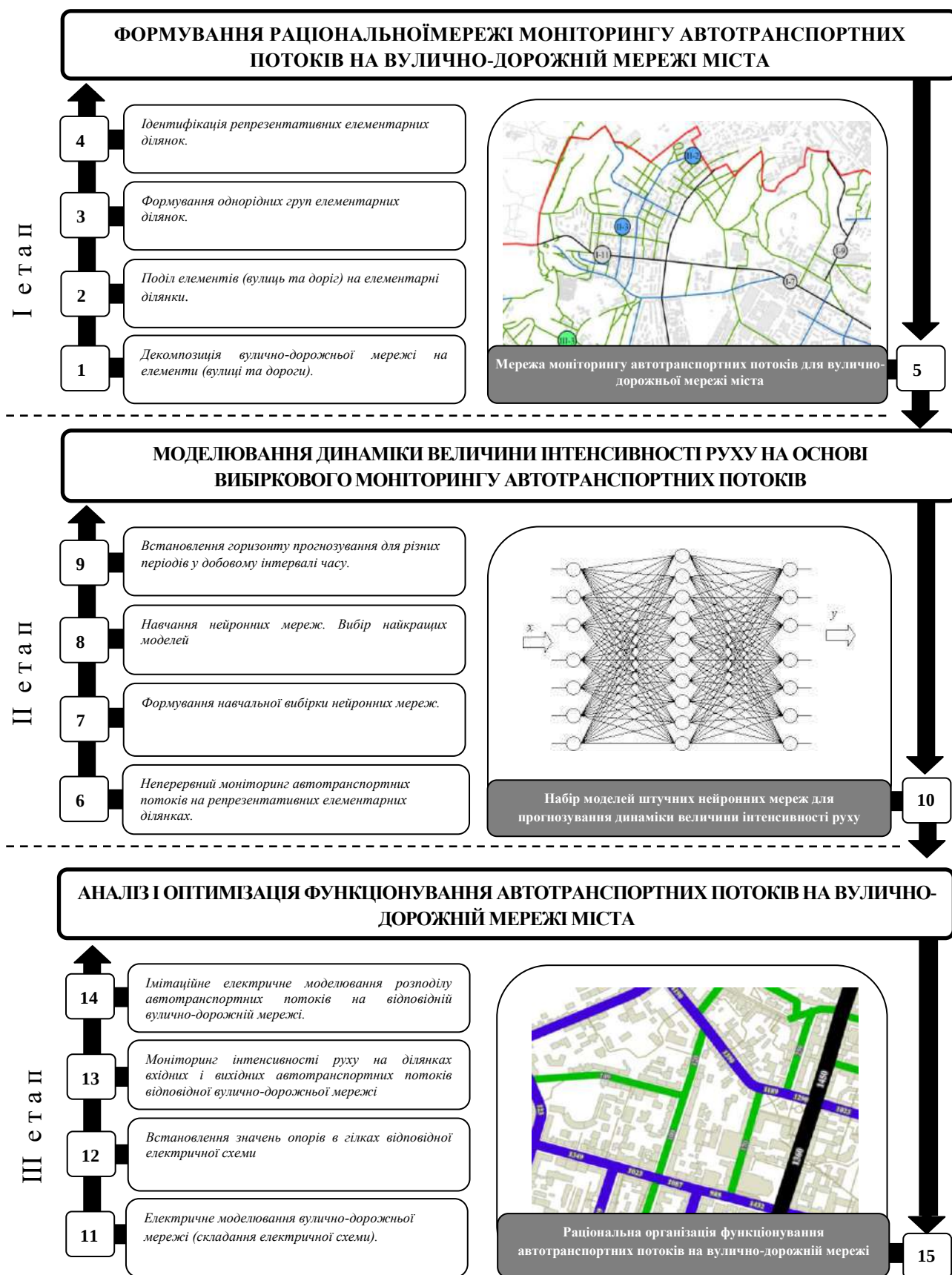


Рисунок 4.17 – Модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах

На другому етапі раціональної організації розробляються математичні моделі нейронних мереж (НМ) для моделювання динаміки величини інтенсивності руху на основі вибіркового моніторингу автотранспортних потоків. Вирішення цієї задачі, зокрема, передбачає:

- збір даних про динаміку величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на репрезентативних ділянках ВДМ (проведення моніторингу автотранспортних потоків);
- підготовку і первинну обробку даних (видалення циклічних закономірностей, нормування тощо), формування навчальної вибірки НМ;
- навчання НМ різної конфігурації. Вибір найкращих моделей;
- оптимізацію вибіркового моніторингу і прогнозування динаміки величини інтенсивності руху.

Як відомо [12], застосування НМ дає кращий результат за умови наявності великого масиву первинних вихідних даних (навчальної вибірки НМ) між якими існують неявні взаємозв'язки і закономірності. З огляду на це, збір емпіричних даних необхідно здійснювати на протязі якомога більшого періоду часу, при цьому забезпечувати (за можливості) неперервність обстеження автотранспортних потоків, що дозволить в достатньому обсязі накопичувати інформацію щодо зміни (динаміки) величини інтенсивності руху автотранспортних потоків; далі – інтерпретувати інформацію в емпіричний часовий ряд інтенсивності та використовувати, в якості навчальної вибірки, що враховує багатоваріантність динаміки величини інтенсивності руху на репрезентативних елементарних ділянках відповідної ВДМ, для розроблення якісних моделей НМ.

Розроблення моделей НМ для моніторингу та прогнозування величини і характеру зміни інтенсивності руху на ділянках вхідних та вихідних автотранспортних потоків відповідної ВДМ дозволить при проведенні електричного імітаційного моделювання розподілу автотранспортних потоків на ВДМ приймати найбільш ефективні рішення щодо забезпечення раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста в залежності

від поточного стаціонарного стану ВДМ (виникнення ДТП, проведення ремонтних робіт, перекриття руху тощо) та результатів прогностичних оцінок щодо наповнення мережі автотранспортними потоками.

На третьому етапі забезпечується раціональна організація функціонування автотранспортних потоків у містах на основі імітаційного електричного моделювання ВДМ та автотранспортних потоків. Цей рівень передбачає, зокрема:

- складання електричної схеми-аналога ВДМ (фрагменту мережі) відповідно до параметрів конфігурації структурних елементів і організації дорожнього руху на ділянках та в місцях перетину доріг відповідної мережі;

- визначення значень опорів у гілках електричної схеми за результатами аналізу поздовжньо-поперечних характеристик проїзної частини ділянок відповідної ВДМ (фрагменту мережі);

- перевірку електричної схеми ВДМ (фрагменту мережі) на її здатність адекватно відображати розподіл автотранспортних потоків у мережі шляхом порівняння модельних оцінок величини інтенсивності руху на окремих ділянках мережі з експериментальними даними;

- імітаційне електричне моделювання і оптимізація розподілу автотранспортних потоків (за інтенсивністю руху) на відповідній ВДМ (фрагменту мережі) за різними сценаріями управління.

Основним призначенням імітаційної електротехнічної аналогової моделі є максимізація вхідних та вихідних автотранспортних потоків на ВДМ, тобто збільшення їх пропускної здатності. Однак за допомогою цієї моделі також можна оцінити зміни в просторі і часі основних характеристик автотранспортних потоків на ВДМ і виробити механізм управління ними, зокрема шляхом проведення серії імітаційних експериментів у середовищі симулятора електричних схем із заданою в часі дискретністю зміни величини інтенсивності руху вхідних і вихідних автотранспортних потоків.

Імітаційна електротехнічна аналогова модель [39, 107, 133] в цілому може стати важливою складовою аналізу міських транспортних систем, як інструмент,

що дозволить забезпечити досягнення таких основних цілей і вирішення таких основних взаємопов'язаних завдань, як:

- визначення завантаженості ВДМ автотранспортними потоками (встановлення розподілу автотранспортних потоків за інтенсивністю руху на ділянках ВДМ, у тому числі з урахуванням прогнозованих оцінок щодо наповнення мережі автотранспортними потоками);
- визначення ділянок ВДМ з надмірною завантаженістю автотранспортними потоками та розроблення комплексу заходів щодо її усунення;
- оптимізація параметрів циклу світлофорного регулювання на ділянках і вузлах ВДМ з надмірною завантаженістю автотранспортними потоками;
- оцінка наслідків введення нових інфраструктурних об'єктів (дороги, мости, тунелі тощо), у тому числі – пріоритетів будівництва та програм розвитку міста;
- оцінка ефективності введення інвестицій в проекти з розвитку та розбудови ВДМ (визначення та реалізація пріоритетних проектів);
- розроблення заходів щодо зменшення негативного впливу автомобільного транспорту в містах на навколишнє природнє середовище [99, 100, 134];
- та інше.

Необхідність проведення імітаційного моделювання обумовлена також тим, що впровадження, на перший погляд, ефективних заходів щодо удосконалення існуючої схеми організації і регулювання дорожнього руху на певній ділянці ВДМ не може гарантувати їх ефективність з точки зору функціонування всієї ВДМ (або окремого фрагменту) без наглядної картини щодо стану дорожньої ситуації на мережі, тобто і на суміжних ділянках відповідної ВДМ (або окремого фрагменту), як результату впливу впроваджених заходів.

З огляду на це, пропозиції і рекомендації щодо доцільності впровадження будь-яких заходів з раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ повинні супроводжуватися коректною аргументацією і обґрунтуванням на основі попереднього аналізу результатів імітаційного моделювання за різними сценаріями організації і регулювання дорожнього руху на ВДМ (або окремого фрагменту); у тому числі – з урахуванням прогнозних

оцінок щодо функціонування ВДМ і автотранспортних потоків у різні періоди доби, і характерною для цих періодів величиною інтенсивності руху.

Вироблення і впровадження заходів, пов'язаних з удосконаленням існуючої схеми організації і регулювання дорожнього руху на ВДМ повинні бути спрямовані, у першу чергу (пріоритетно), на підвищення пропускної здатності головних транспортних артерій міста – магістральних вулиць і доріг з найбільш інтенсивним рухом і завантаженістю.

Вибір пріоритетних заходів щодо забезпечення раціональної організації функціонування автотранспортних потоків як на окремих ділянках доріг, так і на ВДМ міста в цілому необхідно проводити з урахуванням рівнів завантаженості доріг автотранспортними потоками та умов дорожнього руху. З огляду на це, раціональна організація функціонування автотранспортних потоків на ВДМ може досягатися шляхом впровадження наступних заходів з організації і регулювання дорожнього руху на проблемних та потенційно проблемних ділянках доріг (з точки зору надмірного завантаження цих ділянок автотранспортними потоками):

- оптимізація параметрів циклу світлофорного регулювання на перехрестях (збільшення тривалості зеленого сигналу в напрямі основного потоку);

- удосконалення схеми організації руху (заборона лівих поворотів, введення одностороннього руху на окремих вулицях, організації реверсивного руху на магістралях, заборона паркування на проїзній частині, організація систем позавуличного паркування.

- впровадження автоматизованих систем управління дорожнього руху тощо.

Разом з тим, слід зазначити, що одним із важливих аспектів задачі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ є її розгляд із позиції забезпечення гнучкості щодо врахування станів потоків та їх можливих змін на ділянках ВДМ, і лише потім, з огляду на це, необхідно орієнтуватися на доцільність впровадження тих чи інших заходів.

На нашу думку, найбільш ефективними є ті заходи, які можуть зберігати свою ефективність при різних рівнях завантаженості доріг. Це може бути, зокрема впровадження систем адаптивного світлофорного регулювання, при якому в

залежності від рівня завантаженості доріг змінюється тривалість циклу регулювання (сигналізація), або організація реверсивного руху на підставі чого для перевантаженого напрямку руху (в години «пік») може виділятися додаткова смуга руху проїзної частини. Крім того, доцільним також може бути модернізація окремих ділянок доріг підйомно-опускними розділювальними бар'єрами, які дозволять для перевантажених напрямків руху виділяти достатню кількість смуг руху на проїзній частині або використовувати ділянку виключно для одностороннього руху у певний період доби.

4.5 Висновки до розділу 4

1. На основі виявлених аналогій в закономірностях функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста та перебігу процесів в електричних колах запропоновано імітаційну електротехнічну аналогову модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста та способи реалізації моделі.

2. На прикладі кварталу ВДМ Шевченківського району м. Києва проведено верифікацію електротехнічної аналогової моделі. Отримані результати вказують на те, що модель коректно описує функціонування автотранспортних потоків на ВДМ, у випадку коли в гілках електричної схеми аналога ВДМ задається величина «фактичного» опору. Оскільки цей опір розраховується за реальними параметрами проїзної частин ділянок відповідної ВДМ, це дозволяє в електричній схемі мережі відтворювати умови функціонування автотранспортних потоків, що максимально наближені до реальних (похибка моделювання в масштабі кварталу не перевищувала 10%).

3. На прикладі фрагменту ВДМ Шевченківського району м. Києва, що включає 40 елементарних ділянок (з них 13 ділянок – це ділянки вхідних/вихідних автотранспортних потоків) розглянуто ключові аспекти електричного моделювання і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста. За результатами електричного моделювання на базі електричної схеми-

аналога фрагменту ВДМ, елементи якої відображають поточні (фактичні) параметри ділянок доріг та організацію руху на ВДМ встановлено, що при рівнях завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків від 0,38 і вище в мережі з'являються ділянки з рівнем завантаженості 0,70, що відповідає рівню зручності руху «Г», а при рівні завантаженості 0,69, що відповідає верхній границі рівня зручності руху «В» – близько 80% ділянок усієї досліджуваної мережі характеризуються як ділянки з рівнем зручності руху «Г» і «Д». При цьому встановлено, що пропускна здатність даного фрагменту ВДМ, за умови що рівень завантаженості її ділянок не перевищує 0,7, становить приблизно 4900 авт./год. при даній схемі організації руху.

4. Проведено оптимізацію розподілу автотранспортних потоків (за інтенсивністю руху), на підставі якої встановлено, що пропускна здатність даного фрагменту мережі в цілому може бути підвищена на 32%, до показника 6800 авт./год., зокрема за рахунок більш повного використання автомобілями (виключно для руху) ширини проїзної частини перевантажених ділянок. При цьому встановлено, що ділянки з граничним рівнем завантаженості ($z > 0,70$), в межах даного фрагменту ВДМ, будуть виникати при рівні завантаженості ділянок вхідних/вихідних автотранспортних потоків від 0,52 і вище.

5. Проведено моделювання (відтворення) поточного рівня завантаженості ВДМ автотранспортними потоками. Встановлено коефіцієнт кореляції між показниками завантаженості ділянок ВДМ, що були отримані за результатами електричного моделювання та показниками за даними веб-сервісу «Яндекс Затори», який становить – 0,86, і вказує на сильний зв'язок між відповідними показниками. При цьому розбіжність між результатами моделювання і даними натурних спостережень за інтенсивністю руху автотранспортних потоків, що проводилися на окремих ділянках мережі не перевищувала 20%.

6. Розроблено модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах, яка передбачає здійснення трьох логічно пов'язаних між собою етапів, кожен з яких включає серію послідовних дій для

вирішення певної локальної задачі, результати розв'язку якої використовуються для вирішення задачі наступного етапу.

Результати досліджень даного розділу викладено у наступних публікаціях [38 - 41].

ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих підходів, методів і моделей раціональної організації та оптимізації функціонування автотранспортних потоків у містах дозволив виявити низку невирішених питань, зокрема, в частині формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ міста, прогнозування зміни (динаміки) величини інтенсивності руху на основі вибіркового моніторингу автотранспортних потоків та моделювання завантаженості ВДМ в умовах обмеженості реальної і доступної статистичної інформації.

2. Розвинуто метод кластерного аналізу для опису структури ВДМ міста, який дозволяє суттєво зменшити розмірність досліджуваної множини елементів (вулиць і доріг) шляхом знаходження у ВДМ однорідних кластерів за відповідними структурними ознаками цих елементів. Цей метод дозволяє провести ідентифікацію типових елементів вихідної множини за їх особливими ознаками, і може бути ефективним засобом опису структури ВДМ для вивчення структурних і функціональних особливостей мережі, виявлення проблемних ділянок доріг, а також пошуку шляхів, що забезпечать ефективне функціонування автотранспортних потоків на ВДМ.

3. Розроблено метод формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків, що містить в собі покрокову ітераційну процедуру знаходження репрезентативних елементарних ділянок ВДМ, у межах яких рекомендується облаштування стаціонарних постів спостереження. Виявлено, що інформативність мережі моніторингу значною мірою залежить від варіації факторних ознак елементарних ділянок (за якими формуються однорідні групи – структурна конфігурація, параметри проїзної частини ділянок), міри відповідності фактичних параметрів вулиць і доріг до нормативної документації, обсягу вибірки репрезентативних елементарних ділянок. Даний метод було розглянуто на прикладі ВДМ Шевченківського району міста Києва, для якої були знайдені репрезентативні ділянки, що зменшують розмірність досліджуваної множини елементів ВДМ приблизно у 15 разів.

4. Розвинуто метод прогнозування динаміки величини інтенсивності автотранспортних потоків на основі моделювання відповідних процесів із застосуванням нейронних мереж, який дозволяє побудувати прогноз зміни інтенсивності, як в окремі моменти часу, так і протягом певного періоду доби. Оптимальна тривалість періоду спостереження за інтенсивністю автотранспортних потоків (період моніторингу) становить 1 година, а період прогнозування, для якого забезпечується достовірність прогнозу, у більшості випадків, складає до 30 хвилин, незалежно від величини інтенсивності руху автотранспортного потоку. Відносна похибка прогнозування не перевищувала 20%.

5. Удосконалено імітаційну електротехнічну аналогову модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ міста та запропоновано способи її реалізації. Отримано результати, які вказують на те, що модель коректно описує функціонування автотранспортних потоків на ВДМ у випадках, коли в гілках електричного аналога ВДМ задається величина опору, що визначається за реальними (фактичними) параметрами проїзних частин відповідних ділянок мережі. Відносна похибка результатів електричного моделювання у масштабі міського кварталу не перевищила 10%, у масштабі фрагменту ВДМ, до складу якої, входять 40 елементарних ділянок, – 20%.

6. Розроблено модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах, яка базується на електротехнічній аналоговій моделі та методах формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків і моделювання динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на ВДМ. Аналіз стану ВДМ в рамках цієї моделі дозволяє знаходити найбільш ефективні рішення щодо забезпечення раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ в залежності від поточного стаціонарного стану ВДМ (виникнення ДТП, проведення ремонтних робіт, перекриття руху тощо) та результатів прогнозних оцінок щодо наповнення мережі автотранспортними потоками. Ця модель може стати важливою складовою (доповненням) до опису функціонування міських транспортних

систем, зокрема в частині забезпечення підтримки управління розвитком та регулювання процесів функціонування автотранспортних потоків на ВДМ, підвищення ефективності використання систем управління дорожнього руху тощо.

Результати досліджень прийняті до використання (впровадження) у ДП «ДержавтотрансНДІпроект», ДП «ДерждорНДІ», ТОВ «Інститут комплексного проектування об'єктів будівництва» та у навчальному процесі Національного транспортного університету.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамова Л.С. Напрямки розвитку сучасного управління дорожнім рухом. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху»*: тези доповідей. Харків: ХНАДУ, 2013. С.34-36.
2. Абрамова Л.С., Чернобаев Н.С., Ширин В.В. Моделирование параметров транспортного потока. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2004. Вып. 6 (12). С. 213-215.
3. Абрамова Л.С., Ширин В.В. Формализация параметров движения автотранспортных средств при движении в плотном потоке. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. Донецьк, 2011. №3. С. 4-11.
4. Агафонов А.А. Математические модели и адаптивные методы краткосрочного прогнозирования параметров дорожного движения: дис. канд. техн. наук: 05.13.18. Самара, 2014. 164 с.
5. Агафонов А.А., Сергеев А.В., Чернов А.В. Прогнозирование параметров движения городского пассажирского транспорта по данным спутникового мониторинга. *Компьютерная оптика*. Самара, 2012. том 36. № 3. С. 453-458.
6. Астратов О.С., Филатов В.Н., Чернышова Н.В. Видеомониторинг транспортных потоков. *Информационно-управляющие системы*. Санкт-Петербург, 2004. Вып. №1. С.14-21.
7. Бараз В.Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel: учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. 102 с.
8. Бекмагамбетов М.М., Кочетков А.В. Анализ современных программных средств транспортного моделирования. *Журнал автомобильных инженеров*. Москва, 2012. № 6 (77). С. 25-34.
9. Белов Ю.В., Толоч А.В., Куевда Д.В., Дехтярьова Ю.М., Ершков А.Э. Предмет теории выборочного метода обследования интенсивности движения транспорта на сети городских улиц и дорог. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту: науковий журнал*. Донецьк, 2011. № 2. С. 4-12.

10. Бируля А.К. Курс автомобильных дорог: учебник для автодор. ин-тов. Т. 6. Эксплоатация автомобильных дорог. Москва: Дориздат, 1945. 316 с.
11. Білоус А.Б., Могила І.А., Крамажевський Я.Р. Прогнозування інтенсивності руху з використанням часових рядів. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. Донецьк, 2011. №3. С. 12-20.
12. Боровиков В. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
13. Булавина Л.В. Расчет пропускной способности магистралей и узлов: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям и дипломному проектированию по курсам: «Городской транспорт», «Городские улицы и дороги». Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 50 с.
14. Буреева Н.Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП «STATISTICA». Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и преподавании математики и механики». Нижний Новгород, 2007. 112 с.
15. Ваймень А.Ю., Пихлак А.Ю. Об определении среднегодовой суточной интенсивности движения на местных дорогах Эстонской ССР. *Труды Таллиннского политехнического института*. Таллинн, 1970. № 292. С. 3-10.
16. Ваксман С.А. До питання внутрішньогодинної нерівномірності завантаження мережі магістральних вулиць. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ: Будівельник, 1980. Вип. 27. С. 88-90.
17. Ваксман С.А., Кислицын С.С. Выборочный метод обследования интенсивности уличного движения. *Проблемы градостроительства на Урале и Сибири*. Свердловск: УПИ, 1969. Вып. 169. С. 83-89.
18. Валеев С.Г., Клячкин В.Н. Практикум по прикладной статистике: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2008. 129 с.
19. Вальц В.К. Возможности применения выборочного метода для определения интенсивности движения и структуры транспортных потоков на городских улицах. *Проблемы городского транспорта*. Київ, 1966. С. 12-16.
20. Викманис Э.К., Лилисон В.Я., Поздеев В.А. Учет движения на дорогах

Латвии. *Автомобильные дороги и аэродромы*. 1968. № 9. С. 9-10.

21. Временные технические условия проектирования шоссейных и мощеных дорог магистрального и местного типа. 1917.

22. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения в двух частях. Минск.: Белорусский фонд организации дорожного движения, 1996. 328 с.

23. Всемирный доклад о предупреждении дорожно-транспортного травматизма: резюме: Всемирная организация охраны здоровья. URL: <http://www.who.int/publications/list/9241562609/ru>.

24. Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения. Москва: Транспорт, 1980. 190 с.

25. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К., Лановий О.Т., Линник І.Е., Поліщук В.П. Основы теории систем і управління. Київ: Знання України, 2005. 344 с.

26. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф., Доля В.К. Організація дорожнього руху. Київ: Знання України, 2007. 452 с.

27. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. Москва: МФТИ, 2010. 362 с.

28. Генеральный план розвитку м. Києва та його приміської зони до 2025 року (проект). URL: <http://kga.gov.ua/generalnij-plan/genplan2025> (дата звернення: 10.09.2016).

29. Григоров М.А. Аналіз методів прогнозування інтенсивностей дорожнього руху. *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту*. Горлівка: АДІ ДонНТУ, 2007. № 2 (5). С. 73-76.

30. Григоров М.А., Дашченко А.Ф., Усов А.В Проблемы моделирования и управления движением транспортных потоков в крупных городах: Моногр. Одеса: Астропринт, 2004. 269 с.

31. Григоров М.А. Інформаційне забезпечення для моделювання та керування транспортними потоками у великих містах: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.06. Одес. нац. політехн. ун-т. Одеса, 2005. 18 с.

32. Григоров М.А., Лобашов О.О., Прасоленко О.В. Оцінка характеристик руху транспортних потоків у найкрупніших містах з урахуванням мережі парковки. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2008. С. 137-140.

33. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.22.01. Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків, 2009. 39 с.

34. Гук В.И. Основы теории функциональных параметров и критериев транспортных потоков. *Global Journal of Researches In Engineering: F.General Engineering*. Volume 13 Issue1 (Ver. 1.0). URL: https://globaljournals.org/GJRE_Volume13/4-Fundamentals-of-the-theory-of-functional.pdf (дата звернення: 11.09.2016).

35. Гук В.И. Теорія функціональних параметрів і критеріїв оцінки станів руху транспортних потоків на міських вулицях і дорогах: автореферат дис. д-ра техн. наук: 05.23.20. Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. Київ, 2010. 36 с.

36. Гук В.И., Шкодовський Ю.М. Транспортні потоки: теорія та її застосування в урбанізації: монографія. Харків: Золоті сторінки, 2009. 232 с.

37. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електричне моделювання автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2016. С. 73.

38. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електричне моделювання міських автотранспортних потоків. *Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ»: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків, 2015. №46. С.109-114. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/18902>.

39. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2010. № 21 (2). С. 28-32.

40. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електротехнічна модель розподілу транспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. Київ, 2011. Вип. 8. С. 45-49.
41. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання мережі наземних шляхів сполучення. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2013. Вип.88. С.3-9.
42. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Класифікація структурних елементів вулично-дорожньої мережі методами кластерного аналізу. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ: НТУ, 2012. Вип. 85. С. 124-130.
43. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Багатомірне моделювання структурних взаємозв'язків вулично-дорожньої мережі. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ: НТУ, 2012. С. 75-76.
44. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Класифікація вулиць та доріг за допомогою статистичних методів (на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Києва) *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ: НТУ, 2014. С. 68.
45. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Мережа моніторингу автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі великого міста. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. № 30 (1). С. 86-94.
46. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Нейромережевий метод прогнозування параметрів дорожнього руху. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей*. Київ: НТУ, 2015. С. 82.
47. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Прогнозування динаміки

інтенсивності автотранспортних потоків. *Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Systems and means of motor transport. Selected problems*. 2014. Monografianr 5. Seria: TRANSPORT. Rzezów. P. 231-238.

48. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Система класифікації елементів вулично-дорожньої мережі міста. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харків, 2013. Вып. 63. С. 111-116.

49. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Системна модель оптимізації функціонування автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2017. С. 87-88.

50. ДБН 360-92**. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. – Київ: Мінбудархітектури України, 2002. 140 с.

51. ДБН В.2.3-5-2001 «Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів». Київ: Держбуд України, 2001. – 51 с.

52. Девятков В.В., Алфимцев А.Н. Отслеживание движущихся объектов для мониторинга транспортного потока. *Труды 34-й Конференции «Информационные технологии и системы»* Геленджик: ИППИ им. А.А. Харкевича РАН, 2011. С. 31-36.

53. Декина А.И. Обзор программных средств планирования и моделирования транспортных потоков. *Сборник трудов конференции ИТСuT-2015: тезисы доклада*. Кемерово, 2015. URL: <https://sibscience.ru/page/ITSIT-2015/ITSIT/3-Prikladnye-informacionnye-tehnologii/3015.pdf> (дата звернення: 03.10.2016).

54. Демин Н.М., Рейцен Е.А. Опыт разработки вопросов обеспечения безопасности дорожного движения в градостроительном проектировании. *Сб. матер. Междунар. научно-практической конференции «Сучасні шляхи боротьби за безпеку дорожнього руху»*. Киев, 2004. С. 25-28.

55. Дзюба О.П., Павловська О.М. Розробка концепції динамічного адаптивного світлофорного регулювання дорожнього руху на перехрестях.

Автошляховик України. Київ, 2013. № 2. С. 14-17.

56. Доля В.К., Лобашов О.О., Бурко Д.Л. Закономірності зміни рівня автомобілізації в Харкові. *Вісник НТУ «ХПІ»: Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Автомобіле- та тракторобудування»*. Харків, 2010. № 1. С.160-163.

57. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. Москва: Транспорт, 1976. 424 с.

58. Дубовой В.М., Ковалюк О.О. Стійкість процесу керування транспортною мережею міста. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2006. № 6. С. 106-111.

59. Душник В.Ф. Заспокоєння руху в центральних частинах міст стримуванням транспортних потоків: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.01. Київ: НТУ, 2003. 20 с.

60. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ: пер. с англ. Е.З. Демиденко под ред. и с предисл. А.Я. Боярского. Москва: Статистика, 1977. 128 с.

61. Електронний архів Донецького національного технічного університету (ДонНТУ м. Покровськ). URL: http://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/27666/14/ТСОДД_Лекция_8.pdf.

62. Енглезі І.П. Ефективність координованого управління транспортними потоками: автореф.дис.на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи». Київ, 2004. 21 с.

63. Єгоршин О.О., Малярець Л.М., Сінкевич Б.В. Довідник з математичної статистики з прикладами обчислень у Matlab: навчально-практичний посібник. Ч. 2. Харків: Вид. ХНЕУ, 2009. 508 с.

64. Єресов В.І., Гртор'єва О.В. Затори в транспортній проблемі великих міст. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2011. № 24(2). С. 153-157.

65. Єресов В.І. Гртор'єва О.В. Шляхи дослідження стійкості транспортного потоку. *Управління проектами, системний аналіз і логістика: технічна серія*. Київ 2013. Вип. 12. С. 73-79.

66. Инструкция по непосредственному учету движения на автомобильных дорогах. Москва: Дориздат., 1951. 9 с.
67. Калинина В.Н., Соловьев В.И. Введение в многомерный статистический анализ: учебное пособие. Москва: ГУУ, 2003. 66 с .
68. Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б. Управление транспортными потоками в городах. Москва: Транспорт, 1985. 144 с.
69. Кац А.В. Распределение часовой интенсивности движения автомобилей в течение года. *Автомобильные дороги*. 1970. № 2. С. 21-22.
70. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения. Учеб. для вузов: 5-е изд., перераб. и доп. Москва, Транспорт, 2001 247 с.
71. Кожемяко М.В. Методика учета и определения суточной интенсивности движения. *Автомобильные дороги и аэродромы*. 1969. № 6. С. 22-23.
72. Кокорева А.В. Гидродинамические модели автотранспортных потоков: автореф. дис. канд. техн. наук: 01.02.05. Москва, 2008. 16 с.
73. Коноплянко В.И. Организация и безопасность дорожного движения. Москва: Транспорт, 1991. 183 с.
74. Копылов Г.А., Блинкин М.Я. Новый метод учета движения с использованием многократных выборок. *Автомобильные дороги и аэродромы*. 1971. № 10. С. 9-10.
75. Копылов Г.А. К вопросу об учете на автомобильных дорогах. *Транспортный государственный дорожный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт*. 1970. Вып.1. С. 43-48.
76. Копылов Г.А. Исследование и совершенствование учета движения на автомобильных дорогах: автореф. дис.канд.техн.наук. Москва, 1974. 29 с.
77. Копылов Г.А. Разработка основ автоматизированной системы сбора и обработки информации о движении транспортных потоков по автомобильным дорогам. *Труды МАДИ*. Москва, 1972. Вып. 44. С. 60-67.
78. Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. Технические средства организации дорожного движения: учеб. для вузов. Москва: ИКЦ «Академкнига», 2005. 279 с.

79. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. Москва: Транспорт, 1990. 255 с.

80. Крылов Ю.С. Режимы движения и пропускная способность автомобильных дорог. *Автомобильные дороги*. Москва, 1959. Вып. 6. С. 16-18.

81. Курант Р. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 1. 4-е изд, перераб. доп. Москва: Наука, 1967. 704 с.

82. Курач Т.М., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Картографічне забезпечення системи моніторингу автотранспортної мережі великого міста. *Вісник геодезії та картографії*. Київ, 2014. № 6. С. 6-10.

83. Кущенко С.В. Повышение эффективности организации движения на основе моделирования транспортных потоков: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. тех. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта». Орел, 2012. 20 с.

84. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Головных И.М. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. 208 с.

85. Лившиц В.В. Математическая модель случайно-детерминированного выбора и ее применение для расчета трудовых корреспонденций. Автоматизация процессов градостроительного проектирования. 1973. С. 39-57.

86. Лобанов Е.М. и др. Пропускная способность автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1970. 152 с.

87. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: Учебник для студентов вузов. Москва: Транспорт, 1990. 240 с

88. Лобашов О.О., Прасоленко О.В. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху»: навч. посіб. Харків.: ХНАМГ, 2011. 221 с.

89. Менделев Г.А. Закономерности изменения во времени интенсивности городского автомобильного движения: дис. канд. техн. наук: 05.23.11. Москва, 2001. 166 с.

90. Методика проведення аудиторських перевірок з безпеки дорожнього руху на стадії експлуатації автомобільних доріг загального користування: М 03450778 - 700:2012. [Чинний від 2012-01-01]. Київ: Укравтодор, 2012. 63 с.

91. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. Новосибирск: Наука, 2004. 267 с.

92. Мицель А.А., Ефремова А.А. Прогнозирование динамики цен на фондовом рынке. *Известия Томского политехнического университета*. Томск, 2006. Т.309. №8. С. 197-201.

93. Могорас А.А. Моделирование и прогнозирование транспортных потоков с помощью нечеткой временной логики. *Естественные и технические науки*; ISSN 1684-2626. Москва: «Компания Спутник+», 2009. №1 С. 283-289.

94. Морозов И.И., Гасников А.В., Тарасов В.Н, Холодов Я.А., Холодов А.С. Численное исследование транспортных потоков на основе гидродинамических моделей. *Компьютерные исследования и моделирование*. 2011. Т. 3. № 4. С. 389-412.

95. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных: под редакцией В.П. Боровикова. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Горячая линия – Телеком, 2008. 392 с.

96. Обследования транспортных потоков и прогнозирование нагрузки сети городских улиц и дорог (Пособие П2-99 к СНБ 3.03.02-97). Разработчики: «Белниипроградостроительства» – Глик Ф.Г., Брандин С.А., Борисик И.С.-Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1999, 56 с.

97. Олейников Е.С. О применении несплошных методов обследования. *Городской транспорт и организация городского движения: тезисы докладов научно-технической конференции*. Свердловск, 1973. С. 72-76.

98. Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Класифікаційний аналіз вулично-дорожньої мережі мегаполісу. *Матеріали доповідей VII Міжнародної XVIII Традиційної науково-практичної конференції «Екологічний інтелект – 2012»*: тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. С. 189-190.

99. Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Оцінка поля забруднення атмосферного повітря автотранспортом. *Матеріали доповідей VII Міжнародної XVIII Традиційної науково-практичної конференції «Екологічний інтелект – 2012»*:

тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. С. 26-27.

100. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання поля забруднення вулично-дорожньої мережі міста. *Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Екологічний інтелект – 2011»*: тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. С.57-58.

101. Олійник Р.В. Тарабан С.М. Моделювання транспортних потоків розгалуженими електричними колами. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 77.

102. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Прогнозування мікроскопічних особливостей транспортних потоків часовими рядами. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 77.

103. Олійник Р.В. Тарабан С.М. Управління транспортними потоками міста на основі електротехнічної моделі. *Науково-практична конференція, приурочена 100-річчю з дня народження Юрія Юркевича*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 28.

104. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации: пер. с польского И.Д. Рудинского. Москва: Финансы и статистика, 2004. 344 с.

105. Очеретенко С.В. Організація міського руху в умовах високої автомобілізації. *Комунальне господарство міст: збірник наукових праць. Серія «Технічні науки і архітектури»*. 2009. № 88. С. 285-290.

106. Пат. 85069 Україна, МПК G08G 1/00, G05B 17/00. Спосіб регулювання та завантаження вулично-дорожньої мережі міста транспортними потоками / Данчук В.Д., Карандаков Г.В., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2013 05607; заявл. 30.04.2013; опубл. 11.11.2013, бюл. № 21.

107. Пат. 86586 Україна, МПК E01C 1/00. Аналогова модель транспортної системи / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2013 06237; заявл. 20.05.2013; 10.01.2014, Бюл. № 1.

108. Пат. 95712 Україна, МПК В60W 40/00. Спосіб вибіркового моніторингу просторово-часового розподілу автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2014 02495; заявл. 13.03.2014; опубл. 12.01.2015, Бюл.№ 1.

109. Пат. 96168 Україна, МПК В60W 40/00. Спосіб оцінки завантаженості вулично-дорожньої мережі міста автотранспортними потоками / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u201402497; заявл. 13.03.2014; опубл. 26.01.2015, Бюл.№ 2.

110. Пат. 108878 Україна, МПК Е 01 С 1/00, G 08 G 1/00. Спосіб електричного аналогового моделювання вулично-дорожньої мережі міста / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Кривенко В.І., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u201510118; заявл. 16.10.2015; опубл. 10.08.2016, Бюл.№ 15.

111. Петров В.В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах: Учебное пособие. Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. 104 с.

112. Печерский М.П., Хорович Б.Г. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах. Москва: Транспорт, 1979. 176 с.

113. Полищук В.П. Автоматизированное управление движением на автомобильных дорогах: автореферат дис. доктора технических наук: 05.22.01. Киев, 1996. 41 с.

114. Поліщук В.П., Бакуліч О.О., Дзюба О.П., Єресов В.І. та ін. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник. Київ: Знання України, 2012. 468 с.

115. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. Київ: Знання України, 2008. 175 с.

116. Поліщук В.П., Красильнікова О.В., Дзюба О.П. Транспортне планування міст: підручник: за заг. ред. В.П. Поліщука. Київ: Знання України, 2014. 371 с.

117. Понкратов Д.П. Розподіл транспортних кореспонденцій по альтернативних шляхах прямування: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.01.–

Харків: Харк. нац. акад. міськ. госп-ва., 2007. 21 с.

118. Попов В.Л. Оценка точности и объема информации выборочных систем учета движения автомобилей. *Проектирование автомобильных дорог*. Новосибирск, 1978. С. 170-175.

119. Правила по ремонту и содержанию автомобильных дорог общесоюзного значения. Москва: Дориздат Гушосдора НКВД СССР. 1944.

120. Прокудин Г.С. Моделі та методи оптимізації вантажних перевезень в транспортних системах: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.22.01. Київ: НТУ, 2009. 44 с.

121. Протодяконов А.В., Швец С.Е. Фомин А.Н. Оценка эффективности светофорного регулирования на перекрестке при использовании адаптивной нейро-нечеткой системы управления. *Научная сессия МИФИ. Материалы конференции «Нейроинформатика – 2010»*. Москва, 2010. ч.1. С. 208-217.

122. Пугачев И.Н. Организация и безопасность движения: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во Хабар. Гос. техн. ун-та, 2004. 232 с

123. Пугачев И.Н. Проблемы развития систем управления движением в г.Хабаровске. Хабаровск: Хабар. гос. техн. ун-т, 2003. 8 с.

124. Пузиков А.В. Методика определения интенсивности движения по результатам краткосрочных наблюдений: дис. канд. техн. наук: 05.23.1. Волгоград, 2006. 141 с.

125. Рейцен Е.А. Надежность обследований интенсивности движения в городах. *Градостроительство*. Киев, 1983. Вып. 35. С. 87-90.

126. Рейцен Е.А. Особенности проектирования и внедрения АСУД в Украине. URL: <http://waksman.ru/Russian/Konference/2012/CaptV.pdf>.

127. Рейцен Е.А. Проведение обследований интенсивности движения транспорта в городах Украины. *Проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: материалы XI межд. науч.-практ. конф.* Екатеринбург, 2005. С. 109-112.

128. Рейцен Е.А., Рыжков А.А., Олейников Е.С., Леонтович В.В. Применение выборочного метода при обследовании интенсивности движения

транспорта на подходах к городам. *«Градостроительство»*. вып. *«Внешний транспорт в планировке городов и пригородных зон»*. Кикв, 1970. С. 30-34

129. Рейцен Є.О., Толок О.В., Куєвда Д.В. Визначення тривалості вибіркового обстеження інтенсивності руху транспорту. Частина друга (початок у випуску за №43). *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2012. Вип. 44. С. 457-461.

130. Романов А.Г. Дорожное движение в городах: закономерности и тенденции. Москва: Транспорт, 1984. 80 с.

131. Рутенбург М.С., Павлова А.К., Романов М.Б. Метод определения интенсивности движения транспортных средств по выборочному учету. *Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов*. Минск: Наука и техника, 1971. С. 246-252.

132. Савченко Л.В. Підвищення ефективності прогнозування в транспортних системах потоків: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.01. Київ: НТУ, 2002. 20 с.

133. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір №39522 «Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків» / В.Д. Данчук, В.І. Кривенко, Р.В. Олійник, С.М. Тарабан (Україна). – №39732; заявл. 01.06.2011; зареєстр. 08.08.2011.

134. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір №42351 «Мережевий метод оцінки поля забруднення на прилеглих до автомагістралей територіях» / В.Д. Данчук, С.І. Сніжко, Р.В. Олійник, С.М. Тарабан (Україна). – № 42527 заявл.21.12.2011. зареєстр 21.02.2012.

135. Семенин С.В. Моделирование и алгоритмизация контроля и управления объектами транспортных потоков: автореф. дис. на соискание уч. степени кнд. тех. наук: спец. 05.13.18 «Математическое моделирование, чисеотные методы и комплексы программ». Воронеж, 2006. 24с.

136. Сигаев А.В. Автотранспорт и планировка городов. Москва: Стройиздат, 1972. 234 с.

137. Сигаев А.В. Планировочные и транспортные проблемы городских

агломерации. Москва: Стройиздат, 1978. 263 с.

138. Сигаев А.В. Проектирование улично-дорожной сети. Москва: Стройиздат, 1978. 263 с.

139. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учебник для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд., стер. Москва: Издательский центр «Академия», 2008. 352 с.

140. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организация движения. Москва: Транспорт, 1977. 304 с.

141. Ситников Ю.М. Учет особенностей смешанного движения при обеспечении безопасности движения на дорогах с двумя полосами движения. *Труды Московского автомобильно-дорожного института*. Москва, 1970. Вып.30. С. 9-19.

142. Сливак И.М., Середяк Л.М. Исследование характера распределения интенсивности движения во времени на дорогах-въездах г. Киева. *Наука и техника в городском хозяйстве*. Киев: Будівельник, 1975. С. 16-18.

143. Сливак И.М., Теренецкий К.С. О закономерности связи между часовой и суточной интенсивностью движения. *Автомобильные дороги и аэродромы*. Москва: Транспорт, 1967. № 4. С. 18.

144. Стародуб І.В. Методи містобудівної організації транспортно-планувальної системи великих міст України (на прикладі м. Рівне): автореф. дис. канд. техн. наук. Київ: Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., 2007. 20 с.

145. Стародуб І.В. Сучасна автомобілізація та транспортна інфраструктура великих міст України. *Містобудування та територіальне планування*: наук.-техн. зб. 2008. Вип. 31. С. 357-365.

146. Стародуб І.В. Тенденції зміни та прогноз умов функціонування вулично-дорожньої мережі. *Містобудування та терит. планув.* 2006. Вип. 23. С. 252-261.

147. Степанчук О.В. Особливості розвитку автомобільного транспорту в Україні. *Вісник Інженерної академії України*.-Київ, 2013. Вип.2. С. 193-198.

148. Степанчук О.В., Рейцен Є.О., Белятинський А.О. Моделювання

транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міст. *Автошляховик України*. Київ, 2009. № 6. С. 31-34.

149. Тарабан С.М. Моделювання і оптимізація функціонування автотранспорт-них потоків у вулично-дорожній мережі міста *Всеукраїнська науково-практична конференція «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів»*: тези доповідей. Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка», 2016. С. 40-42.

150. Тарабан С.М. Системна модель оптимізації функціонування автотранспортних потоків у містах. *II Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання»*: тези доповідей. Львів: Львівська політехніка, 2017. С.104-105.

151. Тарабан С.М. Сучасний стан та тенденції розвитку вулично-дорожньої мережі м. Києва. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. – Київ:НТУ, 2013. Вип.90. С. 24-32.

152. Теренецкий К.С. О расчете перспективной интенсивности движения при проектировании дорог. *Автомоб. дороги*, №8, 1959. С. 5-6.

153. Теренецкий К.С., Шуляк В.Г. Учет движения статическим методом. *Автомобильные дороги и аэродромы*. 1967. № 5. С. 10-11.

154. Технические правила по ремонту и содержанию автомобильных дорог союзного значения. Москва: Дориздат. Гушосдора МПП, 1953. 347 с.

155. Технічні правила ремонту і утримання вулиць та доріг населених пунктів. Затверджено: Наказ Мінрегіон України від 14.02.2012 року N 54, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 5 березня 2012 р. за N 365/20678.

156. Толлок А.В., Фесенко Д.В., Куевда Д.В. Основы теории выборочного метода обследования интенсивности движения транспорта на сети городских улиц и дорог. *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту*. Горлівка: ДВНЗ «ДонНТУ» АДІ, 2011 № 2 (13). С. 73-81.

157. Толстиков Н.П., Ивасик В.Б. Определение интенсивности движения статистическим методом. *Автомобильные дороги*. Москва, 1988. № 10. С. 8.

158. Трушевський В.Е. Удосконалення світлофорного регулювання при

організації руху за окремими напрямками: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.01. Київ: НТУ, 2015. 20 с.

159. Хабаров В.И., Хомяков С.Г., Молодцов Д.О. Марковская модель транспортных корреспонденций. *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. Томск, 2012. № 1 (25), ч. 1. С. 113-117.

160. Хабутдинов Р.А. Системное формирование технологий автомобильных перевозок по критериям энерго- и ресурсоотдачи: дис. д-ра техн. наук: 05.22.01. Київ: НТУ, 2003. - 333 с.

161. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. Москва: Мир, 1966. 286 с.

162. Хомяк Я.В., Санников Ю.И. и др. Автоматическая регистрация параметров транспортных потоков. *Автомобильные дороги*. Москва, 1970. № 9. С. 11.

163. Хорошилов Н.Ф. Технично-експлуатаційна оцінка основних елементів автомобільних доріг при розробці проектно-системної документації. *Труди СоюздорНИИ*. Москва: Транспорт, 1968. Вып. 19. С. 3-46.

164. Цыбенко Ю.А. Оптимальное распределение транспортных потоков по улично-дорожной сети: дис. канд. техн. наук: 05.22.10. Киев, 1984. 186 с.

165. Черепанов А.Б. Краткое историческое обозрение норм проектирования транспортных систем городов. Ч. 1. Улично-дорожная сеть. *Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния*: мат-лы и тез. док. IX междунар. научн.-прак. конф. Екатеринбург: Комвакс АМБ, 2003. С. 148-157.

166. Четверухін Б.М. Дослідження операцій в транспортних системах: част. I. Методи лінійного програмування та їх застосування. Київ: УТУ, 2000. 91 с.

167. Четверухін Б.М., Душник В.Ф., Дерех З.Д. Математична модель руху груп автомобілів, сформованих світлофорною сигналізацією на регульованому перехресті. *Безпека дорожнього руху України: науково-технічний вісник*. 2002. №

2. С. 81-93.

168. Шаповалов А.Л. Дослідження складу транспортного потоку на вулицях і дорогах міст у відповідності до правил ЄС. *Наукові нотатки*. Луцьк, 2014. Вип. 46. С. 571-575.

169. Швецов В.И. Алгоритмы распределения транспортных потоков. *Автоматика и телемеханика*. 2009. №10. С. 148-157.

170. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков. *Автоматика и телемеханіка*. 2003. № 11. С. 3-46.

171. Шелков Ю.Д. Организация дорожного движения в городах: Методическое пособие. Москва: Научно-исследовательский центр ГАИ МВД России, 1995. 143 с.

172. Шештокас В.В. Город и транспорт. Москва: Стройиздат., 1984. 176 с.

173. Шештокас В.В., Самойлов Д.С. Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах. Москва: Транспорт, 1987. 207 с.

174. Шутеев Э.И., Белокопытов Д.О., Димитров Д.Ф. Моделирование нелинейных электрических цепей постоянного тока для решения задачи поиска кратчайшего пути. *Труды Одесского политехнического университета*. Одеса, 2009. Вып. 2 (32). С. 88-91.

175. Яндекс. Пробки. Степень загруженности участка дороги. URL: <https://yandex.ru/support/maps/concept/stoppers.xml>.

176. Янишевский С.В. Оперативное управление реверсивным движением в автоматизированных системах управления движением: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.22.01. Киев, 1998. 20 с.

177. Ярута А.М. Удосконалення автоматизованої системи керування дорожнім рухом у містах: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.01. Харків: ХНАДУ, 2016. 21 с.

178. Algers S. Bernauer E., Boero M et al. Review of Micro-Simulation Models. SMARTTEST Project Deliverable D3. Submission Date: 8 August 1997. 66 p.

179. Altinkaya M., Zontul M. Urban Bus Arrival Time Prediction: A Review of Computational Models. *International Journal of Recent Technology and Engineering*

(IJRTE). 2013. Vol. 2. No. 4. 2013. P. 164-169.

180. Andreatta G., Romeo L. Stochastic shortest paths with recourse. *Networks*. 1988. Vol. 18. No. 3. P. 193-204.

181. Barcelo J., Casas J., Ferre J.L. and Garcia D. Telematic Applications with Microscopic Simulators: The Case with AIMSUN2. In: *Traffic and Mobility: Simulation, Economics, Environment*. Ed. by Brilon W., Huber F., Scheckenberg M., and Wallentowitz H. Springer-Verlag, 1999. P. 205-221.

182. Billinge H. Untersuchungen zur Vereinfachuhg von Querschnitte zahlungen “Strabe und Autobahn”, 1971.

183. Botma H. State-of-the-art report “Traffic Flow Models” (in Dutch). Research Report R-78–40, SWOV, 1978.

184. Box G.E., Jenkins G.M., and Reinsel G.C. Time Series Analysis: Forecasting and Control. 4th ed. Wiley, 2008. 784 p.

185. Branston D. Models of Single Lane Time Headway Distributions. *Transportation Science*. 1976. Vol. 10. P. 125-148.

186. Buckley D.J. A Semi-Poisson Model of Traffic Flow. *Transporation Science*. 1968. Vol. 2. No. 2. P. 107-132.

187. Carrothers G. An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction. *J. American Instit. Planners*. 1956. Vol. 22. P. 94-102.

188. Chatfield C. The Analysis of Time Series: An Introduction. London: Chapman and Hall. 2003. 352 p.

189. Daganzo C.F. The Cell Transmission Model, Part II: Network Traffic. *Transportation Research B*. 1995. Vol. 29. No. 2. P. 79-93.

190. Daganzo C.F. The Cell Transmission Model: A Dynamic Representation of Highway Traffic Consistent with Hydrodynamic Theory. *Transportation Research B*. 1994. Vol. 28. No. 4. P. 269-287.

191. Daganzo C.F. The Lagged Cell-Transmission Model. In: Ceder, A. (ed), *Proceedings of the 14th Internation Symposium on Transportation and Traffic Theory*. 1999. P. 81-104.

192. Esser J., Neubert L., Wahle J. and Schreckenber M. Microscopic online

Simulations of Urban Traffic. In Ceder, A. (ed), *Proceedings of the 14th International Symposium of Transportation and Traffic Theory*. Jerusalem, 1999. P. 517-534.

193. Fik T.J. Hierarchical interaction: the modeling of competing central place system. *The Annals of Regional Science*. 1988. Vol. 22. P. 48-69.

194. Fik T.J., Mulligan G.F. Spatial flows and competing central places: towards a general theory of hierarchical interaction. *Environment and Planning*. 1990. Vol. 22. P. 527-549.

195. Fotheringham A.S. A new set of spacial-interaction models: the theory of competing destinations. *Environment and Planning*. 1983. Vol. 15. P. 15-36.

196. Fotheringham A.S. Modelling hierarchical destination choice. *Environment and Planning*. 1986. Vol. 18. P. 401-418.

197. Frank M., Wolfe P. An algorithm for quadratic programming. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1956. Vol. 3. P. 95-110.

198. Helbing D. Gas-kinetic derivation of Navier-Stokes-like traffic equations. *Physical Review E*. 1996. Vol. 53. No. 3. P. 2366-2381.

199. Helbing D. Modeling Multi-lane Traffic Flow with Queuing Effects. *Physica A*. 1997. Vol. 242. P. 175-194.

200. Hoogendoorn S.P., Bovy P.H.L. A New Estimation Technique For Vehicle-Type Specific Headway Distributions. *Transportation Research Record*. 1998. Vol. 1646, P. 18-28.

201. Hoogendoorn S.P., Bovy P.H.L. Gas-Kinetic Modeling and Simulation of Pedestrian Flows. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2000. Vol. 1710. P. 28-36.

202. Hoogendoorn S.P., Bovy P.H.L. Modelling Multiple User-Class Traffic Flow. *Transportation Research B*. 2000. Vol. 34. No. 2. P. 123-146.

203. Hoogendoorn S.P., Bovy P.H.L. Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. *Transportation Research Part B*. 2004. 38 (3). P. 169-190.

204. Hoogendoorn S.P., Bovy P.H.L. State-of-the-art of vehicular traffic flow modeling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of*

Systems and Control Engineering. 2001. Vol. 215. No. 4. P. 283-303.

205. Hoogendoorn, S.P. Multiclass Continuum Modelling of Multiclass Traffic Flow. PhD. Thesis T99/5. TRAIL Thesis Series, Delft University Press. 1999.

206. Jansen G.R. New Developments in Modelling Travel Demand and Urban Systems. Saxon House. 1978. 403 p.

207. Kalman R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems. *Transactions of the ASME-Journal of Basic Engineering*. 1960. Vol. 82. P. 35-45.

208. Kerner B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory. Berlin, New York: Springer. 2009. 265 p.

209. Knight H. New algorithm can dramatically streamline solutions to the ‘max flow’ problem. *MIT News*. 2014. P. 21–26.

210. Kotsialos A., Papageorgiou M., Messmer A. Optimal Co-ordinated and Integrated Motorway Network Traffic Control. In: Ceder, A. (ed), *Proceedings of the 14th International Symposium of Transportation and Traffic Theory*. Jerusalem, 1999. P. 621-644.

211. Lebacque J.P. The Godunov scheme and what it means for first order traffic flow models. In: Lesort J.B. (ed), *Proceedings of the 13th International Symposium of Transportation and Traffic Theory*. Lyon, 1996. P. 647-677.

212. Lesniak A., Danken T., Wojdyla M. Application of Kalman Filter to Noise Reduction in Multichannel Data. *Schedae Informaticae*. 2009. Vol. 17. No. 18. P. 63-73.

213. Leutzbach W. An introduction to the theory of traffic flow. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 204 p.

214. Lighthill M.H., Whitham G.B. On kinematic waves II: a theory of traffic flow on long, crowded roads. *Proceedings of the Royal Society of London series A*. 1955. Vol. 229. P. 317-345.

215. Lin H.E., Zito R., and Taylor M.A review of travel-time prediction in transport and logistics. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2005. Vol. 5. P. 1433-1448.

216. Ludmann J. Beeinflussung des Verkehrsablaufs auf Straßen – Analyse mit

dem fahrzeugorientierten Verkehrssimulationsprogramm PELOPS. Institut für Kraftfahrwesen, Aachen, 1998.

217. Luz E.Y., Mimbela A. “Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems”, The Vehicle Detector Clearinghouse, Southwest Technology Development Institute at New Mexico State University, 2007.

218. Marshall C. Balanced Incomplete Block Statistical Technique as Applied to Highway Flow Estimation. “Traffic Engineering and Control”, 1969.

219. May A.D. Traffic Flow Fundamentals. Prentice Hall. 1990. 464 p.

220. Minderhoud MM. Supported Driving: Impacts on Motorway Traffic Flow. Delft University of Technology. 1999. 276 p.

221. Nagel K. From Particle Hopping Models to Traffic Flow Theory. *Transportation Research Record*. 1998. Vol. 1644. P. 1-9.

222. Nagel K. Particle Hopping Models and Traffic Flow Theory. *Physical Review*. 1996. Vol. 53. P. 4655-4672.

223. Padmanaban P., Vanajakshi L., and Subramanian S. Estimation of Bus Travel Time Incorporating Dwell Time for APTS Applications. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. 2009. Vol. 2. P. 955-959.

224. 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. *Transportation Research B*. 1975. Vol. 9. P. 225-235.

225. Payne H.J. FREFLO: A Macroscopic Simulation Model of Freeway Traffic. *Transportation Research Record*. 1979. Vol. 722. P. 68-77.

226. Payne H.J. Models for Freeway Traffic and Control. *Mathematical Models of Public Systems*. 1971. Vol. 1. P. 51-61.

227. PIARC: The urban road network design. Reference: 10.04.B, Routes/Roads 1991. P. 45-84.

228. PIARC: Urban road design and architecture. Reference: 10.08.B, Routes/Roads special issue II-1995. P. 51-126.

229. Prigogine I., Herman R. Kinetic Theory of Vehicular Traffic. New-York:

American Elsevier Pub. Co. 1971. 100 p.

230. Smulders S. Control of Freeway Traffic Flow by Variable Speed Signs. *Transportation Research B*. 1990. Vol. 24. P. 111-132.

231. Stouffer S.A. Intervening opportunities: a theory relating mobility and distance. *American Sociological Review*, Vol. 5, 1940. P. 845-867.

232. Treiber M., Hennecke A., and Helbing D. Derivation, properties, and simulation of a gaskinetic-based, non-local traffic model. *Physical Review E*. 1999. Vol. 59. P. 239-253.

233. Van Aerde M. INTEGRATION: A Model for Simulating Integrated Traffic Networks. Transportation System Research Group. Queen's University, Kingston, Ontario. 1994.

234. Van Arem B., Hogema J.H. The microscopic simulation model MIXIC 1.2. TNO-INRO Report 1995–17b, Delft. 1995.

235. Vanajakshi L., Subramanian S., Sivanandan R. Travel time prediction under heterogeneous traffic conditions using global positioning system data from buses. *Intelligent Transport Systems*. 2009. Vol. 3. P. 1-9.

236. Vermijs R.G., Papendrecht H.J., Lutje Spelberg R.F., and Toetenel W.J. Short term forecasting of the level of service on a motorway network, by using a microscopic simulation model. Proceedings of the 2nd Erasmus-Network conference on transportation and traffic engineering. Kerkrade. 1995.

237. Wall Z., Dailey D.J. An Algorithm for Predicting the Arrival Time of Mass Transit Vehicles Using Automatic Vehicle Location Data. Venue: in 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C. 1999.

238. Wiedemann R. Simulation des Straßenverkehrsflusses. Technical Report, Institute for Traffic Engineering, University of Karlsruhe, 1974.

239. Williams B., Hoel L. Modeling and forecasting vehicular traffic flow as a seasonal ARIMA process: theoretical basis and empirical results. *Journal of Transportation Engineering*. 2003 Vol. 129, No. 6. P. 664-672.

240. Wilson A.G. Entropy in Urban and Regional Modeling. New York:

Methuen, Inc., 1970. 166 p.

241. Wu C.H., Ho J.M., Lee D.T. Travel-time prediction with support vector regression. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2004. Vol. 5. No. 4. Pp. 276-281.

242. Wu N., Brilon W. Cellular Automata for Highway Traffic Flow Simulation. In: Ceder. A. (ed). *Proceedings 14th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*. 1999. P. 1-18.

243. Yang J.S. Travel time prediction using the GPS test vehicle and Kalman filtering techniques. In: Proceedings of the 2005. American Control Conference. P. 2128-2133.

Додаток А

Описова статистика і результати перевірки на відповідність нормальному закону розподілу структурних ознак вулиць і доріг сформованих кластерів

Магістральні вулиці загальноміського значення							
Кластер 1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	4521	1950	11000	31,78	1783	0.23282	p < 0,15
S, м ²	120328	75736	282000	237947,60	48780	0.14600	p > 0,20
Кластер 2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	2377	1200	4240	5,84	764,74	0.09491	p > 0,20
S, м ²	49586	33000	75291	1517,46	12319	0.14200	p > 0,20
Кластер 2.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1496	500	3250	1,02	602	0.14249	p > 0,20
S, м ²	21541	14850	30872	108,71	4516	0.10292	p > 0,20
Кластер 2.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	587	120	1695	3,62	319	0.10779	p > 0,20
S, м ²	7312	1792	13836	203,90	3297	0.09823	p > 0,20
Магістральні вулиці районного значення							
Кластер 1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	2847	1350	6850	15,70	1253	0.18493	p > 0,20
S, м ²	55407	34314	111124	5051,06	22474	0.21421	p < 0,10
Кластер 2.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1836	910	2930	2,65	515	0.15430	p > 0,20
S, м ²	28625	24400	33522	73,90	2719	0.12198	p > 0,20

Кластер 2.1.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	19741	15422	23937	69,42	2635	0.13156	p > 0,20
S, м ²	1415	600	2503	2,07	455	0.11615	p > 0,20
Кластер 2.2.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\cdot 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	889	230	2649	1,83	429	0.12512	p > 0,20
S, м ²	9745	8500	11250	6,57	811	0.11501	p > 0,20
Кластер 2.2.1.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1119	555	1800	1,15	341	0.09009	p > 0,20
S, м ²	13271	11700	15200	13,48	1161	0.14681	p > 0,20
Кластер 2.2.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\cdot 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	387	106	765	0,28	169	0.09154	p > 0,20
S, м ²	3527	1281	5099	11,84	1088	0.13140	p > 0,20
Кластер 2.2.2.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	623	220	1440	0,83	289	0.08192	p > 0,20
S, м ²	7434	6739	8291	2,65	515	0.17684	p > 0,20
Кластер 2.2.2.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	717	230	1235	0,56	238	0.07705	p > 0,20
S, м ²	6009	5150	6669	2,45	496	0.16254	p > 0,20
Вулиці та дороги місцевого значення							
Кластер 1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\cdot 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	2903	1400	5300	10,78	1038	0.14508	p > 0,20
S, м ²	29465	21600	61455	681,60	8256	0.20345	p < 0,15
Кластер 1.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1931	732	3330	3,81	618	0.09850	p > 0,20
S, м ²	17155	14248	21000	47,71	2184	0.17018	p > 0,20

Кластер 1.2.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1471	750	2500	2,08	457	0.10283	p > 0,20
S, м ²	12745	11570	14053	48,99	700	0.09628	p > 0,20
Кластер 1.2.2.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1137	707	2400	1,62	403	0.23546	p > 0,20
S, м ²	9513	4781	10120	16,06	1267	0.46489	p < 0,15
Кластер 1.2.2.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1507	750	3000	3,53	594	0.18313	p > 0,20
S, м ²	10641	9756	11472	2,06	454	0.13076	p > 0,20
Кластер 2.1.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1326	725	1730	1,81	426	0.31867	p > 0,20
S, м ²	16835	13200	25188	313,95	5603	0.40168	p > 0,20
Кластер 2.1.1.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1087	554	2350	1,54	393	0.10176	p > 0,20
S, м ²	8829	8250	9600	1,60	400	0.14056	p > 0,20
Кластер 2.1.1.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1038	405	1980	1,23	351	0.11805	p > 0,20
S, м ²	7514	6900	8154	1,41	376	0.09261	p > 0,20
Кластер 2.1.2.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	879	450	1605	0,55	235	0.05682	p > 0,20
S, м ²	6312	5940	6800	0,59	245	0.11598	p > 0,20
Кластер 2.1.2.1.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	1064	850	1470	0,34	185	0.20586	p > 0,20
S, м ²	5477	5170	5770	0,22	150	0.12530	p > 0,20

Кластер 2.1.2.1.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	684	400	1035	0,19	134	0.11099	p > 0,20
S, м ²	5588	5175	5940	0,53	231	0.13778	p > 0,20
Кластер 2.1.2.2.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	745	450	1400	0,54	234	0.17407	p > 0,20
S, м ²	5025	4892	5187	0,08	88	0.11676	p > 0,20
Кластер 2.1.2.2.1.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	717	330	1280	0,38	195	0.10194	p > 0,20
S, м ²	4651	4480	4830	0,14	118	0.13277	p > 0,20
Кластер 2.1.2.2.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	948	639	1430	0,41	203	0.09369	p > 0,20
S, м ²	4331	3999	4788	0,31	177	0.16631	p > 0,20
Кластер 2.1.2.2.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	588	260	870	0,18	135	0.11667	p > 0,20
S, м ²	4113	3870	4440	0,21	146	0.11145	p > 0,20
Кластер 2.2.1.1.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	703	450	1070	0,19	137	0.16339	p > 0,20
S, м ²	3074	2000	3372	0,80	283	0.29425	p < 0,10
Кластер 2.2.1.1.1.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	453	225	670	0,10	102	0.11450	p > 0,20
S, м ²	3234	2970	3420	0,18	133	0.12480	p > 0,20
Кластер 2.2.1.1.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	623	375	920	0,27	165	0.14836	p > 0,20
S, м ²	3744	3600	3877	0,046	68	0.11985	p > 0,20

Кластер 2.2.1.1.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	561	285	870	0,17	129	0.13647	p > 0,20
S, м ²	3544	3410	3685	0,06	74	0.15327	p > 0,20
Кластер 2.2.1.2.1.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	644	516	1045	0,13	115	0.15681	p > 0,20
S, м ²	2778	2632	2909	0,06	75	0.11028	p > 0,20
Кластер 2.2.1.2.1.1.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	575	495	915	0,09	97	0.20466	p > 0,20
S, м ²	2537	2450	2650	0,04	65	0.14690	p > 0,20
Кластер 2.2.1.2.1.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	366	222	472	0,06	80	0.18917	p > 0,20
S, м ²	2602	2472	2723	0,05	73	0.10624	p > 0,20
Кластер 2.2.1.2.1.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	429	270	525	0,06	76	0.17140	p > 0,20
S, м ²	2852	2710	2940	0,03	56	0.11237	p > 0,20
Кластер 2.2.1.2.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	390	164	640	0,12	109	0.11462	p > 0,20
S, м ²	2069	1944	2205	0,05	74	0.11506	p > 0,20
Кластер 2.2.1.2.2.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	659	525	950	0,16	126	0.24752	p > 0,20
S, м ²	2304	2210	2430	0,05	71	0.19667	p > 0,20
Кластер 2.2.1.2.2.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	387	210	515	0,05	72	0.11342	p > 0,20
S, м ²	2335	2228	2475	0,05	73	0.11427	p > 0,20

Кластер 2.2.2.1.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	399	248	800	0,21	144	0.27577	p < 0,01
S, м ²	2028	1806	3822	1,93	440	0.46443	p < 0,01
Кластер 2.2.2.1.1.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	447	180	885	0,18	133	0.15324	p < 0,15
S, м ²	1585	1120	1782	0,19	139	0.24447	p > 0,20
Кластер 2.2.2.1.1.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	271	113	450	0,04	66	0.08221	p > 0,20
S, м ²	1717	1560	1880	0,08	88	0.10000	p > 0,20
Кластер 2.2.2.1.2.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	384	260	750	0,10	99	0.20346	p < 0,15
S, м ²	1358	1170	1505	0,04	63	0.12025	p > 0,20
Кластер 2.2.2.1.2.1.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	278	150	490	0,08	91	0.13429	p > 0,20
S, м ²	1542	1480	1774	0,06	75	0.34064	p < 0,05
Кластер 2.2.2.1.2.1.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	235	150	321	0,02	40	0.12148	p > 0,20
S, м ²	1412	1320	1500	0,02	48	0.14380	p > 0,20
Кластер 2.2.2.1.2.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	222	99	330	0,03	57	0.13705	p > 0,20
S, м ²	1135	594	1202	0,10	100	0.34394	p < 0,01
Кластер 2.2.2.1.2.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	275	107	530	0,06	79	0.10293	p > 0,20
S, м ²	1233	1150	1305	0,01	37	0.09857	p > 0,20

Кластер 2.2.2.2.1.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\cdot 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	307	240	450	0,02	49	0.22978	p < 0,10
S, м ²	1070	960	1752	0,16	126	0.37765	p < 0,01
Кластер 2.2.2.2.1.1.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	186	96	250	0,013	37	0.10294	p > 0,20
S, м ²	1031	952	1124	0,022	47	0.10734	p > 0,20
Кластер 2.2.2.2.1.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	201	93	380	0,039	63	0.08598	p > 0,20
S, м ²	899	848	950	0,008	28	0.14045	p > 0,20
Кластер 2.2.2.2.1.2.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	272	225	350	0,013	36	0.20229	p > 0,20
S, м ²	774	720	820	0,009	30	0.15498	p > 0,20
Кластер 2.2.2.2.1.2.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	182	112	210	0,007	27	0.19707	p < 0,15
S, м ²	800	732	840	0,011	34	0.22527	p < 0,10
Кластер 2.2.2.2.2.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	71	27	130	0,006	24	0.11777	p > 0,20
S, м ²	283	59	360	0,047	69	0.23902	p < 0,05
Кластер 2.2.2.2.2.1.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	99	65	130	0,004	20	0.13822	p > 0,20
S, м ²	394	360	430	0,005	22	0.16184	p > 0,20
Кластер 2.2.2.2.2.2.1.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	133	60	205	0,011	33	0.12720	p > 0,20
S, м ²	526	450	574	0,005	23	0.15522	p > 0,20

Кластер 2.2.2.2.2.1.2.1							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	119	70	190	0,010	32	0.21832	p < 0,20
S, м ²	467	422	496	0,003	18	0.21923	p < 0,20
Кластер 2.2.2.2.2.1.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	163	80	300	0,018	43	0.11072	p > 0,20
S, м ²	682	620	873	0,017	42	0.09390	p > 0,20
Кластер 2.2.2.2.2.2							
Структурна ознака	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Дисперсія ($\times 10^5$)	Стандартне відхилення	Нормальність розподілу	
						макс. D	p-значення
L, м	162	100	284	0,020	45	0.17567	p > 0,20
S, м ²	597	568	620	0,0014	12	0.32332	p < 0,01

Додаток Б

**Розподіл вулиць і доріг (за структурними ознаками) сформованих кластерів
між адміністративними районами м. Києва**

Магістральні вулиці загальноміського значення, %

Кластер	Голосіївський	Дарницький	Деснянський	Дніпровський	Оболонський	Печерський	Подільський	Святошинський	Солом'янський	Шевченківський
Кластер 1	24	12.0	8.0	8.0	8.0	12.0	4.0	12.0	8.0	4.0
Кластер 2.1	7.1	7.1	0.0	9.5	7.1	2.4	11.9	11.9	23.8	19.0
Кластер 2.2.1	0.0	2.4	4.9	2.4	4.9	14.6	2.4	7.3	22.0	39.0
Кластер 2.2.2	5	2.5	5	10	20	7.5	17.5	2.5	12.5	17.5

Магістральні вулиці районного значення, %

Кластер	Голосіївський	Дарницький	Деснянський	Дніпровський	Оболонський	Печерський	Подільський	Святошинський	Солом'янський	Шевченківський
Кластер 1	6.5	9.7	38.7	6.5	16.1	0.0	3.2	3.2	12.9	3.2
Кластер 2.1.1	7.7	15.4	15.4	7.7	3.8	7.7	15.4	3.8	19.2	3.8
Кластер 2.1.2	8.5	6.4	4.3	12.8	6.4	6.4	10.6	14.9	14.9	14.9
Кластер 2.2.1.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	17.9	17.9	7.1	0.0	21.4
Кластер 2.2.1.2	5.6	5.6	11.1	0.0	19.4	2.8	8.3	19.4	11.1	16.7
Кластер 2.2.2.1	7.0	4.7	4.7	2.3	2.3	14.0	27.9	11.6	2.3	23.3
Кластер 2.2.2.2.1	8.8	2.9	5.9	0.0	2.9	11.8	20.6	5.9	8.8	32.4
Кластер 2.2.2.2.2	3.1	6.3	21.9	3.1	9.4	9.4	18.8	9.4	3.1	15.6

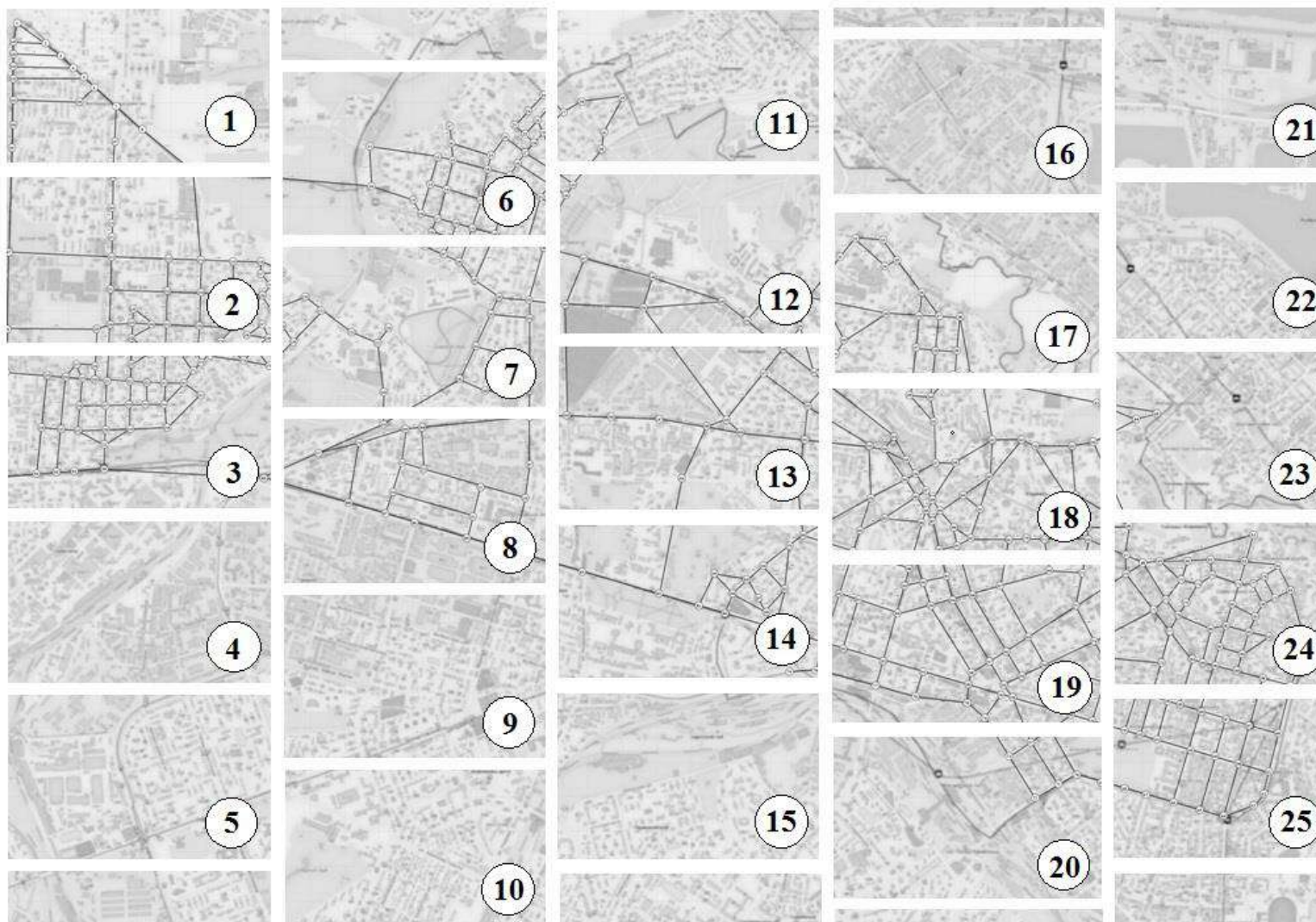
Вулиці і дороги місцевого значення, %

Кластер	Голосіївський	Дарницький	Деснянський	Дніпровський	Оболонський	Печерський	Подільський	Святошинський	Солом'янський	Шевченківський
Кластер 1.1	22.2	18.5	7.4	22.2	22.2	0.0	0.0	0.0	3.7	3.7
Кластер 1.2.1	14.3	22.9	0.0	14.3	14.3	0.0	0.0	5.7	28.6	0.0
Кластер 1.2.2.1	20.0	4.0	0.0	28.0	4.0	0.0	4.0	16.0	20.0	4.0
Кластер 1.2.2.2.1	6.3	25.0	12.5	0.0	6.3	6.3	0.0	25.0	12.5	6.3
Кластер 1.2.2.2.2	21.4	28.6	0.0	3.6	10.7	3.6	7.1	14.3	3.6	7.1

Кластер 2.1.1.1	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Кластер 2.1.1.2.1	7.7	17.9	10.3	10.3	10.3	5.1	10.3	10.3	12.8	5.1
Кластер 2.1.1.2.2	14.0	24.0	2.0	12.0	14.0	4.0	6.0	6.0	10.0	8.0
Кластер 2.1.2.1.1	5.4	16.1	8.9	14.3	3.6	3.6	7.1	23.2	16.1	1.8
Кластер 2.1.2.1.2.1	30.4	21.7	4.3	4.3	0.0	8.7	0.0	13.0	8.7	8.7
Кластер 2.1.2.1.2.2	4.5	6.8	2.3	20.5	13.6	11.4	0.0	18.2	9.1	13.6
Кластер 2.1.2.2.1.1	13.6	13.6	0.0	9.1	18.2	4.5	9.1	9.1	9.1	13.6
Кластер 2.1.2.2.1.2	21.6	5.4	2.7	10.8	13.5	5.4	5.4	18.9	2.7	13.5
Кластер 2.1.2.2.2.1	15.8	15.8	5.3	10.5	0.0	0.0	21.1	15.8	10.5	5.3
Кластер 2.1.2.2.2.2	16.3	6.1	6.1	8.2	6.1	12.2	4.1	26.5	6.1	8.2
Кластер 2.2.1.1.1.1	13.8	17.2	6.9	6.9	3.4	3.4	17.2	6.9	13.8	10.3
Кластер 2.2.1.1.1.2	4.3	4.3	0.0	15.2	6.5	4.3	10.9	23.9	13.0	17.4
Кластер 2.2.1.1.2.1	14.6	7.3	7.3	12.2	2.4	9.8	4.9	19.5	12.2	9.8
Кластер 2.2.1.1.2.2	8.9	11.1	8.9	2.2	6.7	6.7	0.0	24.4	15.6	15.6
Кластер 2.2.1.2.1.1.1	11.1	33.3	0.0	0.0	0.0	7.4	7.4	29.6	7.4	3.7
Кластер 2.2.1.2.1.1.2	9.1	22.7	13.6	4.5	9.1	0.0	0.0	9.1	27.3	4.5
Кластер 2.2.1.2.1.2.1	7.1	3.6	0.0	0.0	14.3	17.9	10.7	25.0	7.1	14.3
Кластер 2.2.1.2.1.2.2	7.7	3.8	0.0	3.8	15.4	15.4	3.8	7.7	34.6	7.7
Кластер 2.2.1.2.2.1	9.1	13.6	0.0	4.5	11.4	11.4	6.8	27.3	4.5	11.4
Кластер 2.2.1.2.2.2.1	31.3	18.8	6.3	6.3	0.0	6.3	6.3	0.0	12.5	12.5
Кластер 2.2.1.2.2.2.2	10.6	2.1	4.3	2.1	6.4	19.1	10.6	14.9	10.6	19.1
Кластер 2.2.2.1.1.1	16.1	9.7	3.2	3.2	3.2	9.7	3.2	16.1	22.6	12.9
Кластер 2.2.2.1.1.2.1	26.9	15.4	3.8	0.0	0.0	0.0	19.2	23.1	3.8	7.7
Кластер 2.2.2.1.1.2.2	11.0	2.7	4.1	9.6	4.1	17.8	4.1	21.9	9.6	15.1
Кластер 2.2.2.1.2.1.1	23.5	11.8	2.9	2.9	2.9	11.8	8.8	11.8	14.7	8.8
Кластер 2.2.2.1.2.1.2.1	6.7	0.0	13.3	6.7	13.3	20.0	6.7	6.7	20.0	6.7
Кластер 2.2.2.1.2.1.2.2	13.3	0.0	2.2	4.4	6.7	17.8	8.9	24.4	2.2	20.0
Кластер 2.2.2.1.2.2.1	5.9	8.8	8.8	8.8	2.9	29.4	2.9	17.6	2.9	11.8
Кластер 2.2.2.1.2.2.2	20.8	4.2	6.3	2.1	4.2	4.2	10.4	25.0	12.5	10.4
Кластер 2.2.2.2.1.1.1	23.5	23.5	5.9	2.9	0.0	2.9	20.6	11.8	0.0	8.8
Кластер 2.2.2.2.1.1.2	3.6	7.3	5.5	1.8	3.6	16.4	20.0	23.6	9.1	9.1
Кластер 2.2.2.2.1.2.1	19.6	3.9	3.9	3.9	3.9	13.7	17.6	15.7	11.8	5.9
Кластер 2.2.2.2.1.2.2.1	42.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	21.1	15.8	10.5	5.3
Кластер 2.2.2.2.1.2.2.2	13.9	16.7	5.6	8.3	5.6	2.8	11.1	19.4	5.6	11.1
Кластер 2.2.2.2.2.1.1	13.5	8.1	0.0	5.4	2.7	21.6	18.9	18.9	2.7	8.1
Кластер 2.2.2.2.2.1.2.2	36.4	9.1	0.0	0.0	0.0	4.5	13.6	22.7	0.0	13.6
Кластер 2.2.2.2.2.2.1.1	11.1	5.6	5.6	22.2	0.0	16.7	0.0	16.7	11.1	11.1
Кластер 2.2.2.2.2.1.2.1	16.2	5.4	2.7	16.2	2.7	5.4	16.2	18.9	5.4	10.8
Кластер 2.2.2.2.2.2.1.2	13.3	6.7	10.0	6.7	0.0	13.3	26.7	16.7	0.0	6.7
Кластер 2.2.2.2.2.2.2	23.4	10.9	1.6	9.4	0.0	10.9	6.3	10.9	7.8	18.8

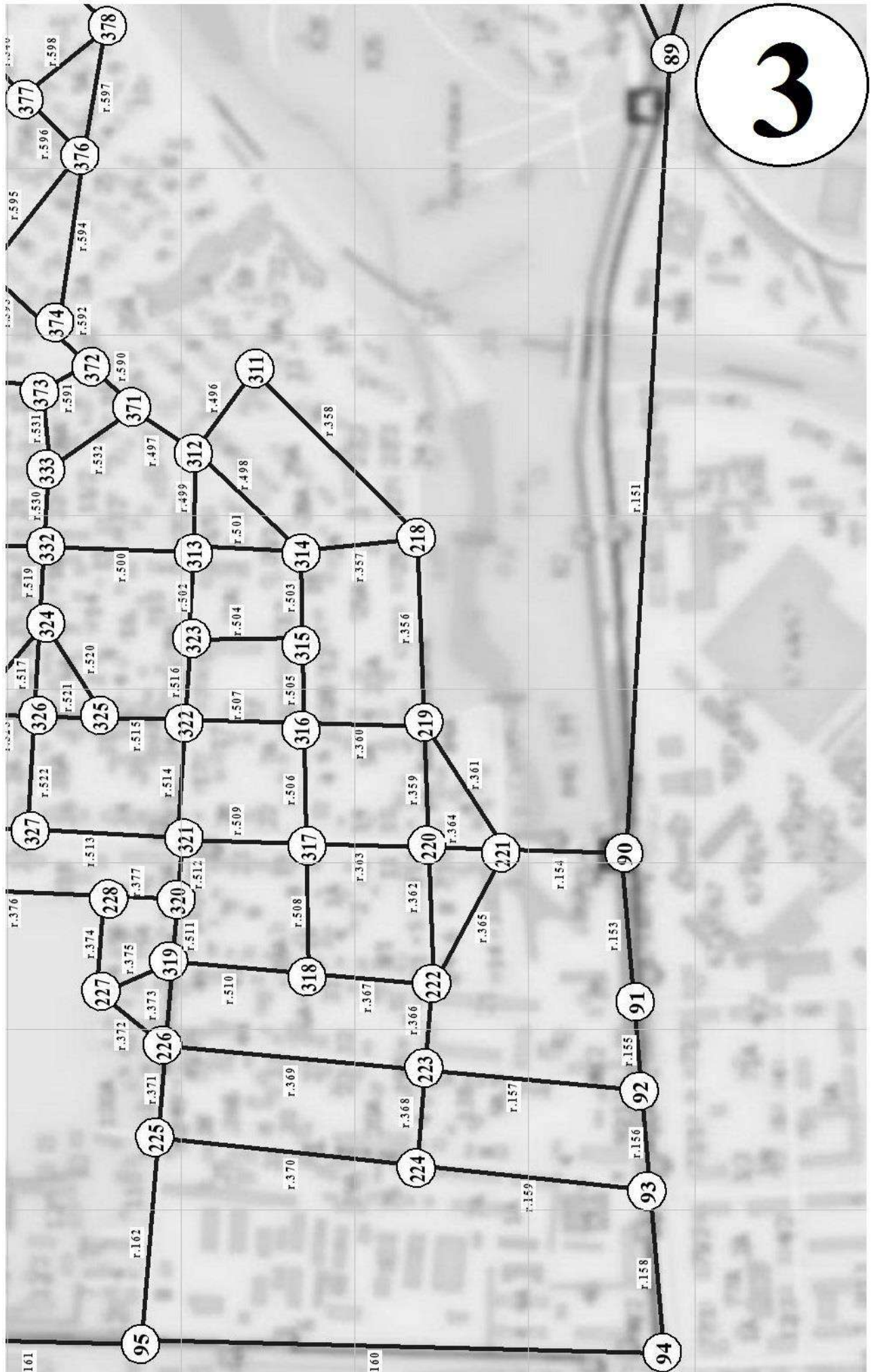
Додаток В

Карта-схема поділу вулично-дорожньої мережі Шевченківського району м. Києва на елементарні ділянки





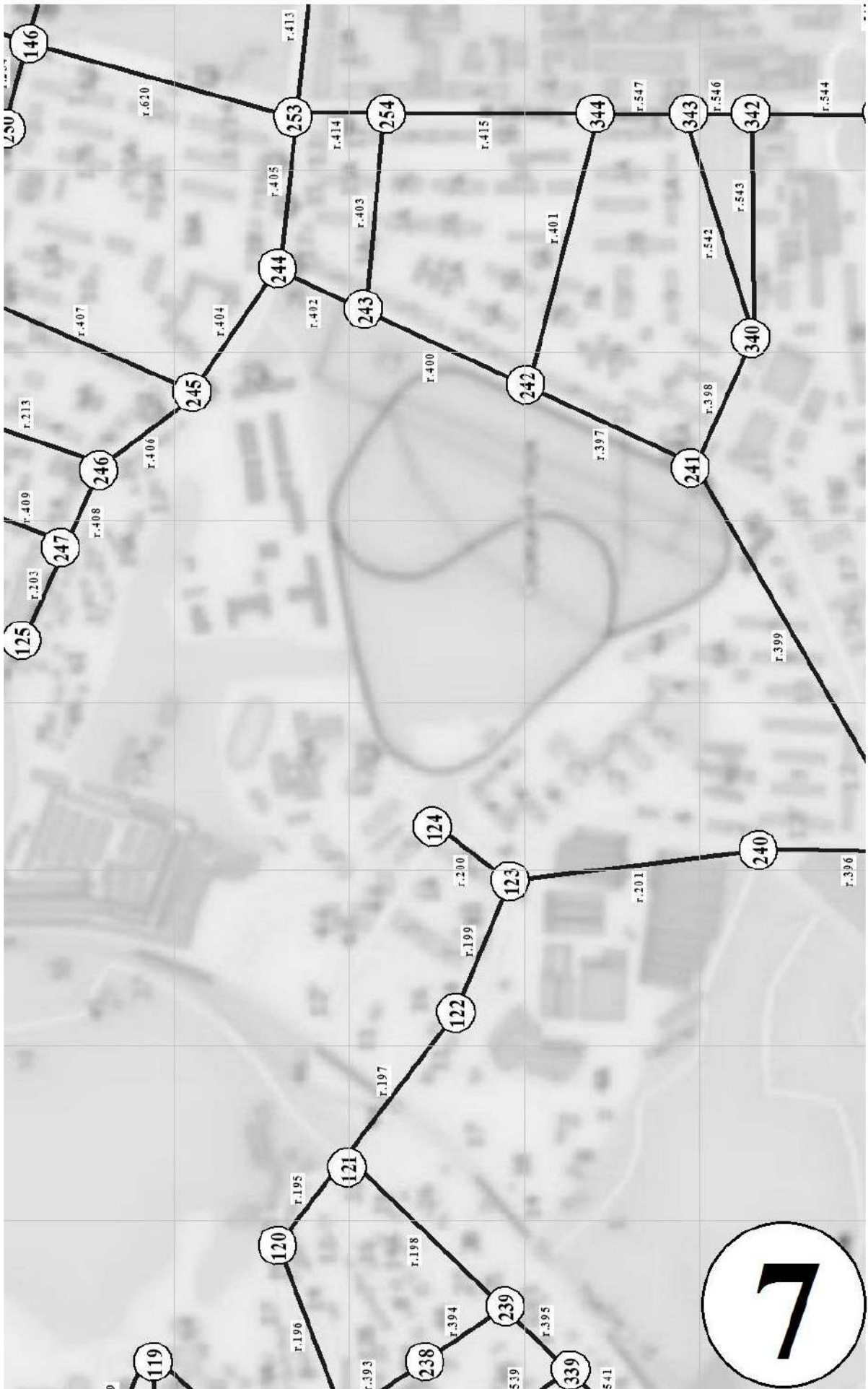


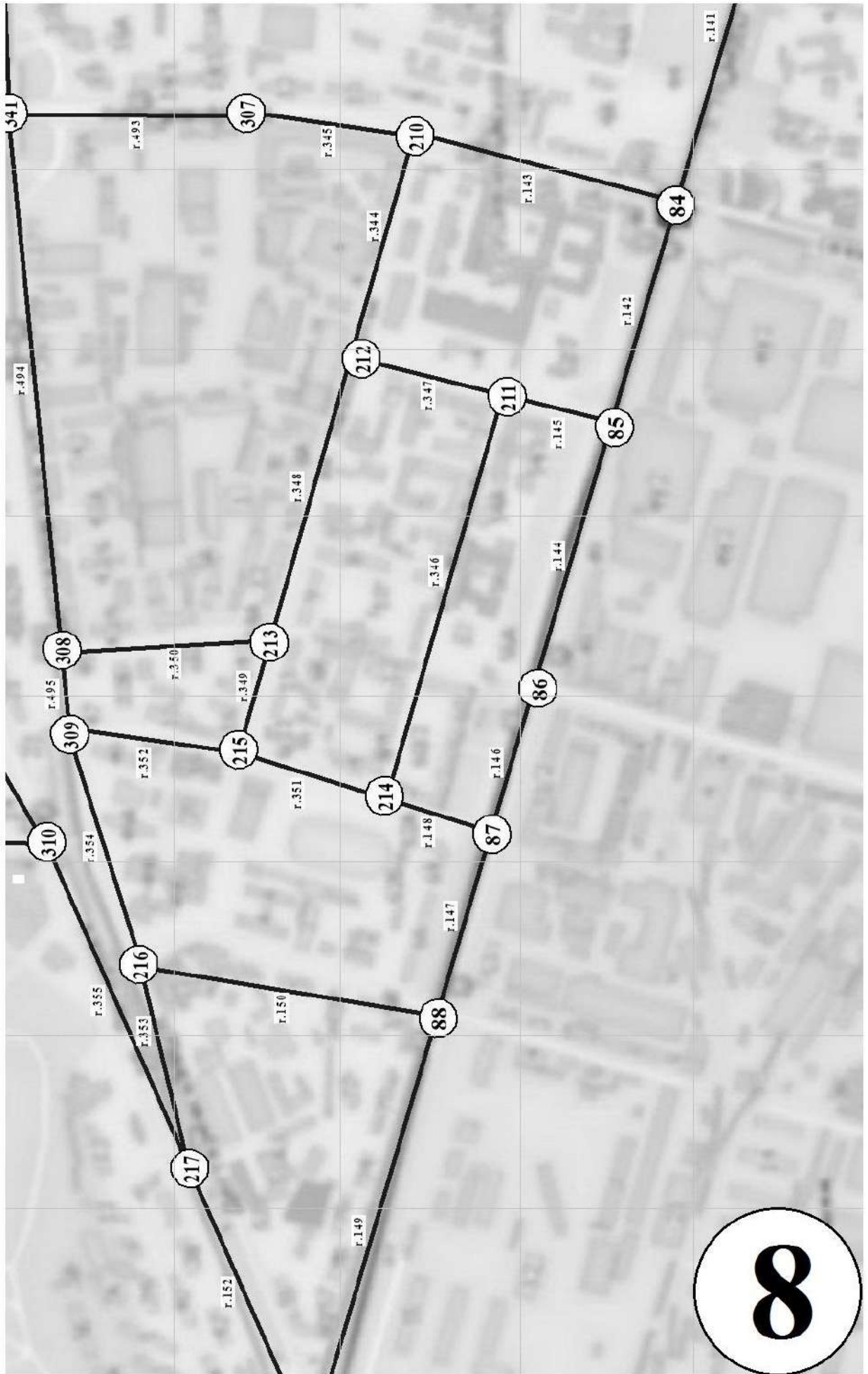


4

5







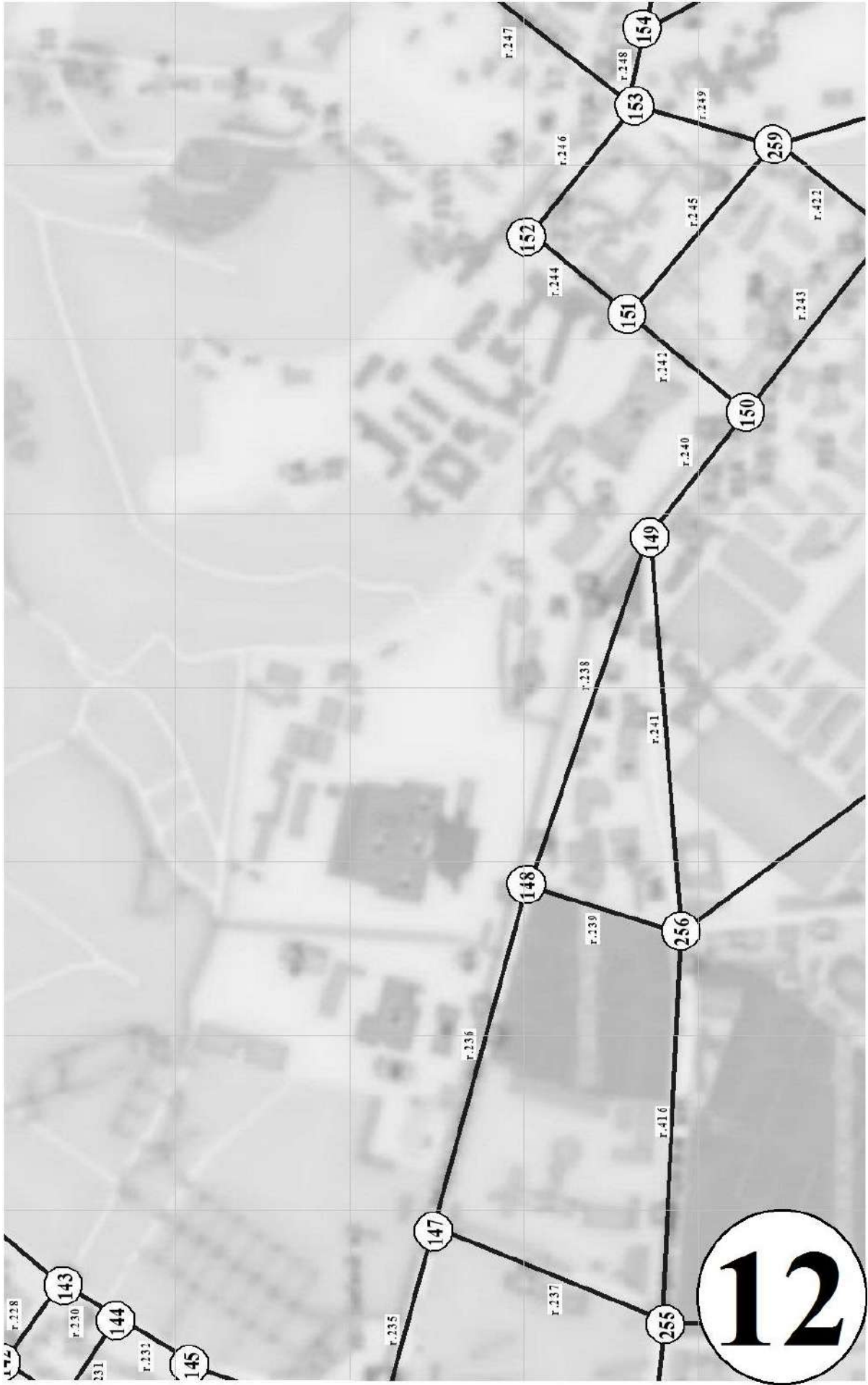
9

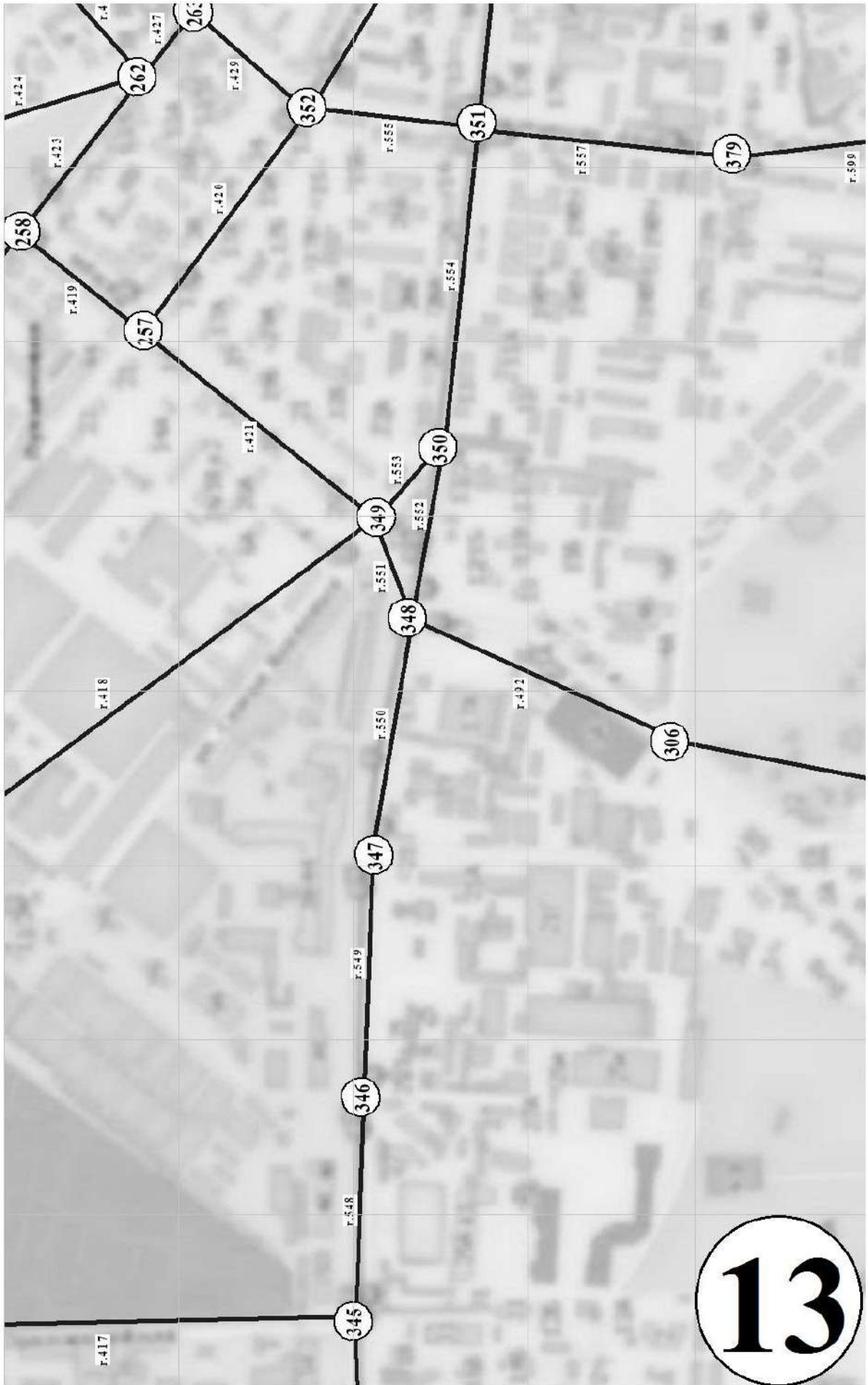


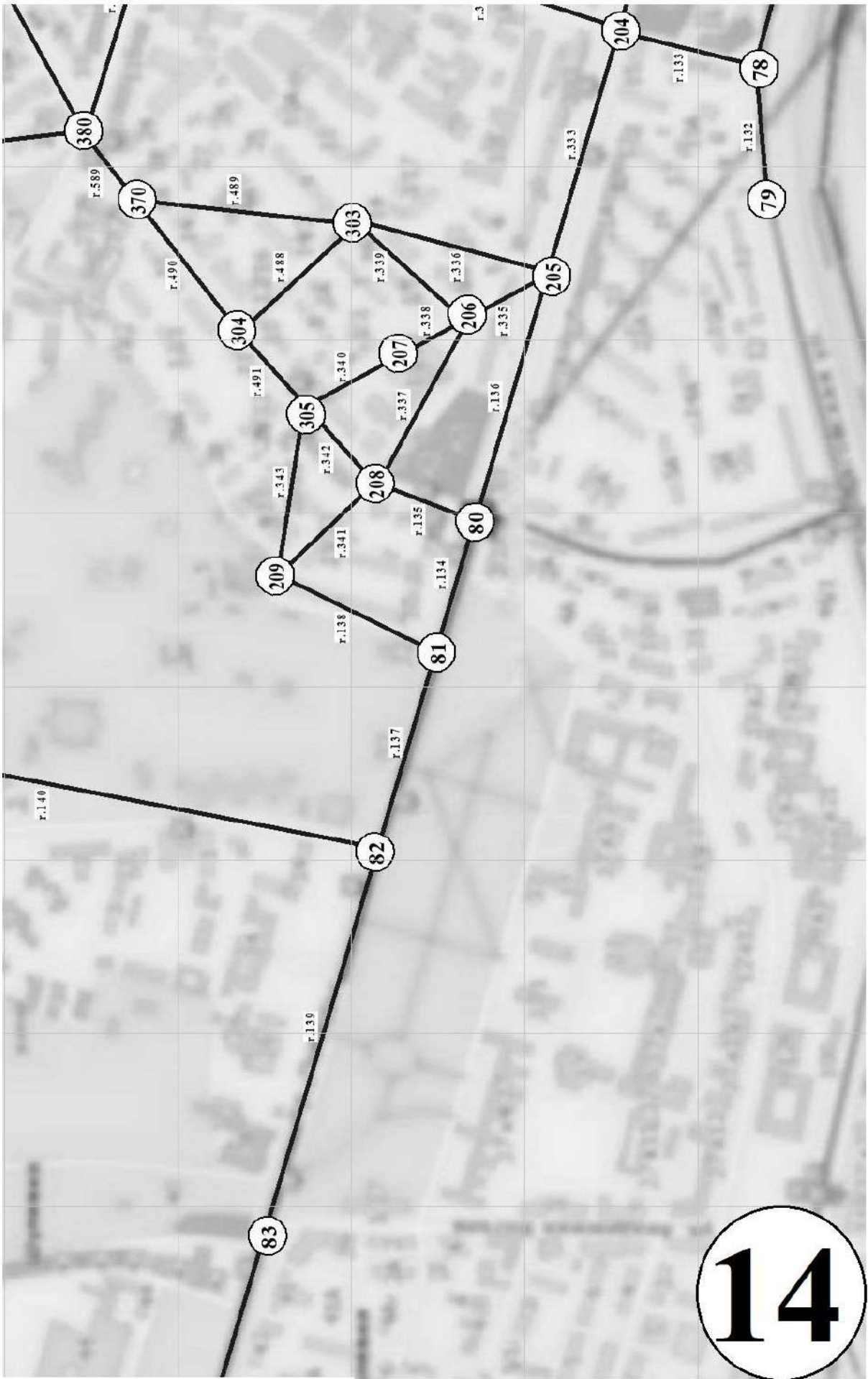
10











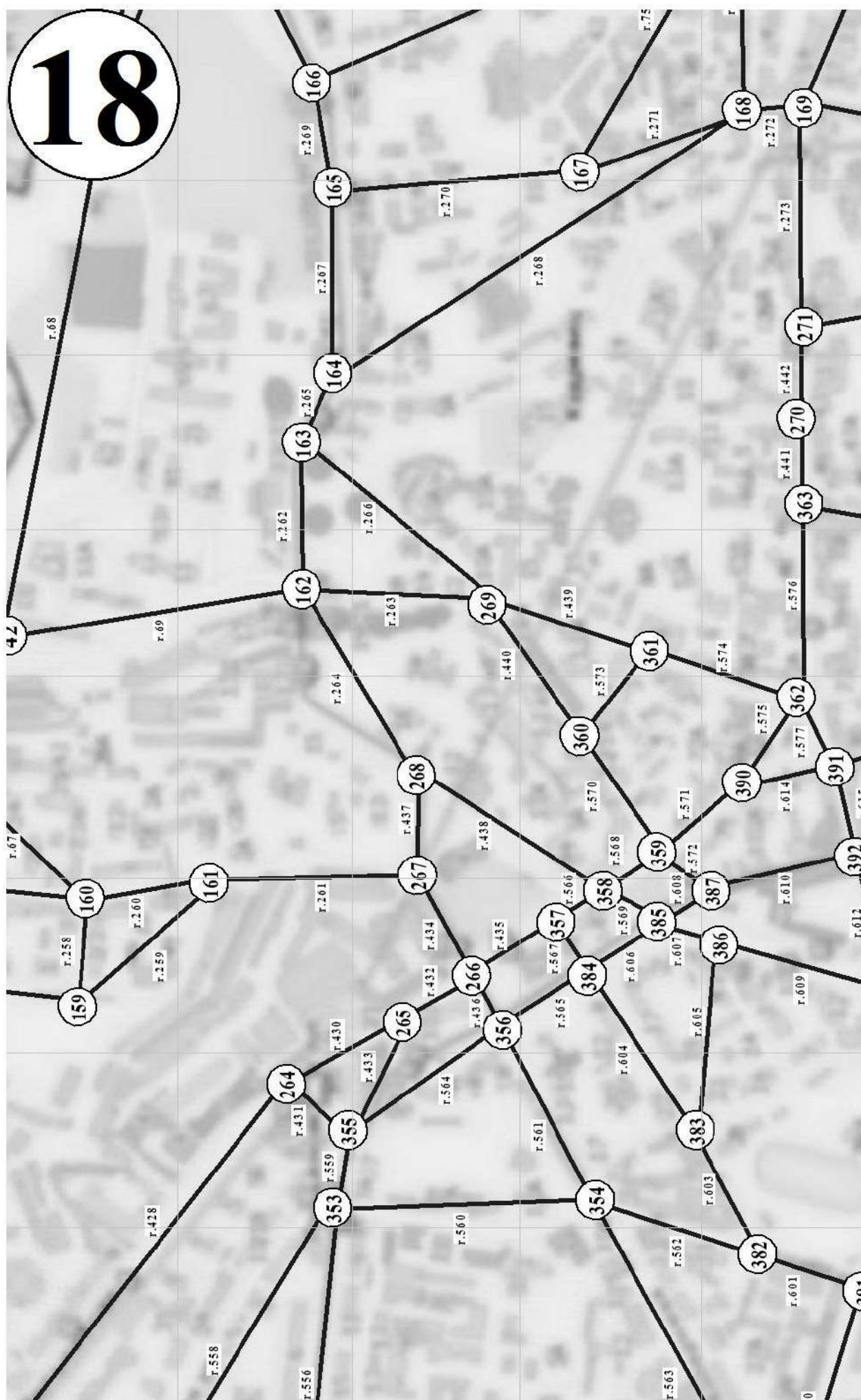
15

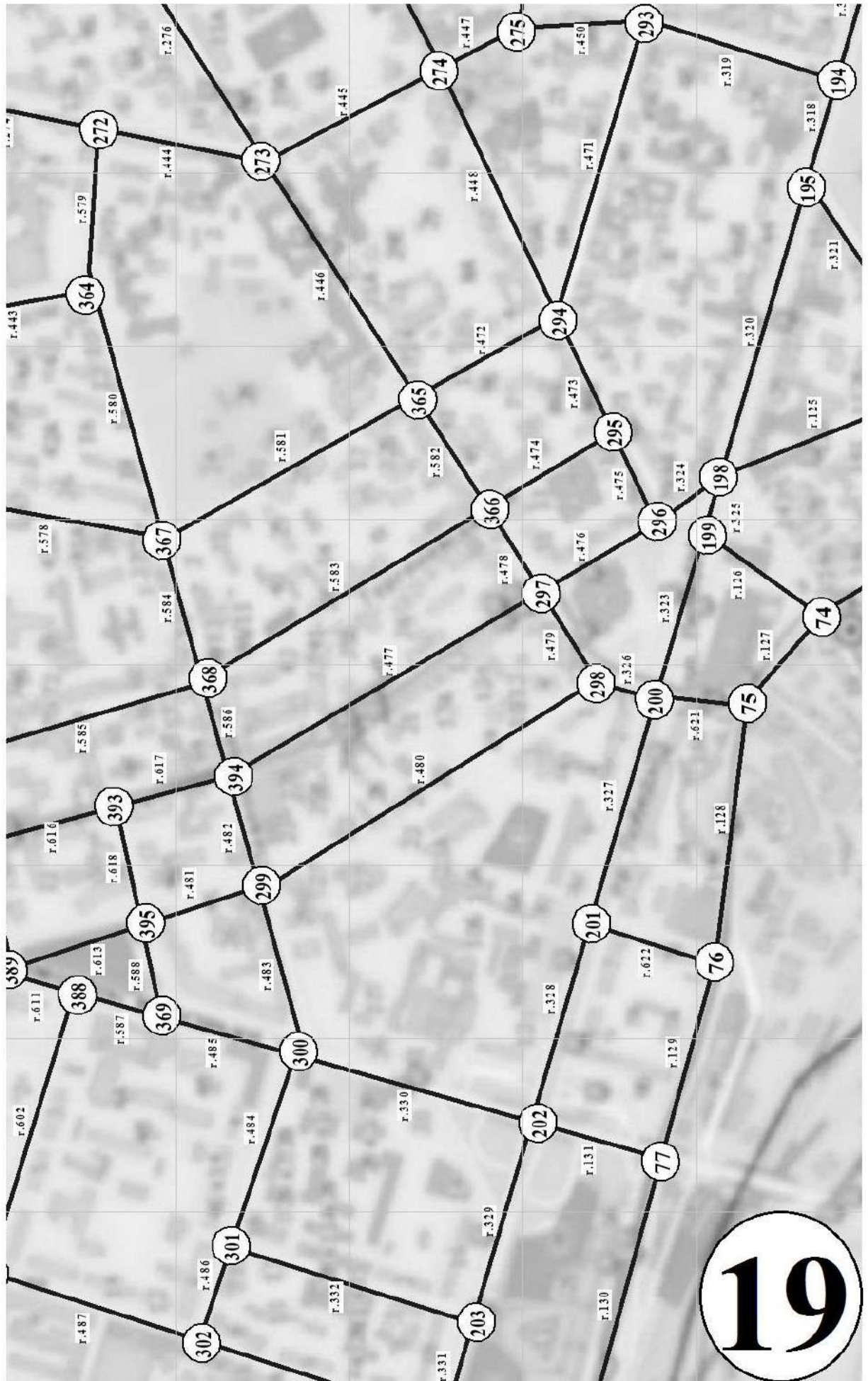


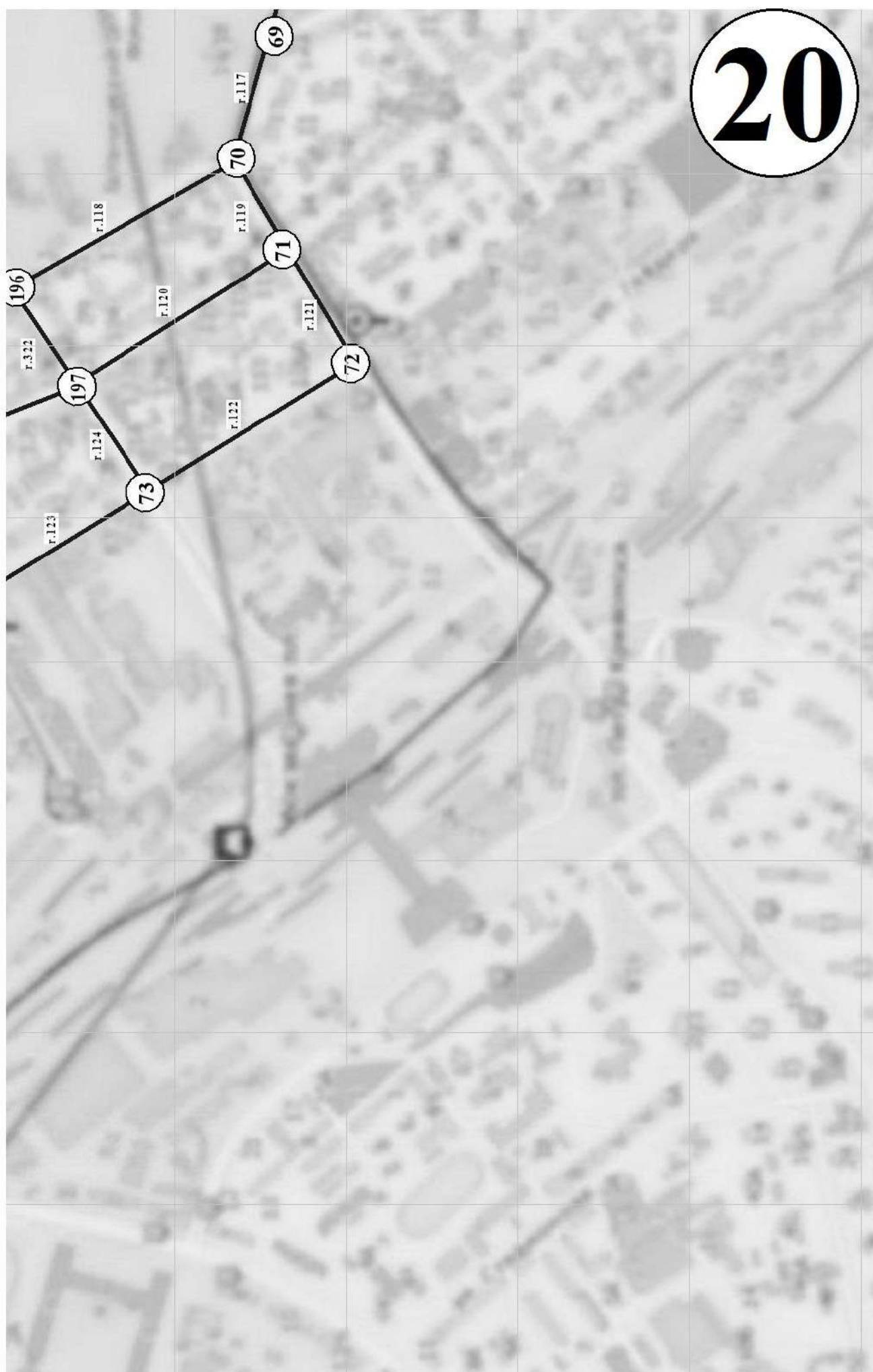
16

17





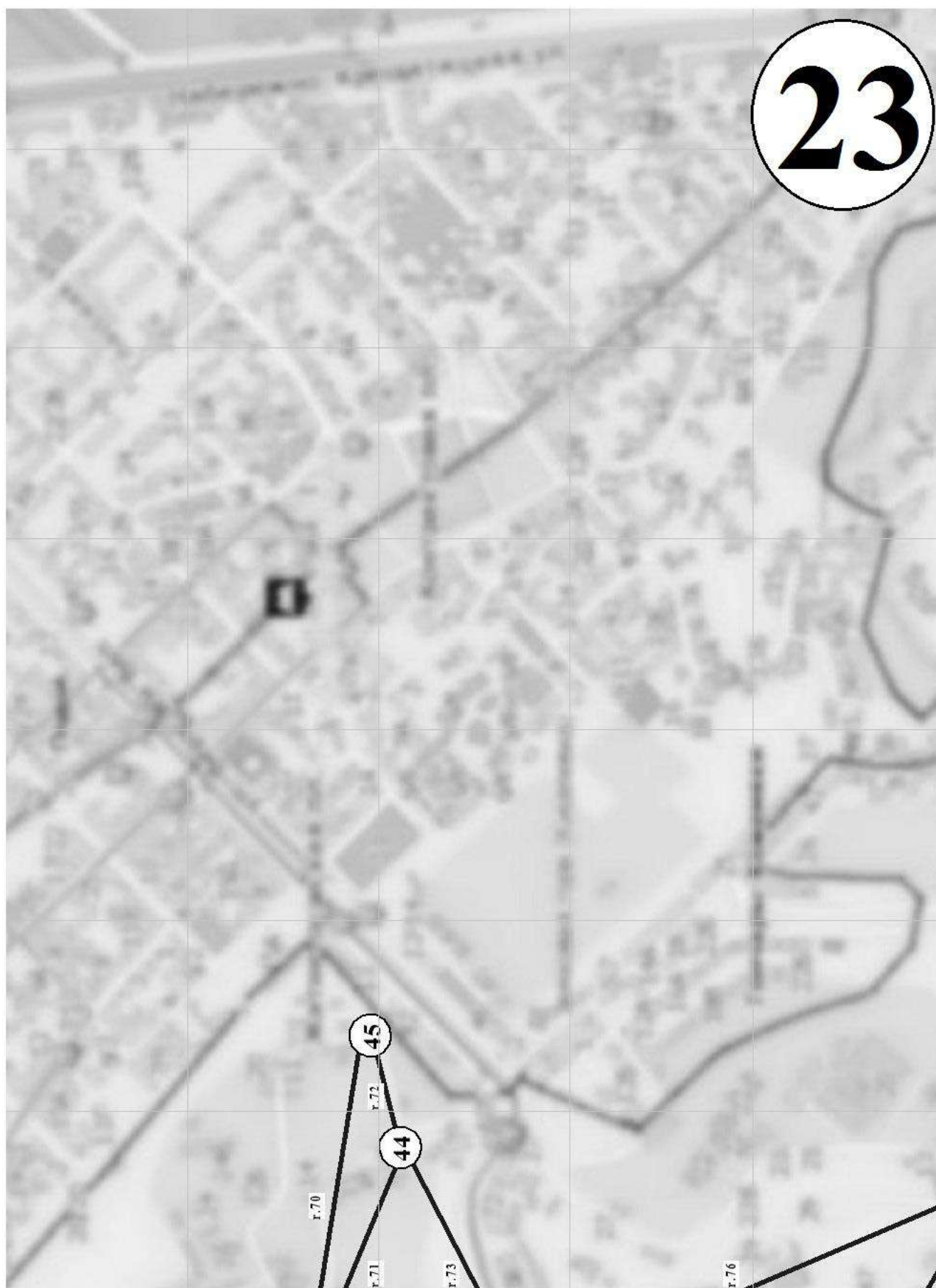


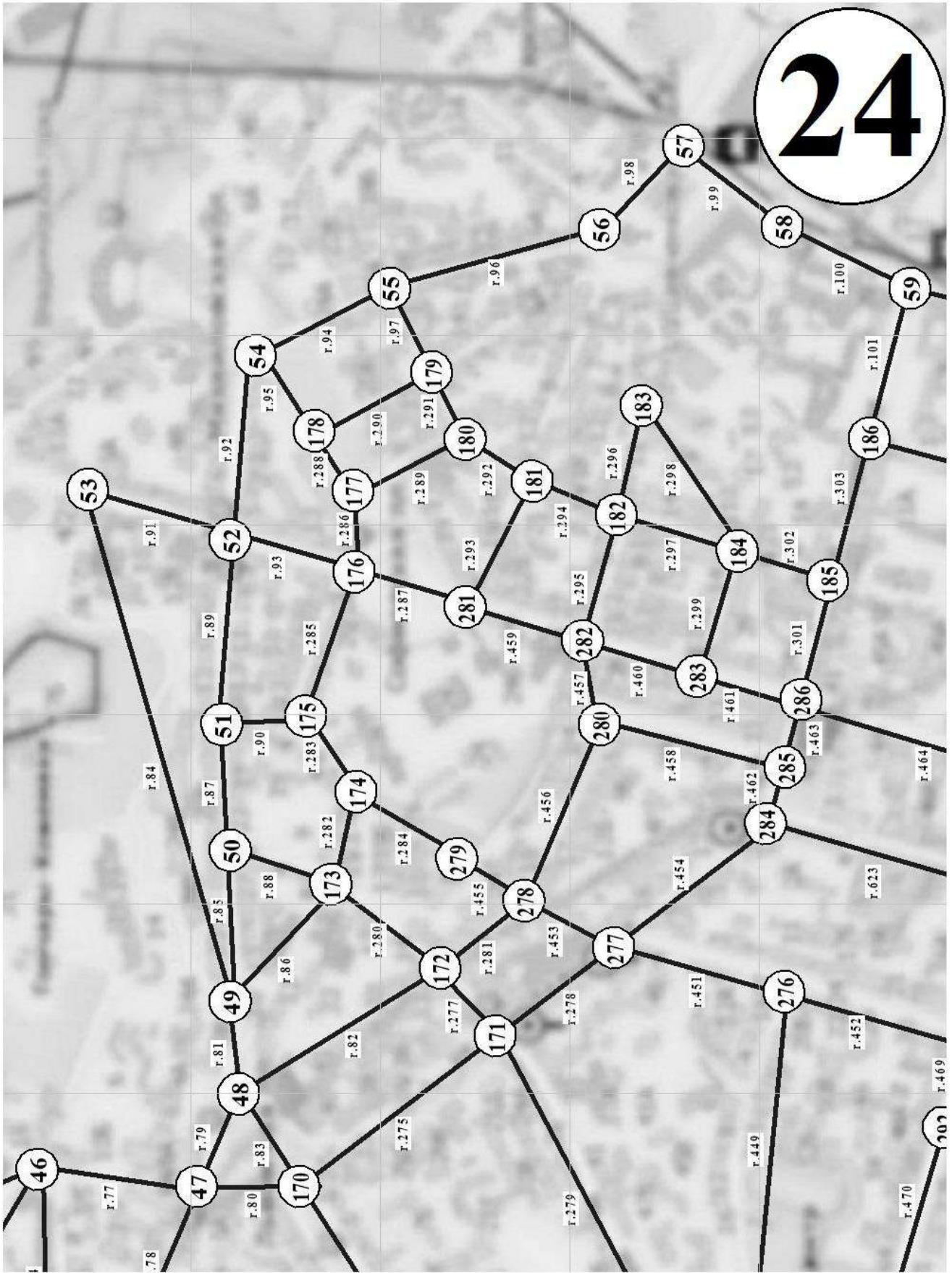


An aerial photograph of a residential neighborhood, showing houses, streets, and green spaces. A light gray grid is overlaid on the entire image. In the top right corner, there is a large white circle containing the number 21 in a bold, black serif font.

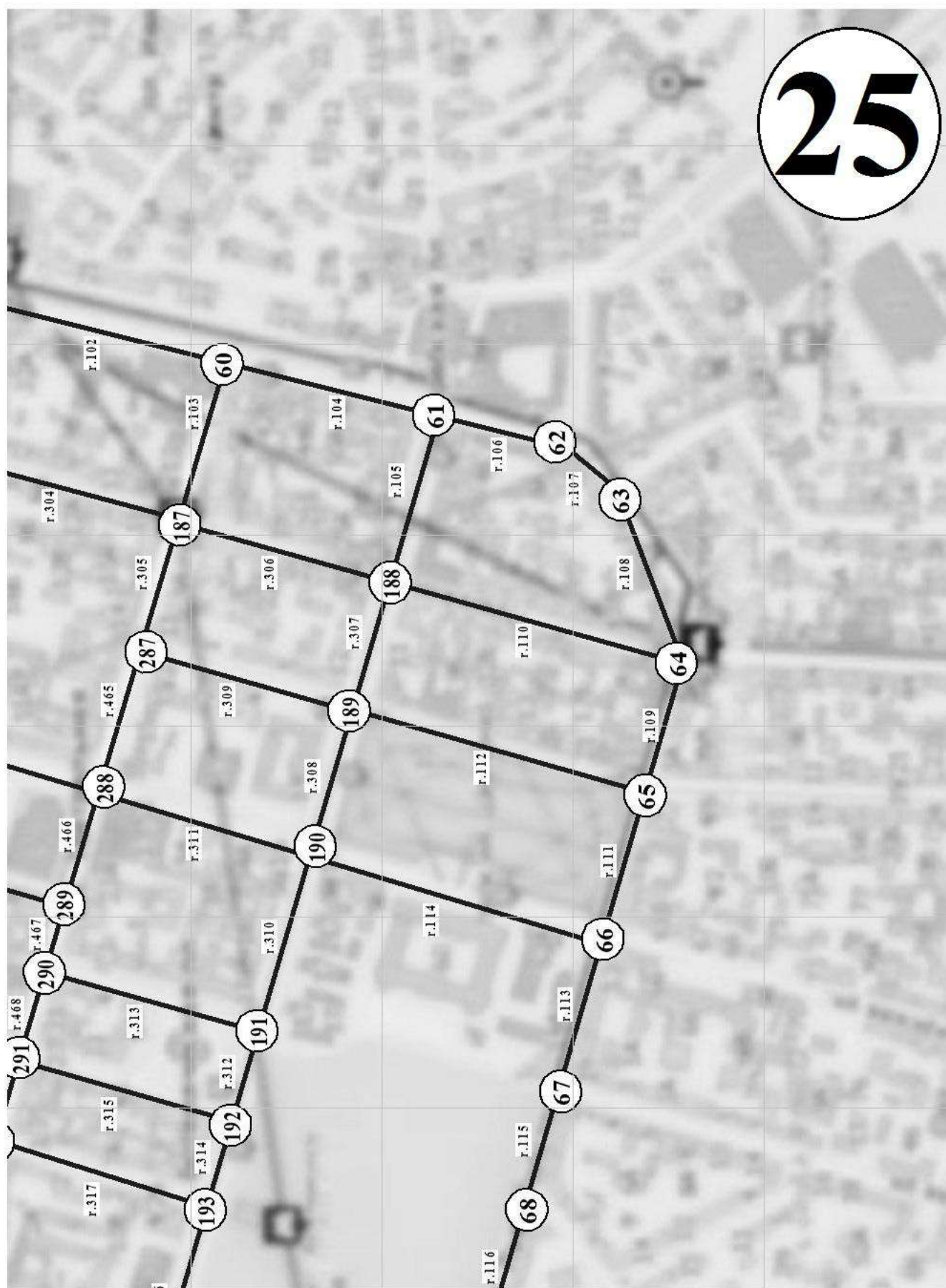
21

22





25



Додаток Г

**Однорідні групи елементарних ділянок вулично-дорожньої мережі
Шевченківського району м. Києва за груповими структурними ознаками
(для різних категорій вулиць і доріг)**

Однорідна група	Структурна конфігурація, тип	Ширина проїзної частини, м	Елементарні ділянки
МАГІСТРАЛЬНІ ВУЛИЦІ ЗАГАЛЬНОМІСЬКОГО ЗНАЧЕННЯ			
I-01	T9 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, світлофорне регулювання)	15	г.012, г.013, г.081, г.091, г.119, г.128, г.170, г.180, г.322, г.432, г.435, г.461, г.513, г.566, г.571, г.575, г.116, г.117, г.172, г.173, г.174, г.176, г.177, г.178, г.179, г.286, г.430
I-02	T4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване)	15	г.116, г.117, г.172, г.173, г.174, г.176, г.177, г.178, г.179, г.286, г.430
I-03	T10 (Т-подібне, світлофорне регулювання/Х-подібне, світлофорне регулювання)	15	г.010, г.078, г.089, г.095, г.113, г.182, г.243, г.273, г.287, г.423, г.576
I-04	T3 (Х-подібне, світлофорне регулювання/Х-подібне, світлофорне регулювання)	15	г.092, г.093, г.109, г.111, г.121, г.122, г.124, г.127, г.464, г.568
I-05	T5 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, світлофорне регулювання)	15	г.014, г.015, г.079, г.085, г.115, г.321, г.381, г.428, г.441, г.442
I-06	T4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване)	22,5	г.018, г.132, г.208, г.232, г.314, г.316, г.345, г.415, г.547, г.611
I-07	T5 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, світлофорне регулювання)	22,5	г.048, г.230, г.238, г.240, г.312, г.318, г.546, г.587, г.609, г.234
I-08	T4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване)	7,5	г.096, г.265, г.267, г.269, г.353, г.354, г.548, г.549
I-09	T9 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	г.073, г.094, г.098, г.247, г.434, г.550, г.552, г.554
I-10	T3 (Х-подібне, світлофорне регулювання/Х-подібне, світлофорне регулювання)	22,5	г.105, г.114, г.123, г.125, г.212, г.307, г.311
I-11	T9 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, світлофорне регулювання)	22,5	г.106, г.206, г.207, г.209, г.410, г.414, г.485
I-12	T14 (Т-подібне, нерегульоване/ транспортна розв'язка)	30	г.141, г.142, г.143, г.149,

			r.151, r.328, r.329, r.619
I-13	T7 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, нерегульоване)	7,5	r.080, r.160, r.161, r.167, r.262, r.431, r.433
I-14	T10 (Т-подібне, світлофорне регулювання/Х-подібне, світлофорне регулювання)	22,5	r.108, r.120, r.235, r.310, r.320, r.324, r.607
I-15	T4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване)	30	r.137, r.139, r.144, r.146, r.147, r.153, r.155
I-16	T7 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, нерегульоване)	15	r.004, r.006, r.154, r.363, r.460
I-17	T7 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, нерегульоване)	30	r.134, r.136, r.156, r.331, r.333
I-18	T5 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	r.152, r.165, r.437, r.495
I-19	T10 (Т-подібне, світлофорне регулювання/Х-подібне, світлофорне регулювання)	30	r.102, r.104, r.323, r.325
I-20	T6 (Т-подібне, світлофорне регулювання/ Т-подібне, світлофорне регулювання)	15	r.087, r.107, r.379, r.427
I-21	T2 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	r.083, r.245, r.556
I-22	T1 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване)	15	r.002, r.288, r.364
I-23	T14 (Т-подібне, нерегульоване/ транспортна розв'язка)	15	r.129, r.130, r.175
I-24	T1 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване)	7,5	r.168, r.559
I-25	T3 (Х-подібне, світлофорне регулювання/Х-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	r.249, r.569
I-26	T8 (Т-подібне, світлофорне регулювання/ Х-подібне, нерегульоване)	7,5	r.163, r.264
I-27	T10 (Т-подібне, світлофорне регулювання/Х-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	r.424, r.438
I-28	T2 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, світлофорне регулювання)	15	r.169, r.509
I-29	T8 (Т-подібне, світлофорне регулювання/ Х-подібне, нерегульоване)	15	r.008, r.459
I-30	T9 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, світлофорне регулювання)	30	r.099, r.327
I-31	T11 (Т-подібне, світлофорне	7,5	r.494

	регулювання/ транспортна розв'язка)		
I-32	T14 (Т-подібне, нерегульоване/ транспортна розв'язка)	7,5	г.545
I-33	T12 (Х-подібне, світлофорне регулювання/ транспортна розв'язка)	15	г.620
I-34	T13 (транспортна розв'язка/ транспортна розв'язка)	15	г.131
I-35	T15 (Х-подібне, нерегульоване/ транспортна розв'язка)	15	г.001
I-36	T6 (Т-подібне, світлофорне регулювання/ Т-подібне, світлофорне регулювання)	22,5	г.236
I-37	T11 (Т-подібне, світлофорне регулювання/ транспортна розв'язка)	22,5	г.544
I-38	T12 (Х-подібне, світлофорне регулювання/ транспортна розв'язка)	22,5	г.330
I-39	T14 (Т-подібне, нерегульоване/ транспортна розв'язка)	22,5	г.493
I-40	T1 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване)	30	г.158
I-41	T5 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, світлофорне регулювання)	30	г.100
I-42	T5 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, світлофорне регулювання)	22,5	г.404
МАГІСТРАЛЬНІ ВУЛИЦІ РАЙОННОГО ЗНАЧЕННЯ			
II-01	T4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване)	7,5	г.011, г.034, г.045, г.046, г.053, г.055, г.057, г.140, г.187, г.203, г.215, г.219, г.225, г.261, г.313, г.317, г.397, г.399, г.400, г.462, г.579, г.591
II-02	T7 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, нерегульоване)	7,5	г.031, г.047, г.183, г.185, г.205, г.218, г.260, г.290, г.293, г.447, г.454, г.456, г.534, г.564, г.580, г.601, г.614, г.616, г.617
II-03	T1 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване)	7,5	г.033, г.186, г.257, г.280, г.281, г.385, г.387, г.388, г.389, г.421, г.481, г.482, г.483, г.565, г.584, г.585, г.586, г.613
II-04	T9 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	г.035, г.052, г.181, г.217, г.221, г.223, г.241, г.319, г.407, г.429, г.450, г.463, г.473, г.474, г.475, г.557,

			r.562, r.599
П-05	T2 (X-подібне, нерегульоване/ X-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	r.061, r.082, r.211, r.224, r.275, r.277, r.278, r.413, r.416, r.419, r.422, r.477, r.581, r.606, r.608, r.610
П-06	T9 (T-подібне, нерегульоване/X-подібне, світлофорне регулювання)	15	r.103, r.126, r.301, r.303, r.305, r.326, r.465, r.466, r.470, r.479, r.487, r.589
П-07	T3 (X-подібне, світлофорне регулювання/X-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	r.110, r.304, r.306, r.472, r.476, r.555, r.583, r.600
П-08	T8 (T-подібне, світлофорне регулювання/ X-подібне, нерегульоване)	7,5	r.016, r.088, r.228, r.268, r.382, r.480, r.578
П-09	T4 (T-подібне, нерегульоване/ T-подібне, нерегульоване)	15	r.355, r.344, r.348, r.349, r.467, r.490
П-10	T3 (X-подібне, світлофорне регулювання/X-подібне, світлофорне регулювання)	15	r.279, r.448, r.471, r.478, r.582
П-11	T7 (T-подібне, нерегульоване/X-подібне, нерегульоване)	15	r.133, r.334, r.468, r.469, r.491
П-12	T10 (T-подібне, світлофорне регулювання/X-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	r.166, r.213, r.405, r.602
П-13	T5 (T-подібне, нерегульоване/ T-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	r.171, r.402, r.492
П-14	T1 (X-подібне, нерегульоване/ X-подібне, нерегульоване)	15	r.135, r.276, r.342
П-15	T2 (X-подібне, нерегульоване/ X-подібне, світлофорне регулювання)	15	r.420, r.446, r.558
П-16	T5 (T-подібне, нерегульоване/ T-подібне, світлофорне регулювання)	15	r.406, r.408
П-17	T10 (T-подібне, світлофорне регулювання/X-подібне, світлофорне регулювання)	15	r.101
ВУЛИЦІ ТА ДОРОГИ МІСЦЕВОГО ЗНАЧЕННЯ			
ПІ-01	T7 (T-подібне, нерегульоване/X-подібне, нерегульоване)	5,5	r.021, r.037, r.067, r.074, r.097, r.157, r.184, r.188, r.282, r.291, r.292, r.294, r.295, r.297, r.298, r.299, r.302, r.315, r.337, r.339, r.340, r.341, r.343, r.367, r.383, r.439, r.440, r.451, r.452, r.455, r.457, r.488, r.489, r.496, r.510, r.515, r.521, r.522,

			r.523, r.524, r.530, r.537, r.538, r.540, r.560, r.570, r.577, r.588, r.594, r.595, r.596, r.597, r.605, r.612, r.618
III-02	T4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване)	5,5	r.007, r.019, r.023, r.054, r.063, r.064, r.065, r.070, r.071, r.075, r.076, r.118, r.148, r.159, r.200, r.201, r.227, r.251, r.283, r.284, r.285, r.289, r.296, r.300, r.332, r.335, r.338, r.346, r.351, r.352, r.358, r.370, r.398, r.425, r.426, r.458, r.531, r.536, r.539, r.542, r.543, r.551, r.573
III-03	T4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване)	3,5	r.036, r.041, r.042, r.043, r.044, r.049, r.056, r.062, r.066, r.072, r.084, r.138, r.164, r.190, r.191, r.192, r.197, r.199, r.216, r.357, r.374, r.375, r.376, r.377, r.378, r.393, r.401, r.403, r.504, r.532, r.541, r.598
III-04	T4 (Т-подібне, нерегульоване/ Т-подібне, нерегульоване)	6	r.017, r.068, r.145, r.150, r.162, r.189, r.193, r.210, r.250, r.253, r.256, r.259, r.270, r.347, r.356, r.409, r.449, r.484, r.503, r.590, r.592, r.593, r.603, r.622, r.623
III-05	T7 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, нерегульоване)	3,5	r.003, r.005, r.009, r.030, r.040, r.050, r.195, r.196, r.220, r.222, r.226, r.231, r.233, r.255, r.266, r.368, r.372, r.384, r.391, r.394, r.395, r.411, r.508, r.520
III-06	T1 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване)	5,5	r.024, r.027, r.029, r.038, r.086, r.204, r.263, r.360, r.369, r.386, r.390, r.453, r.500, r.501, r.507, r.517, r.519, r.526, r.527, r.528, r.529, r.533, r.615
III-07	T7 (Т-подібне, нерегульоване/Х-подібне, нерегульоване)	6	r.020, r.022, r.039, r.058, r.194, r.214, r.252, r.254, r.258, r.271, r.359, r.371, r.444, r.486, r.497, r.502, r.505, r.511, r.516, r.535, r.604
III-08	T1 (Х-подібне, нерегульоване/ Х-подібне, нерегульоване)	6	r.025, r.028, r.032, r.244, r.272, r.362, r.373, r.392,

			г.498, г.499, г.506, г.561, г.567
III-09	T1 (X-подібне, нерегульоване/ X-подібне, нерегульоване)	3,5	г.198, г.229, г.361, г.365, г.366, г.412, г.518, г.525
III-10	T2 (X-подібне, нерегульоване/ X-подібне, світлофорне регулювання)	6	г.572, г.242, г.436, г.514, г.563
III-11	T9 (T-подібне, нерегульоване/X-подібне, світлофорне регулювання)	6	г.246, г.248, г.274, г.512, г.621
III-12	T2 (X-подібне, нерегульоване/ X-подібне, світлофорне регулювання)	5,5	г.026, г.059, г.202, г.445
III-13	T5 (T-подібне, нерегульоване/ T-подібне, світлофорне регулювання)	6	г.051, г.069, г.350, г.443
III-14	T9 (T-подібне, нерегульоване/X-подібне, світлофорне регулювання)	5,5	г.060, г.309, г.574
III-15	T5 (T-подібне, нерегульоване/ T-подібне, світлофорне регулювання)	5,5	г.090, г.396
III-16	T8 (T-подібне, світлофорне регулювання/ X-подібне, нерегульоване)	5,5	г.077, г.380
III-17	T7 (T-подібне, нерегульоване/X-подібне, нерегульоване)	7,5	г.237, г.417
III-18	T3 (X-подібне, світлофорне регулювання/X-подібне, світлофорне регулювання)	5,5	г.112
III-19	T4 (T-подібне, нерегульоване/ T-подібне, нерегульоване)	7,5	г.553
III-20	T9 (T-подібне, нерегульоване/X-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	г.418
III-21	T10 (T-подібне, світлофорне регулювання/X-подібне, світлофорне регулювання)	7,5	г.239

Додаток Д

Приклади кореляційних матриць стохастичних осциляцій величини інтенсивності руху на репрезентативній та елементарній ділянці вулично-дорожній мережі

а) для стохастичних осциляцій величини інтенсивності руху в межах часових інтервалів репрезентативної елементарної ділянки г.435 та елементарної ділянки г.081¹⁾

	T _{гд,01}	T _{гд,02}	T _{гд,03}	T _{гд,04}	T _{гд,05}	T _{гд,06}	T _{гд,07}	T _{гд,08}	T _{гд,09}	T _{гд,10}	T _{гд,11}	T _{гд,12}	T _{гд,13}	T _{гд,14}	T _{гд,15}	T _{гд,16}	T _{гд,17}	T _{гд,18}	T _{гд,19}	T _{гд,20}	T _{гд,21}	T _{гд,22}	T _{гд,23}	T _{гд,24}	T _{гд,25}	T _{гд,26}	T _{гд,27}	T _{гд,28}	T _{гд,29}	T _{гд,30}	T _{гд,31}	T _{гд,32}	T _{гд,33}	T _{гд,34}
T _{гд,01}	0.87	0.78	0.51	0.46	0.31	0.12	-0.15	-0.10	0.09	-0.07	-0.18	-0.45	-0.08	-0.03	-0.08	-0.07	-0.09	0.02	0.17	-0.32	-0.10	-0.05	-0.25	-0.42	0.29	0.36	-0.33	-0.16	-0.30	0.09	-0.12	-0.66	-0.63	-0.60
T _{гд,02}	0.73	0.88	0.61	0.45	0.50	-0.01	-0.15	-0.18	0.19	0.15	-0.12	-0.33	-0.14	0.12	-0.11	-0.07	-0.02	-0.10	0.13	-0.17	-0.22	0.06	-0.24	-0.35	0.03	0.36	-0.22	-0.40	-0.10	0.00	-0.20	-0.62	-0.78	-0.73
T _{гд,03}	0.62	0.79	0.65	0.42	0.52	0.23	-0.33	-0.24	0.23	0.09	-0.16	-0.30	-0.19	0.13	0.06	0.00	-0.11	-0.09	0.12	-0.33	-0.14	-0.14	-0.18	-0.38	0.32	0.27	-0.29	-0.31	-0.11	0.05	-0.17	-0.73	-0.65	-0.81
T _{гд,04}	0.47	0.54	0.62	0.23	0.35	0.02	-0.07	-0.05	0.25	0.15	-0.16	-0.19	0.08	0.15	-0.15	-0.20	-0.07	-0.07	0.03	-0.08	-0.38	0.07	-0.17	-0.24	0.10	0.21	0.00	-0.36	-0.10	-0.18	-0.01	-0.27	-0.46	-0.55
T _{гд,05}	0.55	0.59	0.37	0.57	0.29	0.04	-0.23	-0.08	0.16	0.21	-0.24	-0.36	-0.08	0.19	0.04	-0.15	-0.12	-0.02	0.11	-0.43	-0.08	-0.12	-0.15	-0.27	0.20	0.21	-0.24	-0.10	-0.19	0.01	-0.31	-0.36	-0.31	-0.47
T _{гд,06}	0.31	0.48	0.59	0.33	0.42	0.12	-0.08	-0.21	0.20	0.04	0.18	-0.32	-0.29	0.16	-0.01	-0.07	-0.19	0.04	0.11	-0.06	-0.43	0.03	-0.16	-0.16	-0.01	0.27	-0.10	-0.20	-0.05	-0.03	-0.23	-0.45	-0.36	-0.40
T _{гд,07}	0.01	0.01	0.12	0.15	0.32	0.07	-0.23	-0.20	0.09	0.09	-0.19	0.05	-0.25	-0.04	0.13	-0.09	-0.11	-0.21	0.11	0.03	-0.02	-0.27	0.04	0.11	0.03	-0.03	-0.08	-0.04	0.08	0.03	-0.07	-0.30	-0.08	-0.13
T _{гд,08}	-0.12	-0.10	0.02	0.06	0.01	0.17	-0.12	-0.15	-0.12	0.01	0.08	-0.21	-0.01	0.12	0.16	0.17	-0.09	-0.31	-0.33	0.16	0.10	-0.11	-0.04	-0.06	0.15	0.05	0.12	0.00	0.13	0.07	-0.08	0.03	-0.20	-0.07
T _{гд,09}	0.10	0.11	0.06	0.35	0.19	-0.16	-0.06	0.02	-0.19	-0.08	0.01	0.04	-0.26	-0.06	-0.05	0.28	0.08	-0.05	-0.04	-0.27	0.09	0.29	-0.02	0.11	-0.18	0.04	0.05	0.16	-0.17	0.20	-0.09	-0.05	-0.17	-0.19
T _{гд,10}	0.24	0.15	0.21	0.07	0.32	0.28	-0.23	-0.16	0.04	-0.07	-0.05	-0.13	0.11	-0.18	0.00	-0.04	0.15	0.15	-0.23	-0.11	-0.22	0.00	0.08	-0.15	0.35	0.03	-0.22	-0.06	0.00	0.00	0.19	-0.28	-0.14	-0.28
T _{гд,11}	0.08	0.05	-0.03	0.12	0.01	0.14	0.16	-0.01	-0.16	0.18	-0.14	-0.14	-0.03	0.21	-0.05	0.06	-0.04	0.05	0.19	-0.25	0.19	-0.10	-0.23	0.00	0.00	0.18	0.05	-0.25	-0.13	-0.11	0.03	0.01	-0.16	0.09
T _{гд,12}	0.04	-0.05	0.16	0.05	0.12	0.00	-0.02	0.03	0.08	-0.21	-0.01	0.00	-0.18	-0.14	0.25	0.03	0.16	0.02	-0.02	0.19	-0.12	0.00	-0.02	-0.23	-0.15	-0.20	0.04	0.24	-0.32	-0.15	-0.03	0.11	0.05	-0.03
T _{гд,13}	0.18	0.25	0.16	0.33	0.07	0.05	-0.21	-0.07	-0.27	0.26	-0.07	-0.20	-0.09	-0.10	0.10	0.18	-0.03	0.04	0.22	-0.04	0.18	-0.11	-0.01	-0.07	-0.16	-0.05	-0.09	-0.05	-0.14	-0.13	-0.19	-0.10	-0.14	-0.15
T _{гд,14}	0.10	0.15	0.32	0.06	0.32	0.17	-0.03	0.00	-0.11	-0.17	0.08	-0.08	-0.31	-0.01	-0.03	-0.18	0.15	0.08	0.11	-0.11	-0.10	0.10	-0.21	-0.21	0.04	-0.06	-0.09	-0.06	-0.09	-0.06	-0.22	-0.19	-0.02	-0.19
T _{гд,15}	0.15	0.21	-0.19	0.01	0.05	0.04	0.00	-0.11	0.24	0.08	0.02	0.08	0.03	0.11	-0.13	0.17	-0.24	0.00	0.28	0.01	0.02	-0.10	-0.24	-0.02	-0.08	0.10	-0.33	-0.16	0.10	-0.10	-0.07	-0.08	-0.23	-0.15
T _{гд,16}	0.06	0.13	0.14	-0.32	0.02	0.09	-0.10	-0.03	-0.18	0.45	-0.09	0.08	-0.03	0.03	0.13	-0.05	0.27	-0.11	0.21	0.06	0.08	0.06	-0.13	-0.21	0.04	-0.17	-0.04	-0.30	-0.02	0.13	-0.26	0.01	-0.03	-0.23
T _{гд,17}	-0.15	-0.13	-0.01	-0.06	-0.35	-0.20	0.06	-0.08	-0.13	-0.26	0.45	-0.11	-0.06	0.00	0.18	0.10	-0.05	0.17	-0.16	0.23	0.11	-0.07	0.17	-0.17	-0.07	0.10	-0.09	0.06	-0.09	0.08	0.10	-0.14	0.15	0.19
T _{гд,18}	0.28	0.13	-0.01	0.26	-0.09	-0.12	-0.09	0.10	0.08	-0.15	-0.31	0.17	-0.16	-0.14	-0.15	0.18	-0.17	0.05	-0.02	-0.07	0.24	-0.10	-0.33	-0.05	0.05	0.28	-0.13	-0.07	-0.01	0.05	0.05	-0.09	-0.24	-0.16
T _{гд,19}	-0.22	-0.20	-0.12	0.13	-0.09	-0.08	-0.16	0.02	0.05	0.17	-0.01	-0.28	0.04	-0.02	0.18	0.16	-0.03	-0.07	-0.27	0.06	-0.10	-0.12	0.56	0.14	-0.01	-0.04	-0.01	-0.08	0.35	0.07	-0.05	0.22	0.21	0.07
T _{гд,20}	-0.03	-0.16	0.08	-0.15	0.11	-0.14	0.16	0.20	-0.31	0.21	-0.05	-0.01	0.06	-0.14	0.12	-0.17	0.61	0.18	-0.16	0.07	0.01	0.05	0.16	-0.05	-0.10	-0.14	0.19	-0.24	-0.06	0.03	-0.06	0.16	0.14	0.00
T _{гд,21}	0.00	-0.02	0.08	0.18	0.10	0.02	0.14	0.05	0.16	-0.05	0.06	-0.22	-0.33	-0.05	0.31	-0.18	0.16	-0.16	-0.06	0.15	-0.15	-0.25	-0.02	-0.13	0.03	-0.21	0.19	0.13	0.18	-0.07	0.02	-0.04	0.12	0.03
T _{гд,22}	0.13	-0.05	0.11	0.09	0.03	-0.05	-0.22	0.08	0.07	0.10	-0.02	0.19	-0.11	-0.22	0.13	0.11	-0.05	0.30	-0.23	0.00	0.19	-0.03	-0.17	-0.01	-0.15	-0.03	-0.14	0.19	-0.08	0.03	-0.08	-0.05	0.00	-0.01
T _{гд,23}	-0.38	-0.37	-0.23	-0.20	-0.04	-0.13	0.12	-0.21	-0.14	0.18	0.09	0.10	0.25	-0.05	0.02	-0.03	0.18	-0.02	-0.13	0.23	0.11	0.17	0.22	0.11	-0.24	-0.20	0.15	-0.07	0.40	-0.05	0.14	0.28	0.26	0.22
T _{гд,24}	-0.04	-0.19	-0.12	0.01	-0.23	0.12	-0.12	0.30	-0.18	-0.11	0.09	0.16	0.19	0.16	-0.01	0.08	-0.07	-0.03	-0.09	0.06	0.32	-0.07	0.19	-0.06	0.02	-0.12	0.14	0.10	-0.19	0.10	-0.14	0.07	0.12	0.14
T _{гд,25}	0.07	0.10	0.15	0.05	0.15	-0.24	0.06	0.06	0.26	-0.04	0.24	-0.06	0.10	0.22	0.30	-0.13	0.07	-0.14	-0.13	0.11	-0.10	0.27	-0.02	0.13	-0.14	0.01	0.24	-0.06	0.03	-0.07	0.02	-0.22	-0.15	-0.26
T _{гд,26}	-0.44	-0.38	-0.19	-0.28	-0.05	0.18	-0.18	0.11	0.06	0.14	0.20	0.25	-0.03	0.10	0.28	0.28	-0.02	-0.03	0.03	-0.03	-0.05	0.15	0.29	0.28	-0.02	-0.39	0.04	0.28	0.02	0.15	0.13	0.19	0.20	0.11
T _{гд,27}	0.09	-0.02	-0.24	-0.02	-0.17	0.21	-0.06	-0.05	0.07	0.19	0.07	0.10	0.15	-0.03	0.19	0.23	0.12	0.06	0.00	-0.03	0.14	-0.13	-0.11	0.09	0.36	0.05	-0.35	-0.08	-0.02	0.04	0.05	-0.06	0.01	-0.07
T _{гд,28}	-0.10	0.04	0.14	-0.04	0.12	0.05	0.22	0.03	-0.08	0.03	0.17	0.10	-0.05	-0.05	0.03	0.10	0.18	0.14	-0.05	-0.09	-0.13	0.18	-0.01	-0.10	-0.01	0.22	0.17	-0.36	-0.24	0.03	-0.01	0.01	-0.10	0.02
T _{гд,29}	-0.08	-0.29	-0.26	-0.08	-0.11	0.09	0.17	0.15	0.00	0.05	-0.30	0.16	0.20	-0.14	-0.04	0.10	0.22	0.17	0.00	-0.05	0.05	-0.14	0.14	0.12	-0.17	-0.15	-0.03	0.24	0.03	-0.36	0.13	0.01	0.22	0.16
T _{гд,30}	-0.06	-0.12	-0.05	-0.13	-0.10	0.04	0.07	0.04	-0.09	0.08	-0.02	-0.28	0.04	0.11	0.04	-0.07	0.08	0.05	-0.03	0.11	0.02	-0.15	0.06	-0.06	0.10	-0.05	-0.07	0.05	0.07	0.07	-0.25	0.15	-0.07	0.20
T _{гд,31}	-0.42	-0.28	-0.18	0.09	0.02	-0.22	0.04	-0.02	-0.11	-0.09	0.11	0.33	-0.45	-0.03	0.00	0.18	-0.04	-0.01	0.12	0.07	0.08	0.13	0.06	0.36	-0.47	-0.25	0.32	-0.01	-0.11	-0.18	0.21	0.20	0.19	0.29
T _{гд,32}	-0.66	-0.73	-0.29	-0.46	-0.18	-0.03	0.13	0.19	-0.31	-0.15	0.08	0.42	0.15	-0.33	0.06	-0.18	0.29	-0.04	-0.17	0.35	0.07	0.11	0.41	0.18	-0.16	-0.53	0.29	0.43	-0.06	-0.19	0.07	0.54	0.59	0.51
T _{гд,33}	-0.52	-0.69	-0.61	-0.24	-0.57	-0.26	-0.03	0.18	-0.15	-0.14	0.07	0.24	0.37	0.06	-0.09	0.04	-0.15	0.09	-0.10	0.19	0.42	0.01	0.30	0.43	-0.14	-0.36	0.05	0.35	0.07	-0.08	-0.08	0.52	0.54	0.65
T _{гд,34}	-0.73	-0.73	-0.41	-0.35	-0.23	-0.08	0.33	0.00	-0.27	-0.03	0.14	0.24	0.18	-0.12	-0.06	0.08	0.11	0.01	-0.16	0.26	0.05	0.09	0.29	0.42	-0.45	-0.29	0.31	0.32	0.04	-0.11	0.20	0.57	0.64	0.69

Примітка:

¹⁾ Використовуються позначення:

- для ідентифікації часових інтервалів репрезентативної елементарної ділянки г.435 та елементарної ділянки г.081:
 - $T_{гд,i}$, де $i = 1, 2, \dots, n$, є ідентифікатор i -го часового інтервалу (Т) репрезентативної елементарної ділянки (РД);
 - $T_{ед,i}$, де $i = 1, 2, \dots, n$, є ідентифікатор i -го часового інтервалу (Т) елементарної ділянки (ЕД).
- для ідентифікації періодів спостереження часових інтервалів репрезентативної елементарної ділянки г.435 та елементарної ділянки г.081:
 - $T_{срд,i}$, де $i = 1, 2, \dots, n$, є ідентифікатор періоду спостереження i -го часового інтервалу (Тс) репрезентативної елементарної ділянки (РД);

б) для стохастичних осциляцій величини інтенсивності руху в межах періоду спостереження часових інтервалів репрезентативної елементарної ділянки г.435 та елементарної ділянки г.081¹⁾

	ТС _{д 01}	ТС _{д 02}	ТС _{д 03}	ТС _{д 04}	ТС _{д 05}	ТС _{д 06}	ТС _{д 07}	ТС _{д 08}	ТС _{д 09}	ТС _{д 10}	ТС _{д 11}	ТС _{д 12}	ТС _{д 13}	ТС _{д 14}	ТС _{д 15}	ТС _{д 16}	ТС _{д 17}	ТС _{д 18}	ТС _{д 19}	ТС _{д 20}	ТС _{д 21}	ТС _{д 22}	ТС _{д 23}	ТС _{д 24}	ТС _{д 25}	ТС _{д 26}	ТС _{д 27}	ТС _{д 28}	ТС _{д 29}	ТС _{д 30}	ТС _{д 31}	ТС _{д 32}	ТС _{д 33}	ТС _{д 34}
ТС _{р 01}	0.36	0.45	0.58	0.04	0.34	-0.06	0.10	-0.06	-0.01	-0.17	0.01	-0.38	-0.42	0.03	0.19	-0.02	0.03	-0.11	0.19	-0.03	-0.37	0.36	0.03	-0.17	-0.13	0.05	0.15	-0.08	-0.33	0.04	0.07	-0.25	-0.28	-0.41
ТС _{р 02}	0.53	0.83	0.75	0.10	0.55	-0.18	-0.02	-0.30	0.07	0.20	-0.10	-0.23	-0.31	0.09	0.11	-0.15	0.16	-0.21	-0.05	0.10	-0.30	0.20	-0.12	-0.27	-0.41	0.20	0.21	-0.36	0.00	-0.18	0.02	-0.34	-0.59	-0.62
ТС _{р 03}	0.42	0.65	0.74	0.11	0.61	0.09	-0.12	-0.22	0.06	0.08	-0.04	-0.01	-0.40	0.18	0.19	-0.13	0.04	-0.10	0.05	-0.21	-0.23	0.09	0.12	-0.20	-0.06	0.01	0.09	-0.23	-0.08	-0.07	-0.07	-0.55	-0.39	-0.73
ТС _{р 04}	0.44	0.77	0.76	-0.18	0.55	0.10	-0.08	-0.06	-0.08	0.24	-0.02	-0.26	-0.12	0.14	0.12	-0.40	0.06	-0.23	0.18	0.06	-0.37	0.11	-0.12	-0.24	-0.05	0.11	0.38	-0.48	-0.02	-0.16	0.03	-0.12	-0.44	-0.63
ТС _{р 05}	0.06	0.29	0.24	0.37	0.29	-0.15	-0.20	-0.06	0.16	0.25	0.06	-0.26	-0.11	0.36	0.28	-0.26	-0.15	-0.19	0.04	-0.27	-0.08	-0.21	0.06	0.00	-0.05	0.01	0.03	0.02	-0.12	-0.10	-0.29	-0.13	0.07	-0.24
ТС _{р 06}	0.30	0.51	0.58	0.04	0.55	0.14	0.01	-0.28	0.14	0.04	0.32	-0.40	-0.35	0.14	0.16	-0.06	-0.16	0.01	0.10	0.02	-0.53	0.10	-0.20	-0.08	-0.22	0.22	0.09	-0.21	0.00	-0.13	0.01	-0.45	-0.12	-0.27
ТС _{р 07}	0.12	0.02	0.10	0.29	0.49	-0.02	-0.17	-0.01	0.07	0.07	-0.14	0.06	-0.35	-0.14	0.12	-0.22	-0.07	-0.11	0.19	-0.03	-0.05	-0.27	0.00	0.17	0.02	-0.18	0.05	-0.03	0.12	0.04	-0.09	-0.46	-0.02	-0.13
ТС _{р 08}	0.02	-0.04	-0.12	0.04	0.18	0.27	-0.08	-0.21	-0.29	0.04	0.12	-0.16	0.05	0.04	0.00	0.18	-0.02	-0.14	-0.26	-0.02	0.01	0.10	-0.23	0.07	0.14	-0.04	0.08	-0.07	-0.02	0.09	-0.04	0.02	-0.35	-0.09
ТС _{р 09}	0.31	-0.07	0.00	0.36	0.21	-0.23	-0.04	0.00	-0.24	-0.16	0.06	0.07	-0.33	-0.08	0.11	0.34	0.14	-0.03	-0.45	-0.42	0.24	0.16	-0.26	-0.02	-0.17	0.10	0.23	0.20	-0.20	0.15	0.02	-0.11	-0.06	-0.22
ТС _{р 10}	-0.15	0.07	0.08	-0.05	0.37	0.14	-0.22	-0.06	-0.07	-0.12	0.16	-0.06	0.01	-0.22	-0.08	-0.03	0.32	0.04	-0.16	0.02	-0.21	0.17	0.37	-0.01	0.30	-0.31	0.03	0.03	0.18	-0.05	0.31	-0.15	-0.02	-0.17
ТС _{р 11}	0.05	0.20	-0.04	0.22	0.08	0.18	0.24	-0.16	-0.16	0.12	-0.15	-0.18	-0.10	0.25	-0.12	0.08	-0.14	0.01	0.20	-0.30	0.11	-0.06	-0.19	0.11	0.07	0.40	0.07	-0.36	-0.09	-0.02	-0.04	0.12	-0.33	0.06
ТС _{р 12}	0.16	0.13	0.14	0.09	0.19	-0.02	0.13	0.25	0.06	-0.26	0.24	-0.07	-0.22	-0.03	0.23	-0.02	0.11	0.08	0.00	0.25	-0.30	0.04	-0.21	-0.29	-0.23	-0.26	0.07	0.28	-0.32	-0.18	-0.26	0.13	-0.09	-0.18
ТС _{р 13}	-0.21	0.11	0.06	0.24	0.04	0.05	-0.08	-0.15	-0.33	0.28	-0.09	-0.14	-0.04	-0.13	-0.11	0.21	0.02	0.15	0.06	0.08	0.12	-0.01	0.14	0.04	-0.31	-0.11	-0.07	-0.15	0.01	-0.20	-0.16	0.13	0.08	-0.09
ТС _{р 14}	0.04	0.19	0.40	0.04	0.40	0.06	0.07	-0.19	-0.12	-0.34	0.15	-0.03	-0.38	-0.05	-0.09	-0.22	0.23	-0.10	0.07	0.18	-0.13	0.19	-0.05	-0.15	0.01	-0.04	0.02	-0.06	0.09	-0.15	-0.20	-0.17	0.02	-0.26
ТС _{р 15}	-0.02	-0.03	-0.07	0.09	0.06	0.14	0.12	-0.13	0.08	-0.01	-0.04	0.04	-0.02	-0.15	-0.06	0.08	-0.02	0.08	0.24	-0.08	-0.11	-0.04	0.17	-0.35	-0.15	-0.10	-0.21	-0.18	0.14	-0.02	-0.15	-0.13	-0.08	0.02
ТС _{р 16}	0.10	0.14	0.27	-0.46	-0.02	-0.13	-0.05	0.05	-0.09	0.42	0.01	0.18	0.10	0.06	0.17	-0.10	0.25	-0.36	-0.03	0.35	0.12	-0.07	-0.11	-0.41	0.09	-0.12	0.15	-0.35	-0.10	0.06	-0.28	0.06	-0.03	-0.27
ТС _{р 17}	-0.08	-0.06	-0.04	0.01	-0.39	-0.25	0.13	-0.14	-0.09	-0.24	0.43	-0.04	0.07	0.02	0.04	0.26	-0.06	0.34	-0.09	0.21	-0.04	0.17	0.27	-0.10	-0.19	0.18	-0.33	-0.02	-0.27	0.05	0.17	-0.24	0.15	0.21
ТС _{р 18}	0.17	-0.20	-0.16	0.10	-0.19	-0.26	-0.04	0.19	-0.07	-0.17	0.37	0.49	-0.26	-0.20	-0.18	0.21	-0.11	0.01	0.08	0.05	0.42	0.00	-0.26	0.14	-0.24	0.20	-0.06	-0.04	-0.08	0.05	0.14	0.09	-0.13	0.11
ТС _{р 19}	-0.11	0.10	0.16	-0.24	-0.05	-0.15	-0.02	0.05	0.13	-0.07	0.20	0.11	0.10	0.02	0.00	-0.04	0.27	0.03	0.19	0.22	-0.18	-0.06	0.51	-0.26	0.03	0.01	-0.28	-0.22	-0.16	-0.06	0.33	-0.12	0.08	-0.14
ТС _{р 20}	0.16	0.04	0.04	-0.23	0.17	-0.31	0.18	0.33	-0.38	0.27	0.14	-0.18	0.08	0.00	0.04	-0.14	0.51	0.04	-0.17	0.05	0.03	-0.12	-0.01	-0.07	-0.02	-0.12	0.27	-0.31	0.04	0.05	-0.15	0.17	-0.04	-0.18
ТС _{р 21}	-0.08	0.01	0.10	0.21	0.18	0.18	0.17	-0.08	0.26	-0.01	-0.10	-0.29	-0.39	-0.06	0.39	-0.15	0.15	-0.16	-0.07	0.10	-0.39	-0.20	-0.01	-0.08	0.05	-0.22	0.08	0.11	0.26	-0.03	0.04	0.01	0.18	-0.04
ТС _{р 22}	0.29	0.03	0.02	0.05	0.18	-0.05	-0.22	0.18	-0.02	0.10	0.04	0.37	-0.26	-0.29	0.16	0.14	-0.08	0.43	-0.32	-0.13	0.22	0.05	-0.31	0.02	-0.21	0.04	-0.12	0.16	-0.15	0.14	-0.21	0.02	-0.01	0.05
ТС _{р 23}	-0.19	0.16	-0.07	0.22	0.09	-0.08	-0.16	-0.32	-0.06	0.36	-0.01	-0.16	0.15	0.06	-0.10	0.02	0.07	-0.14	0.09	-0.08	0.13	0.20	0.17	-0.16	-0.09	-0.17	-0.07	-0.21	0.46	0.12	-0.10	0.04	-0.16	-0.15
ТС _{р 24}	-0.16	-0.30	-0.24	-0.02	-0.18	0.31	-0.26	0.31	-0.28	-0.14	0.16	0.16	0.11	0.05	0.02	0.08	-0.10	0.23	0.04	-0.16	0.37	0.01	0.12	-0.01	0.16	-0.29	0.09	0.16	-0.33	0.30	-0.17	0.26	0.27	0.13
ТС _{р 25}	0.50	0.27	0.36	0.16	0.10	-0.32	0.03	0.02	0.31	-0.01	0.05	-0.11	0.07	0.26	0.49	-0.21	0.06	-0.15	-0.18	0.09	0.02	0.30	-0.19	0.08	-0.26	0.15	0.26	0.10	-0.18	-0.16	0.05	-0.25	-0.24	-0.40
ТС _{р 26}	0.01	-0.02	-0.03	-0.12	0.02	0.37	-0.24	-0.05	0.13	0.18	0.02	0.34	0.01	0.11	0.26	0.21	-0.05	0.12	-0.10	-0.35	-0.04	0.03	0.21	0.04	0.27	-0.14	-0.26	0.32	-0.16	0.15	0.06	-0.22	-0.17	-0.23
ТС _{р 27}	-0.48	-0.46	-0.43	-0.15	-0.40	-0.01	0.14	-0.10	0.20	0.10	0.18	0.23	0.28	-0.11	0.15	0.23	0.17	0.03	-0.14	0.17	0.18	-0.08	0.05	0.26	0.40	-0.10	-0.33	0.08	0.13	-0.06	0.27	0.23	0.29	0.15
ТС _{р 28}	0.27	0.21	0.16	-0.25	0.03	0.04	0.41	-0.23	-0.11	0.08	0.25	0.02	0.14	-0.08	-0.03	0.18	0.25	0.20	0.02	0.01	-0.01	0.14	-0.23	-0.09	-0.01	0.42	0.09	-0.51	-0.12	-0.13	0.23	-0.13	-0.30	-0.10
ТС _{р 29}	-0.06	-0.35	-0.30	0.07	0.02	0.11	0.10	0.25	0.12	-0.04	-0.20	0.20	0.15	-0.18	-0.06	0.15	0.13	0.17	0.06	-0.11	-0.03	-0.25	0.21	0.17	-0.10	-0.12	-0.06	0.30	-0.11	-0.33	0.03	-0.13	0.12	0.13
ТС _{р 30}	-0.18	0.01	-0.28	-0.20	-0.05	-0.03	0.22	0.14	-0.07	0.16	0.07	-0.30	0.06	0.25	-0.20	-0.02	0.06	0.15	0.12	0.02	-0.10	-0.06	-0.12	0.08	0.13	-0.14	-0.07	-0.05	0.22	0.05	-0.38	0.32	-0.19	0.28
ТС _{р 31}	0.10	0.10	0.08	0.61	0.08	-0.11	-0.07	-0.11	-0.06	-0.11	-0.14	0.01	-0.50	-0.09	0.03	0.32	-0.16	0.03	0.07	-0.04	0.13	0.05	-0.12	0.21	-0.39	-0.01	0.16	-0.12	-0.06	-0.20	0.23	-0.13	-0.11	-0.11
ТС _{р 32}	-0.28	-0.42	-0.17	-0.19	0.09	0.36	-0.24	0.25	-0.23	-0.17	0.02	0.22	0.25	-0.50	0.04	-0.18	0.20	-0.01	-0.06	0.14	-0.03	-0.01	0.28	-0.08	0.38	-0.56	-0.13	0.43	-0.26	-0.04	-0.21	0.23	0.26	-0.03
ТС _{р 33}	-0.46	-0.63	-0.71	0.03	-0.62	-0.21	-0.16	0.27	-0.08	-0.14	0.04	0.07	0.56	0.18	-0.27	0.05	-0.31	0.24	-0.10	-0.02	0.56	-0.08	0.15	0.36	0.15	-0.27	-0.27	0.24	0.14	0.01	-0.38	0.35	0.36	0.53
ТС _{р 34}	-0.37	-0.32	-0.41	0.22	-0.03	0.25	0.18	-0.18	-0.17	-0.02	0.26	-0.20	0.13	-0.20	-0.24	0.13	0.00	0.15	-0.15	-0.12	0.04	-0.19	0.05	0.17	-0.08	-0.08	-0.01	0.22	-0.09	0.20	-0.13	0.19	0.36	0.42

Примітка:

¹⁾ Використовуються позначення:

- а) для ідентифікації часових інтервалів репрезентативної елементарної ділянки г.435 та елементарної ділянки г.081:
 - Т_{р_д i}, де i = 1,2,...,n, є ідентифікатор i-го часового інтервалу (Т) репрезентативної елементарної ділянки (РД);
 - Т_{ед_д i}, де i = 1,2,...,n, є ідентифікатор i-го часового інтервалу (Т) елементарної ділянки (ЕД).
- б) для ідентифікації періодів спостереження часових інтервалів репрезентативної елементарної ділянки г.435 та елементарної ділянки г.081:
 - Тс_{р_д i}, де i = 1,2,...,n, є ідентифікатор періоду спостереження i-го часового інтервалу (Тс) репрезентативної елементарної ділянки (РД);
 - Тс_{ед_д i}, де i = 1,2,...,n, є ідентифікатор періоду спостереження i-го часового інтервалу (Тс) елементарної ділянки (ЕД).
- в) для ідентифікації періодів спостереження часових інтервалів репрезентативної елементарної ділянки г.435 та елементарної

в) для стохастичних осциляцій величини інтенсивності руху в межах періоду прогнозування часових інтервалів репрезентативної елементарної ділянки г.435 та елементарної ділянки г.081¹⁾

	Т _{РД,01}	Т _{РД,02}	Т _{РД,03}	Т _{РД,04}	Т _{РД,05}	Т _{РД,06}	Т _{РД,07}	Т _{РД,08}	Т _{РД,09}	Т _{РД,10}	Т _{РД,11}	Т _{РД,12}	Т _{РД,13}	Т _{РД,14}	Т _{РД,15}	Т _{РД,16}	Т _{РД,17}	Т _{РД,18}	Т _{РД,19}	Т _{РД,20}	Т _{РД,21}	Т _{РД,22}	Т _{РД,23}	Т _{РД,24}	Т _{РД,25}	Т _{РД,26}	Т _{РД,27}	Т _{РД,28}	Т _{РД,29}	Т _{РД,30}	Т _{РД,31}	Т _{РД,32}	Т _{РД,33}	Т _{РД,34}
Т _{РД,01}	0.80	0.56	0.52	0.33	-0.10	0.01	0.02	-0.11	-0.28	-0.17	-0.39	-0.33	0.34	-0.28	-0.05	-0.29	0.15	-0.07	-0.22	-0.17	0.27	-0.35	0.03	-0.60	0.12	0.30	-0.16	0.23	-0.34	-0.23	0.33	-0.66	-0.38	0.01
Т _{РД,02}	0.41	0.31	0.28	0.30	-0.17	-0.26	0.24	0.25	-0.05	-0.06	-0.08	0.04	0.45	0.25	-0.31	-0.03	0.11	-0.43	-0.08	0.19	-0.03	0.10	0.47	-0.16	-0.35	0.14	-0.01	-0.14	-0.14	-0.24	-0.08	-0.58	-0.62	0.07
Т _{РД,03}	0.61	0.29	0.38	0.18	-0.02	0.28	-0.49	-0.36	0.17	0.07	-0.36	-0.40	0.24	0.01	0.32	0.24	-0.02	-0.47	-0.27	-0.01	0.17	-0.55	0.02	-0.50	0.47	0.19	-0.15	-0.09	-0.03	-0.16	0.38	-0.64	-0.37	-0.45
Т _{РД,04}	0.40	-0.09	0.31	0.56	-0.28	-0.28	0.19	0.03	0.58	-0.06	-0.30	0.15	0.46	0.15	-0.41	0.08	-0.16	0.05	-0.42	0.04	-0.37	0.11	0.04	-0.08	-0.03	0.11	-0.14	0.04	-0.13	-0.51	0.25	-0.06	-0.15	-0.15
Т _{РД,05}	0.19	0.02	0.44	0.42	-0.29	0.08	0.13	-0.02	-0.24	0.13	-0.84	-0.15	0.06	-0.23	-0.05	-0.06	0.39	0.09	-0.23	-0.39	0.06	0.17	0.16	-0.48	-0.07	0.06	0.07	0.19	-0.22	-0.20	0.17	0.17	0.37	0.18
Т _{РД,06}	-0.26	-0.32	0.50	0.60	-0.35	-0.14	0.02	-0.02	0.08	-0.02	0.03	0.16	-0.17	0.18	-0.17	-0.13	-0.08	-0.02	-0.17	0.22	-0.22	-0.01	0.29	-0.05	-0.13	0.08	0.06	0.17	-0.03	-0.03	-0.73	0.00	-0.34	-0.08
Т _{РД,07}	0.12	0.30	0.24	-0.03	-0.08	0.30	-0.44	-0.61	0.17	0.18	-0.30	-0.03	-0.06	0.23	0.14	0.21	-0.26	-0.40	0.01	0.08	0.01	-0.30	0.07	-0.06	0.15	0.30	-0.52	-0.10	0.00	0.03	-0.09	-0.28	-0.60	-0.47
Т _{РД,08}	-0.19	-0.09	0.41	0.34	-0.41	0.00	-0.30	-0.04	0.26	-0.08	0.00	-0.42	-0.13	0.30	0.43	0.15	-0.31	-0.63	-0.45	0.47	0.24	-0.54	0.18	-0.41	0.34	0.30	0.11	0.09	0.33	0.08	-0.34	-0.08	-0.32	-0.39
Т _{РД,09}	-0.37	-0.11	0.04	0.18	-0.03	-0.13	0.04	0.09	-0.27	0.07	-0.04	0.16	-0.10	-0.04	-0.24	0.16	0.06	-0.15	0.57	0.15	-0.12	0.59	0.52	0.49	-0.59	-0.24	-0.01	0.26	-0.11	0.23	-0.23	0.37	-0.06	0.23
Т _{РД,10}	0.50	0.14	0.40	0.13	0.17	0.48	-0.18	-0.33	0.14	-0.01	-0.31	-0.16	0.31	-0.14	0.17	-0.06	-0.11	0.30	-0.44	-0.21	-0.22	-0.25	-0.18	-0.30	0.40	0.44	-0.59	-0.16	-0.19	0.02	0.09	-0.42	-0.24	-0.48
Т _{РД,11}	0.57	0.04	0.04	-0.03	-0.26	0.11	-0.15	0.49	-0.15	0.47	-0.16	-0.13	0.20	0.10	0.11	0.01	0.30	0.21	0.24	-0.27	0.44	-0.26	-0.49	-0.36	-0.17	-0.29	-0.11	0.06	-0.26	-0.41	0.29	-0.46	0.12	0.13
Т _{РД,12}	0.40	-0.03	0.30	0.21	0.10	0.08	-0.42	-0.46	0.20	-0.05	-0.43	0.00	-0.13	-0.37	0.25	-0.03	0.23	-0.05	0.02	-0.01	0.16	-0.10	0.17	-0.22	0.17	0.00	-0.21	0.08	-0.36	-0.03	0.54	-0.09	0.12	-0.06
Т _{РД,13}	0.04	0.09	0.27	0.31	-0.15	-0.11	-0.40	0.21	-0.40	0.13	0.01	-0.14	-0.22	-0.06	0.06	0.13	-0.02	-0.35	0.48	-0.06	0.44	-0.32	-0.01	-0.16	-0.21	-0.24	0.30	0.57	-0.40	-0.11	-0.05	-0.19	-0.19	0.37
Т _{РД,14}	0.01	-0.19	0.08	-0.09	0.01	0.37	-0.19	0.46	-0.17	0.35	-0.02	-0.08	-0.16	0.08	0.16	-0.08	0.02	0.45	0.13	-0.61	-0.02	-0.06	-0.42	-0.27	-0.02	-0.21	-0.24	0.03	-0.37	0.14	-0.24	-0.15	0.22	0.11
Т _{РД,15}	-0.07	0.33	-0.53	-0.49	-0.16	-0.17	-0.03	-0.07	0.36	0.23	0.13	0.32	0.12	0.47	-0.15	0.31	-0.54	0.26	0.30	0.21	-0.14	-0.54	0.51	-0.28	0.19	-0.40	-0.02	0.12	-0.37	0.24	0.25	-0.29	-0.07	
Т _{РД,16}	-0.15	-0.07	-0.20	-0.43	0.00	0.46	-0.13	-0.16	-0.44	0.54	-0.24	0.00	-0.27	-0.07	0.09	0.05	0.42	0.34	0.61	-0.36	0.05	0.34	-0.07	0.20	-0.21	-0.40	-0.32	-0.13	0.11	0.26	-0.14	0.13	0.31	-0.10
Т _{РД,17}	-0.11	0.04	0.17	-0.01	-0.08	-0.02	-0.21	0.03	-0.14	-0.31	0.49	-0.43	-0.39	-0.05	0.45	-0.35	-0.14	-0.18	-0.24	0.18	0.40	-0.69	-0.12	-0.47	0.49	0.10	0.29	0.17	0.18	0.29	-0.34	-0.32	-0.17	-0.08
Т _{РД,18}	0.09	-0.11	0.23	0.32	-0.17	0.04	0.04	-0.08	0.29	-0.17	-0.15	-0.37	0.19	-0.05	0.10	0.07	-0.23	0.07	-0.67	-0.03	-0.13	-0.35	-0.26	-0.35	0.57	0.22	0.18	0.13	0.28	-0.18	0.13	0.09	0.18	-0.33
Т _{РД,19}	-0.06	-0.16	0.32	0.38	0.26	0.04	-0.21	0.11	0.25	-0.28	0.17	-0.24	0.19	0.00	0.00	0.25	-0.30	-0.38	-0.05	0.08	-0.53	0.31	0.67	0.12	0.08	-0.05	-0.12	0.00	-0.09	0.48	-0.11	-0.16	-0.33	-0.26
Т _{РД,20}	0.24	-0.45	0.30	0.24	0.16	0.26	0.01	-0.10	-0.12	0.10	-0.38	0.18	0.00	-0.43	0.21	-0.23	0.74	0.49	-0.06	-0.02	-0.06	0.35	0.32	-0.12	-0.10	-0.08	-0.12	-0.25	-0.24	0.08	0.05	-0.02	0.44	0.01
Т _{РД,21}	0.08	-0.17	0.05	0.23	-0.26	-0.48	0.06	0.44	-0.09	-0.19	0.45	-0.09	-0.17	-0.03	0.12	-0.29	0.23	-0.15	-0.04	0.35	0.52	-0.41	-0.04	-0.33	0.00	-0.23	0.68	0.23	0.03	-0.23	-0.06	-0.24	0.06	0.36
Т _{РД,22}	0.60	-0.02	0.44	0.45	-0.39	-0.01	-0.30	-0.17	0.34	0.11	-0.16	-0.27	0.24	-0.02	0.03	0.03	-0.03	0.01	0.02	0.21	0.09	-0.24	-0.05	-0.17	0.11	-0.09	-0.42	0.25	0.01	-0.24	0.27	-0.40	-0.31	-0.49
Т _{РД,23}	0.45	0.09	-0.28	-0.28	0.28	0.06	0.36	-0.23	0.10	-0.18	0.20	0.10	0.53	-0.26	-0.02	-0.16	0.19	0.48	-0.24	0.40	-0.04	0.03	-0.21	0.30	0.14	0.28	-0.24	-0.38	0.34	-0.16	0.35	-0.18	0.01	-0.34
Т _{РД,24}	0.27	0.21	0.29	0.36	-0.37	-0.30	0.13	0.23	0.12	0.01	-0.05	0.07	0.37	0.46	-0.12	0.09	-0.03	-0.62	-0.32	0.44	0.19	-0.29	0.25	-0.28	-0.22	0.31	0.19	-0.14	0.02	-0.46	-0.21	-0.51	-0.65	0.00
Т _{РД,25}	-0.06	-0.19	-0.39	-0.26	0.38	-0.07	0.17	0.16	0.16	-0.15	0.61	0.03	0.19	0.12	-0.06	0.08	0.12	-0.12	-0.02	0.18	-0.36	0.22	0.29	0.27	0.15	-0.28	0.31	-0.53	0.40	0.20	-0.07	-0.29	-0.05	-0.16
Т _{РД,26}	-0.44	-0.47	-0.28	-0.13	0.16	0.11	-0.40	0.32	0.20	0.19	0.41	-0.13	-0.16	0.16	0.22	0.49	-0.20	-0.18	0.50	0.08	-0.18	0.28	0.13	0.46	-0.07	-0.54	0.02	0.02	0.15	0.41	-0.04	0.27	0.21	-0.13
Т _{РД,27}	-0.19	-0.14	0.02	-0.27	0.29	0.67	-0.38	0.12	-0.43	0.49	-0.08	0.11	-0.14	0.16	0.46	0.23	0.17	0.04	0.15	-0.22	0.14	-0.21	-0.20	-0.09	-0.06	0.13	-0.10	-0.34	-0.23	0.17	-0.49	-0.23	-0.02	0.00
Т _{РД,28}	-0.55	-0.55	0.10	0.20	0.30	0.04	0.01	0.40	-0.09	-0.09	0.10	0.27	-0.31	-0.02	0.13	-0.03	0.12	0.05	-0.18	-0.20	-0.27	0.24	0.29	-0.08	-0.09	-0.04	0.46	-0.13	-0.35	0.28	-0.48	0.29	0.37	0.45
Т _{РД,29}	0.47	0.25	0.01	-0.13	-0.40	0.19	0.21	-0.17	-0.13	0.43	-0.63	-0.13	0.30	0.03	-0.10	-0.01	0.40	0.25	0.02	-0.18	0.18	0.08	-0.23	-0.18	-0.11	-0.02	-0.36	-0.14	0.25	-0.37	0.31	-0.11	0.14	-0.26
Т _{РД,30}	0.46	0.10	0.83	0.47	-0.09	0.32	-0.50	-0.29	-0.01	-0.18	-0.28	-0.49	-0.03	-0.29	0.54	-0.21	0.01	-0.16	-0.28	0.16	0.26	-0.47	0.27	-0.60	0.35	0.37	-0.46	0.20	-0.28	0.30	-0.03	-0.53	-0.40	-0.41
Т _{РД,31}	-0.47	-0.19	-0.52	-0.37	0.29	-0.30	-0.03	0.07	0.05	0.03	0.48	0.70	-0.52	0.14	-0.25	-0.08	0.00	0.04	0.54	-0.10	-0.09	0.25	-0.01	0.46	-0.36	-0.39	0.27	-0.11	-0.30	0.04	-0.18	0.24	0.08	0.56
Т _{РД,32}	-0.12	-0.02	-0.22	0.03	-0.24	-0.65	0.62	0.05	-0.13	-0.14	0.09	0.64	-0.17	-0.08	-0.54	-0.50	0.38	0.30	0.22	0.25	0.15	0.40	0.14	0.29	-0.62	-0.12	0.27	0.09	-0.09	-0.34	-0.08	0.34	0.14	0.61
Т _{РД,33}	-0.03	0.04	-0.07	0.05	0.20	-0.22	-0.37	-0.25	0.14	-0.14	0.07	0.20	-0.21	-0.26	-0.05	0.14	-0.22	-0.14	0.58	0.17	0.10	0.15	0.12	0.46	-0.24	-0.17	-0.19	0.43	-0.40	0.10	0.43	0.30	-0.06	0.21
Т _{РД,34}	0.04	0.26	-0.31	-0.10	0.06	-0.16	0.32	0.05	-0.10	0.13	-0.04	0.34	0.47	0.04	-0.56	0.27	-0.20	0.17	0.47	0.12	-0.19	0.52	-0.08	0.77	-0.62	0.04	-0.33	0.17	-0.07	-0.26	0.22			

Примітка:

¹⁾ Використовуються позначення:

- а) для ідентифікації часових інтервалів репрезентативної елементарної ділянки г.435 та елементарної ділянки г.081:
 - Т_{РД,і}, де і = 1,2,...,n, є ідентифікатор і-го часового інтервалу (Т) репрезентативної елементарної ділянки (РД);
 - Т_{ЕД,і}, де і = 1,2,...,n, є ідентифікатор і-го часового інтервалу (Т) елементарної ділянки (ЕД).
- б) для ідентифікації періодів спостереження часових інтервалів репрезентативної елементарної ділянки г.435 та елементарної ділянки г.081:
 - Т_{сРД,і}, де і = 1,2,...,n, є ідентифікатор періоду спостереження і-го часового інтервалу (Тс) репрезентативної елементарної ділянки (РД);
 - Т_{сЕД,і}, де і = 1,2,...,n, є ідентифікатор періоду спостереження і-го часового інтервалу (Тс) елементарної ділянки (ЕД).
- в) для ідент

Додаток Е

**Параметри проїзної частини ділянок фрагменту вулично-дорожньої мережі,
на прикладі якої проводилося електричне моделювання та оптимізація
функціонування автотранспортних потоків**

$R_i^{1)}$	назва ділянки (вулиці)	$L^{2)}$, км	$N^{3)}$, од.	$d^{4)}$, м	$n_p^{5)}$, од.	$P_{см.}^{6)}$, авт/год.	$Onip$, год.
R01_01	вул. О. Гончара	0,378	2	3,5	1	511	0,211
R01_02	вул, О,Гончара	0,378	2	3,5	1	482	0,224
R01_03	вул, М, Коцюбинського	0,113	1	3	-	290	0,130
R01_04	вул, М, Коцюбинського	0,113	1	3	-	514	0,073
R01_05	вул, О, Гончара	0,463	2	3,5	1	423	0,313
R01_06	вул, О, Гончара	0,463	2	3,5	1	482	0,274
R01_07	пров,Чеховський	0,273	1	5,5	-	143	0,347
R01_08	дуга повороту	0,0165	1	3	-	290	0,019
R01_09	дуга повороту	0,0065	1	3	-	290	0,007
R01_10	дуга повороту	0,0065	1	3	-	423	0,005
R01_11	дуга повороту	0,00625	1	3	-	423	0,005
R01_12	дуга повороту	0,0165	1	3	-	511	0,011
R01_13	дуга повороту	0,0165	1	3	-	423	0,013
R02_01	вул, М,Коцюбинського	0,195	2	3	1	290	0,224
R02_02	вул, М, Коцюбинського	0,195	2	3	1	514	0,126
R02_03	вул, Чапаєва	0,430	1	3	-	150	0,956
R02_04	вул, Чапаєва	0,430	1	3	-	150	0,956
R02_05	дуга повороту	0,006	1	3	-	514	0,004
R02_06	дуга повороту	0,012	1	3	-	290	0,014
R02_07	дуга повороту	0,012	1	3	-	150	0,027
R02_08	дуга повороту	0,006	1	3	-	150	0,013
R03_01	вул, Б, Хмельницького	0,420	2	3,5	1	200	0,600
R03_02	вул, Б, Хмельницького	0,420	2	3,5	1	656	0,183
R03_03	вул, М, Коцюбинського	0,250	2	3,5	1	86	0,831
R03_04	вул, Б,Хмельницького	0,230	2	3,5	1	582	0,113
R03_05	вул, Б, Хмельницького	0,230	2	3,5	1	656	0,100
R03_06	дуга повороту	0,0065	1	3	-	514	0,004
R03_07	дуга повороту	0,0065	1	3	-	290	0,007
R03_08	дуга повороту	0,00625	1	3	-	86	0,024
R03_09	дуга повороту	0,0165	1	3	-	514	0,011
R03_10	дуга повороту	0,0165	1	3	-	150	0,037
R03_11	дуга повороту	0,0165	1	3	-	582	0,009
R04_01	вул,Т, Шевченка	0,135	3	3,75	-	941	0,013
R04_02	вул,Т, Шевченка	0,230	3	3,75	-	683	0,030
R05_01	вул,Т, Шевченка	0,122	3	3,75	-	683	0,016
R05_02	вул, Пирогова	0,250	2	3,5	1	210	0,340
R05_03	вул, Пирогова	0,250	2	3,5	1	86	0,831

$R_i^{1)}$	назва ділянки (вулиці)	$L^{2)}$, км	$N^{3)}$, од.	$d^{4)}$, м	$n_p^{5)}$, од.	$P_{см.}^{6)}$, авт/год.	Опір, год.
R06_01	вул. Т. Шевченка	0,122	3	3,75	-	683	0,016
R06_02	вул. Івана Франка	0,264	4	3	2	86	0,512
R07_01	вул. Т. Шевченка	0,625	3	3,75	-	933	0,060
R07_02	вул. Т. Шевченка	0,231	3	3,75	-	575	0,036
R07_03	вул. Т. Шевченка	0,231	3	3,75	-	683	0,030
R07_04	вул. Леонтовича	0,264	2	3	1	210	0,419
R07_05	дуга повороту	0,0075	1	3	-	683	0,004
R07_06	дуга повороту	0,0075	2	3	-	210	0,006
R07_07	дуга повороту	0,0075	1	3	-	210	0,012
R08_01	вул. Володимирська	0,38	3	3,75	1	804	0,063
R08_02	вул. Володимирська	0,38	3	3,75	1	484	0,105
R08_03	вул. Т. Шевченка	0,187	3	3,75	-	585	0,028
R08_04	вул. Т. Шевченка	0,187	3	3,75	-	551	0,030
R08_05	вул. Володимирська	0,264	3	3,75	1	184	0,191
R08_06	вул. Володимирська	0,264	3	3,75	1	484	0,073
R08_07	дуга повороту	0,0075	1	3	-	683	0,004
R08_08	дуга повороту	0,0075	1	3	-	804	0,003
R08_09	дуга повороту	0,0075	1	3	-	585	0,004
R08_10	дуга повороту	0,0075	1	3	-	184	0,014
R08_11	дуга повороту	0,03925	1	3	-	585	0,022
R08_12	дуга повороту	0,03925	1	3	-	683	0,019
R09_01	вул. Б. Хмельницького	0,189	2	3,5	1	773	0,070
R09_04	вул. Володимирська	0,338	2	3,75	-	538	0,084
R09_02	вул. Б. Хмельницького	0,189	2	3,5	1	582	0,093
R09_03	вул. Володимирська	0,338	2	3,75	-	538	0,084
R09_05	вул. Б. Хмельницького	0,145	2	3,5	-	656	0,032
R09_06	вул. Б. Хмельницького	0,145	2	3,5	1	582	0,071
R09_07	дуга повороту	0,00725	2	3	-	484	0,002
R09_08	дуга повороту	0,00725	1	3	-	773	0,003
R09_09	дуга повороту	0,00725	1	3	-	538	0,004
R09_10	дуга повороту	0,00725	1	3	-	656	0,004
R09_11	дуга повороту	0,02175	1	3	-	773	0,009
R09_12	дуга повороту	0,02175	1	3	-	538	0,013
R09_13	дуга повороту	0,02175	1	3	-	656	0,011
R09_14	дуга повороту	0,02175	1	3	-	484	0,015
R10_01	вул. Прорізна	0,163	2	3	1	538	0,101
R10_02	вул. Прорізна	0,34	2	3	1	538	0,211
R10_03	вул. Володимирська	0,13	2	3,75	-	776	0,022
R10_04	вул. Володимирська	0,13	2	3,75	-	538	0,032
R10_05	вул. Ярославів Вал	0,082	4	3,5	2	538	0,022
R10_06	дуга перехресття	0,00725	1	3	-	538	0,004
R10_07	дуга перехресття	0,00725	1	3	-	538	0,004
R10_08	дуга перехресття	0,00725	1	3	-	776	0,003

$R_i^{1)}$	назва ділянки (вулиці)	$L^{2)}$, км	$N^{3)}$, од.	$d^{4)}$, м	$n_p^{5)}$, од.	$P_{см.}^{6)}$, авт/год.	Опір, год.
R10_09	дуга перехресття	0,0255	1	3	-	538	0,016
R10_10	дуга перехресття	0,0255	1	3	-	538	0,016
R10_11	дуга перехресття	0,0255	1	3	-	776	0,011
R11_01	вул. Золотоворітська	0,24	1	5,5	-	286	0,153
R11_02	вул. Ярославів Вал	0,066	4	3,5	2	538	0,018
R12_01	вул. Лисенко	0,338	2	3	-	483	0,117
R12_02	вул. Лисенко	0,338	2	3	-	286	0,197
R13_01	вул. Ярославів Вал	0,04	4	3,5	2	538	0,011
R13_02	вул. І. Франка	0,207	1	3	-	210	0,329
R13_03	вул. І. Франка	0,207	1	3	-	286	0,241
R13_04	вул. Ярославів Вал	0,241	4	3,5	2	538	0,064
R14_01	вул. Ярославів Вал	0,146	4	3,5	2	538	0,039
R14_02	вул. Ярославів Вал	0,117	4	3,5	2	538	0,031
R15_01	вул. Ярославів Вал	0,285	4	3,5	2	532	0,077
R15_02	вул. О. Гончара	0,93	2	3,5	1	423	0,628
R15_03	дуга повороту	0,007	1	3	-	482	0,005
R15_04	дуга повороту	0,007	1	3	-	538	0,004
R16_01	вул. Б. Хмельницького	0,115	2	3,5	1	582	0,056
R16_02	вул. Б. Хмельницького	0,115	2	3,5	1	656	0,050
R16_03	дуга повороту	0,014	1	3	-	86	0,054
R16_04	дуга повороту	0,007	1	3	-	86	0,027
R16_05	дуга повороту	0,007	1	3	-	582	0,004
R16_06	дуга повороту	0,014	1	3	-	656	0,007
R17_01	вул. Б. Хмельницького	0,117	2	3,75	1	582	0,054
R17_02	вул. Б. Хмельницького	0,117	2	3,75	1	656	0,048
R17_03	вул. І. Франка	0,25	1	3	-	286	0,291
R17_04	вул. І. Франка	0,25	1	3	-	210	0,397
R17_05	дуга повороту	0,0065	1	3	-	656	0,003
R17_06	дуга повороту	0,0065	1	3	-	86	0,025
R17_07	дуга повороту	0,0135	1	3	-	582	0,008
R17_08	дуга повороту	0,0065	1	3	-	286	0,008
R17_09	дуга повороту	0,0135	1	3	-	86	0,052
R17_10	дуга повороту	0,0135	1	3	-	582	0,008
R18_01	вул. Б. Хмельницького	0,22	2	3,5	1	656	0,096
R18_02	дуга повороту	0,014	1	3	-	656	0,007
R18_03	дуга повороту	0,007	1	3	-	582	0,004

Примітки:

- ¹⁾ ідентифікатор опору в гілці електричної схеми відповідного фрагменту вулично-дорожньої мережі (рисунок 4.8);
- ²⁾ протяжність ділянки, км;
- ³⁾ кількість смуг руху на проїзній частині ділянки, од.;
- ⁴⁾ ширина однієї смуги руху (згідно з ДБНВ.2.3-5-2001 відповідно до категорій вулиць і доріг), м;
- ⁵⁾ кількість смуг руху на проїзній частині ділянки, які використовуються для паркування автомобілів, од.;
- ⁶⁾ пропускна здатність однієї смуги руху (результати розрахунків), авт./год.

Додаток Ж

Акти впровадження (використання) результатів дисертаційного дослідження

1. Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в державному підприємстві «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (ДП «ДержавтотрансНДІпроект», м. Київ);
2. Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в державному підприємстві «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ», м. Київ);
3. Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в ТОВ «Інститут комплексного проектування об'єктів будівництва» (м. Київ);
4. Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження у навчальному процесі Національного транспортного університету (НТУ, м. Київ).



Директор ДП «ДержавтотрансНДПроект»

А.М. Редзюк

2017 р.

АКТ

**впровадження матеріалів дисертаційного дослідження
Тарабана Сергія Миколайовича
на тему «Методи і моделі раціональної організації функціонування
автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста»**

Матеріали і результати, що містяться в дисертації Тарабана С.М. на тему «Методи і моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста» і стосуються подальшого розвитку наукових підходів до забезпечення раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах, прийняті до використання в лабораторії дослідження використання палив та екології (ЛДВПЕ) Державного автотранспортного науково-дослідного і проектного інституту (ДП «ДержавтотрансНДПроект»), зокрема для розроблення пропозицій і практичних рекомендацій щодо оптимізації дорожньої інфраструктури та організації дорожнього руху в рамках науково-дослідних робіт зі створення математичних моделей якості атмосферного повітря міста Києва на базі європейської технології THOR-Air-PAS тощо.

Найбільший науковий та практичний інтерес становлять:

- розвинутий метод класифікаційного аналізу для опису структури вулично-дорожньої мережі, який дозволяє суттєво зменшити розмірність досліджуваної множини елементів (вулиць і доріг) шляхом знаходження у вулично-дорожній мережі однорідних кластерів за відповідними структурними ознаками.
- метод формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків, що включає покрокову ітераційну процедуру знаходження репрезентативних елементарних ділянок вулично-дорожньої мережі, в межах яких рекомендується проводити облаштування стаціонарних постів спостереження;
- метод прогнозування динаміки величини інтенсивності руху на основі моделювання відповідних процесів із застосуванням математичного апарату штучних нейронних мереж;
- імітаційна електротехнічна аналогова модель аналізу і оптимізації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста;
- модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах та розроблені, в рамках цієї моделі, відповідні методичні рекомендації.

Заступник завідувача ЛДВПЕ, заступник керівника
Випробувального центру колісних транспортних
засобів з науково-технічного розвитку
ДП «ДержавтотрансНДПроект», к.т.н., доцент

О.А. Клименко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший заступник директора з наукової
роботи ДП «ДерждорНДІ»



В.К. Вирожемський

2017 р.

АКТ

*про впровадження результатів дисертаційної роботи Тарабана С.М.
на тему «Методи і моделі раціональної організації функціонування
автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста»*

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ») цим актом засвідчує, що результати кандидатської дисертаційної роботи Тарабана С.М. на тему «Методи і моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста» прийняті до використання (впровадження) в ДП «ДерждорНДІ» для розробки пропозицій та рекомендацій щодо підвищення рівня безпеки дорожнього руху, поліпшення організації та умов дорожнього руху тощо в рамках виконання робіт, пов'язаних з безпекою руху в дорожньо-транспортній інфраструктурі.

Цей акт підготовлено для подання до спеціалізованої вченої ради по захисту дисертацій, і є документом, що підтверджує наукову і практичну значимість отриманих здобувачем результатів та їх безпосереднє використання в діяльності ДП «ДерждорНДІ».

Старший науковий
співробітник

А.Б. Вознюк

**ICDI****Integrated Construction
Design Institute**office@icdi.biz
www.icdi.bizТОВ «Інститут комплексного проектування
об'єктів будівництва»02095, м. Київ, Україна, пр-кт Петра Григоренка, 24, пр. 126
Код ЄДРПОУ 39994993, ІПН 399949926515
Тел.: +38 044 331 18 43р/р 26004056113805 в ПАТ КБ «Приватбанк», м.Київ
МФО 380775Limited Liability Company
«Integrated Construction Design Institute»02095, Kyiv, Ukraine, 24 Petro Grygorenko avenue, office 126
EDRPOU code 39994993, ITN 399949926515
Tel.: +38 044 331 18 43account 26009056111943 (EUR), account 26001056112843 (USD)
Bank Privatbank, Dnipropetrovsk, Ukraine, SWIFT code PBANUA2X**ЗАТВЕРДЖУЮ**Директор ТОВ «Інститут
комплексного проектування
об'єктів будівництва»

І.І. Войтович

«10» 02 2017 р.

АКТ**про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Тарабана Сергія Миколайовича на тему:
«Методи і моделі раціональної організації функціонування
автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста»**

Цим актом підтверджуємо, що результати дисертаційного дослідження Тарабана С.М. на тему «Методи і моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста» є актуальними, становлять практичний інтерес і використовуються ТОВ «Інститут комплексного проектування об'єктів будівництва» в проектах містобудування, зокрема в частині, що стосується оцінки ефективності впровадження запланованих заходів щодо організації і регулювання дорожнього руху при проектуванні та будівництві нових, реконструкції та капітальному ремонті існуючих вулиць і доріг населених пунктів.

Головний інженер,
кандидат технічних наук

Ю.Л. Лотоцький

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи
Національного транспортного
університету

 к.т.н., проф. О.К. Гришук
«27» 09 2017 р.



Акт

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Тарабана Сергія Миколайовича

на тему:

«Методи і моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста»

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи Тарабана С.М. за темою «Методи і моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста» впроваджено в навчальний процес Національного транспортного університету при викладанні дисциплін, зокрема, таких як «Дослідження операцій в транспортних системах», «Алгоритмічне та програмне забезпечення оптимізації вантажопотоків в транспортних системах» для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» та спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Завідувач кафедри міжнародних
перевезень та митного контролю,
д.т.н., професор



Г.С. Прокудін

Професор кафедри міжнародних
перевезень та митного контролю,
к.т.н., доцент



Н.Т. Кунда

Доцент кафедри міжнародних
перевезень та митного контролю,
к.т.н., доцент



А.В. Петрик

Додаток К

Отримані патенти на винаходи (корисні моделі) та свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

Патенти на винаходи (корисну модель):

1. Пат. 85069 Україна, МПК G08G 1/00, G05B 17/00. Спосіб регулювання та завантаження вулично-дорожньої мережі міста транспортними потоками / Данчук В.Д., Карандаков Г.В., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2013 05607; заявл. 30.04.2013; опубл. 11.11.2013, бюл. № 21.

2. Пат. 86586 Україна, МПК E01C 1/00. Аналогова модель транспортної системи / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2013 06237; заявл. 20.05.2013; 10.01.2014, Бюл. № 1.

3. Пат. 95712 Україна, МПК B60W 40/00. Спосіб вибіркового моніторингу просторово-часового розподілу автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2014 02495; заявл. 13.03.2014; опубл. 12.01.2015, Бюл. № 1.

4. Пат. 96168 Україна, МПК B60W 40/00. Спосіб оцінки завантаженості вулично-дорожньої мережі міста автотранспортними потоками / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u201402497; заявл. 13.03.2014; опубл. 26.01.2015, Бюл. № 2.

5. Пат. 108878 Україна, МПК E 01 C 1/00, G 08 G 1/00. Спосіб електричного аналогового моделювання вулично-дорожньої мережі міста / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Кривенко В.І., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u201510118; заявл. 16.10.2015; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір:

6. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір №39522 «Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків» / В.Д. Данчук, В.І. Кривенко, Р.В. Олійник, С.М. Тарабан (Україна). – №39732; заявл. 01.06.2011; зареєстр. 08.08.2011.

7. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір №42351 «Мережевий метод оцінки поля забруднення на прилеглих до автомагістралей територіях» / В.Д. Данчук, С.І. Сніжко, Р.В. Олійник, С.М. Тарабан (Україна). – № 42527 заявл. 21.12.2011. зареєстр 21.02.2012.

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ № 85069

СПОСІБ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЗАВАНТАЖЕННЯ ВУЛИЧНО- ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 11.11.2013.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

— М.В. Ковіня



(11) 85069

(19) UA

(51) МПК (2013.01)
G08G 1/00
G05B 17/00

(21) Номер заявки: u 2013 05607

(22) Дата подання заявки: 30.04.2013

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: 11.11.2013

(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: 11.11.2013,
Бюл. № 21

(72) Винахідники:

Данчук Віктор Дмитрович,
UA,
Карандаков Геннадій
Васильович, UA,
Кривенко Віктор Іванович,
UA,
Олійник Ростислав
Васильович, UA,
Тарабан Сергій
Миколайович, UA

(73) Власник:

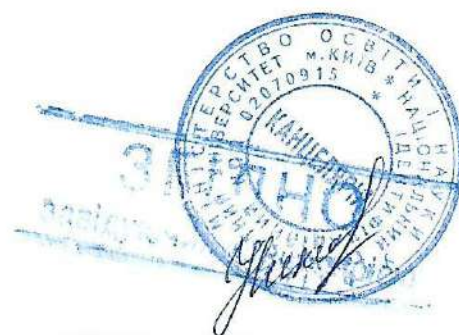
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Суворова, 1, м. Київ-10,
01010, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЗАВАНТАЖЕННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА
ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб регулювання та завантаження вулично-дорожньої мережі міста транспортними потоками, який включає оперативний перерозподіл транспортних потоків по автомобільних дорогах й магістралях, який відрізняється тим, що перерозподіл транспортних потоків виконують на основі результатів електричного імітаційного моделювання вулично-дорожньої мережі і транспортних потоків на поточний момент часу.



УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 86586

АНАЛОГОВА МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.01.2014.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

М.В. Ковія



(19) UA

(51) МПК (2013.01)
E01C 1/00

(21) Номер заявки: u 2013 06237

(22) Дата подання заявки: 20.05.2013

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: 10.01.2014(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: 10.01.2014,
Бюл. № 1(72) Винахідники:
Данчук Віктор Дмитрович,
UA,
Олійник Ростислав
Васильович, UA,
Тарабан Сергій
Миколайович, UA(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Суворова, 1, м. Київ-10,
01010, UA

(54) Назва корисної моделі:

АНАЛОГОВА МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

(57) Формула корисної моделі:

1. Аналогова модель транспортної системи, яка представлена електричною схемою, що містить джерела постійного струму, яка відрізняється тим, що транспортні потоки на ділянках мережі транспортної системи описуються квазістаціонарними процесами у відповідних ділянках електричного ланцюга на основі встановленого ізоморфізму між законом Ома та основним транспортним рівнянням.
2. Аналогова модель транспортної системи за п. 1, яка відрізняється тим, що перехідні процеси, які є відображенням просторово-часового наповнення ділянок транспортної мережі, контролюються часом релаксації нестационарних транспортних потоків, який визначається шляхом імітаційного моделювання відповідних перехідних процесів у RC-ланцюгах даної електричної схеми.



УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ № 95712

**СПОСІБ ВИБІРКОВОГО МОНІТОРИНГУ ПРОСТОРОВО-
ЧАСОВОГО РОЗПОДІЛУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У
ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні
моделі 12.01.2015.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова



- (21) Номер заявки: u 2014 02495
- (22) Дата подання заявки: 13.03.2014
- (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.01.2015
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 12.01.2015, Бюл. № 1

(72) Винахідники:
Данчук Віктор Дмитрович,
UA,
Олійник Ростислав
Васильович, UA,
Тарабан Сергій
Миколайович, UA

(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Суворова, 1, м. Київ-10,
01010, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ВИБІРКОВОГО МОНІТОРИНГУ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО РОЗПОДІЛУ
АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

(57) Формула корисної моделі:

1. Спосіб вибіркового моніторингу просторово-часового розподілу автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста, за яким на ділянках вулично-дорожньої мережі проводять моніторинг інтенсивності автотранспортних потоків, який відрізняється тим, що на репрезентативній елементарній ділянці відповідної однорідної групи елементарних ділянок вулично-дорожньої мережі здійснюється неперервний автоматичний моніторинг часового розподілу інтенсивності автотранспортних потоків детекторами транспорту для оптимізації вибіркового моніторингу інтенсивності автотранспортних потоків на елементарних ділянках відповідних однорідних груп з дискретністю, встановленою на репрезентативній ділянці даної однорідної групи.

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що репрезентативні елементарні ділянки вулично-дорожньої мережі знаходяться шляхом покрокової ітераційної процедури: крок 1 - розбиття вулично-дорожньої мережі на елементи за категоріями відповідно до діючої класифікації вулиць та доріг, на основі зведеної інвентаризаційної відомості міста; крок 2 - розбиття елементів вулично-дорожньої мережі на елементарні ділянки з фіксованими структурними ознаками, що визначають характер та параметри розподілу автотранспортних потоків; крок 3 - формування однорідних груп елементарних ділянок вулично-дорожньої мережі з подібними груповими структурними ознаками; крок 4 - встановлення характеру та параметрів розподілу індивідуальної структурної ознаки в межах сформованих однорідних груп елементарних ділянок вулично-дорожньої мережі; крок 5 - знаходження репрезентативної елементарної ділянки вулично-дорожньої мережі за характером та параметрами розподілу індивідуальної структурної ознаки в межах сформованих однорідних груп.



ЗГІДНО З
ОРИГІНАЛОМ

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 96168

СПОСІБ ОЦІНКИ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ВУЛИЧНО-
ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА АВТОТРАНСПОРТНИМИ
ПОТОКАМИ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні
моделі 26.01.2015.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова



(19) UA

(51) МПК (2015.01)
B60W 40/00

(21) Номер заявки: u 2014 02497

(22) Дата подання заявки: 13.03.2014

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: 26.01.2015(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: 26.01.2015,
Бюл. № 2(72) Винахідники:
Данчук Віктор Дмитрович,
UA,
Олійник Ростислав
Васильович, UA,
Тарабан Сергій
Миколайович, UA(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Суворова, 1, м. Київ-10,
01010, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ОЦІНКИ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА
АВТОТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб оцінки завантаженості вулично-дорожньої мережі міста автотранспортними потоками, за яким на ділянках вулично-дорожньої мережі проводять моніторинг автотранспортних потоків, який відрізняється тим, що здійснюють автоматичний дискретний моніторинг інтенсивності автотранспортних потоків з відповідною оптимальною дискретністю, встановленою для кожної елементарної ділянки вулично-дорожньої мережі для ідентифікації її завантаженості ваговими коефіцієнтами, які встановлюються для кожної елементарної ділянки відповідної однорідної групи відношенням інтенсивності автотранспортних потоків на елементарній ділянці до інтенсивності автотранспортних потоків на репрезентативній елементарній ділянці даної однорідної групи у фіксований момент часу, на якій детекторами транспорту здійснюють неперервний автоматичний моніторинг інтенсивності автотранспортних потоків.

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 108878

**СПОСІБ ЕЛЕКТРИЧНОГО АНАЛОГОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ
ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.08.2016.

В.о. Голови Державної служби
інтелектуальної власності України

А.А.Малиш



(19) UA

(51) МПК (2016.01)
E01C 1/00
G08G 1/00

(21) Номер заявки: **u 2015 10118**
(22) Дата подання заявки: **16.10.2015**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.08.2016**
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.08.2016, Бюл. № 15**

(72) Винахідники:
Данчук Віктор Дмитрович, UA,
Кривенко Віктор Іванович, UA,
Олійник Ростислав Васильович, UA,
Тарабан Сергій Миколайович, UA

(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Суворова, 1, м. Київ-10,
01010, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ЕЛЕКТРИЧНОГО АНАЛОГОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

(57) Формула корисної моделі:

1. Спосіб електричного аналогового моделювання вулично-дорожньої мережі міста, за яким вулично-дорожня мережа представлена як схема розгалуженого електричного кола постійного струму, який відрізняється тим, що кожен ділянку вулично-дорожньої мережі у електричній схемі, яка реалізована у середовищі комп'ютерної програми-стимулятора електричних схем, моделюють послідовним з'єднанням діода та резистора, що в цілому для електричної схеми відображає параметри конфігурації структурних елементів та організацію дорожнього руху на ділянках та перетинах вулично-дорожньої мережі.
2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що на окремих гілках електричної схеми підключають амперметри для контролю за електричним струмом, що є аналогом інтенсивності автотранспортного потоку на відповідних ділянках вулично-дорожньої мережі.





УКРАЇНА

Міністерство освіти і науки України
Державний департамент інтелектуальної власності

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 39522

Науковий твір "Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Данчук Віктор Дмитрович, Кривенко Віктор Іванович, Олійник Ростислав Васильович, Тарабан Сергій Миколайович

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Данчук Віктор Дмитрович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Кривенко Віктор Іванович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Олійник Ростислав Васильович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Тарабан Сергій Миколайович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації

08.08.2011

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності



М.В.Паладій



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ**

Україна, МСП 03680, Київ-35, вул. Урицького, 45
Тел.: (044) 494-06-06 Факс: (044) 494-06-67

Р І Ш Е Н Н Я

ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

Державний департамент інтелектуальної власності розглянув заяву
Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010

(повне ім'я фізичної або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

заявка від 01.06.2011 № 39732

про реєстрацію авторського права на твір і прийняв рішення зареєструвати авторське право на службовий твір Науковий твір "Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків"; Данчук Віктор Дмитрович, Кривенко Віктор Іванович, Олійник Ростислав Васильович, Тарабан Сергій Миколайович; Національний транспортний університет

(вид, повна, скорочена (за наявності) назва твору, повне ім'я, псевдонім (за наявності) автора (ів), повна офіційна назва роботодавця)

Внесення відомостей до Державного реєстру свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір та видача свідоцтва будуть здійснені за умови сплати збору за оформлення і видачу свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір відповідно до п.3 постанови Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2001 року № 1756 "Про державну реєстрацію авторського права і договорів, які стосуються права на твір".

Якщо протягом трьох місяців від дати одержання заявником рішення про реєстрацію авторського права на твір Державний департамент не одержав документ про сплату збору за оформлення і видачу свідоцтва у розмірі та порядку, визначених законодавством, або копію документа, що підтверджує право на звільнення від сплати зазначеного збору, заявка вважається відхиленою і реєстрація авторського права та публікація відомостей про реєстрацію Державним департаментом не проводиться.

**Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності**



М.В. Паладій

УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА

ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 42351

Науковий твір "Мережевий метод оцінки поля забруднення на прилеглих до автомагістралей територіях"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Данчук Віктор Дмитрович, Сніжко Сергій Іванович, Олійник Ростислав Васильович, Тарабан Сергій Миколайович

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Данчук Віктор Дмитрович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Тарабан Сергій Миколайович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Сніжко Сергій Іванович, пр-т Академіка Глушкова, 2, м. Київ, 03118; Олійник Ростислав Васильович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Київський національний університет імені Тараса Шевченка, пр-т Академіка Глушкова, 2, м. Київ, 03118

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

21.02.2012

Дата реєстрації



Голова Державної служби
інтелектуальної
власності України
М.В. Паладій

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ**

Україна, 03680, МСП, м. Київ-35,
вул. Урицького, 45
Тел. (044) 494-06-06
Факс (044) 494-06-67
E-mail: post@sips.gov.ua



**STATE INTELLECTUAL
PROPERTY SERVICE
OF UKRAINE**

Ukraine, 03680, MSP, Kyiv-35,
45, Urytskogo str.
Tel. (044) 494-06-06
Fax (044) 494-06-67
E-mail: post@sips.gov.ua

РІШЕННЯ

ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

Державна служба інтелектуальної власності розглянула заяву
Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010

(повне ім'я фізичної або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

заявка від 21.12.2011 № 42527

про реєстрацію авторського права на твір і прийняла рішення зареєструвати авторське право на службовий твір Науковий твір "Мережевий метод оцінки поля забруднення на прилеглих до автомагістралей територіях"; Данчук Віктор Дмитрович, Сніжко Сергій Іванович, Олійник Ростислав Васильович, Тарабан Сергій Миколайович; Національний транспортний університет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

(вид, повна, скорочена (за наявності) назва твору, повне ім'я, псевдонім (за наявності) автора (ів), повна офіційна назва роботодавця)

Внесення відомостей до Державного реєстру свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір та видача свідоцтва будуть здійснені за умови сплати збору за оформлення і видачу свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір відповідно до п.3 постанови Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2001 року № 1756 "Про державну реєстрацію авторського права і договорів, які стосуються права на твір".

Якщо протягом трьох місяців від дати одержання заявником рішення про реєстрацію авторського права на твір Державна служба не одержала документ про сплату збору за оформлення і видачу свідоцтва у розмірі та порядку, визначених законодавством, або копію документа, що підтверджує право на звільнення від сплати зазначеного збору, заявка вважається відхиленою і реєстрація авторського права та публікація відомостей про реєстрацію Державною службою не проводиться.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності



М.В. Паладій

Додаток Л

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних науково-метричних баз:

1. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Система класифікації елементів вулично-дорожньої мережі міста. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харків, 2013. Вып. 63. С. 111-116.

URL (Index Copernicus):

<https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=787374>

URL (РИНЦ): <https://elibrary.ru/item.asp?id=21486033>

2. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Прогнозування динаміки інтенсивності автотранспортних потоків. *Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Systems and means of motor transport. Selected problems*. 2014. Monografianr 5. Seria: TRANSPORT. Rzezów. P. 231-238.

Статті у фахових виданнях України:

3. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2010. № 21 (2). С. 28-32.

4. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електротехнічна модель розподілу транспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. Київ, 2011. Вип. 8. С. 45-49.

5. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання мережі наземних шляхів сполучення. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2013. Вип.88. С.3-9.

6. Тарабан С.М. Сучасний стан та тенденції розвитку вулично-дорожньої мережі м. Києва. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2013. Вип. 90. С.24-32.

7. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Мережа моніторингу автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі великого міста. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. № 30 (1). С. 86-94.

8. Курач Т.М., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Картографічне забезпечення системи моніторингу автотранспортної мережі великого міста. *Вісник геодезії та картографії*. Київ, 2014. № 6. С. 6-10.

9. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електричне моделювання міських автотранспортних потоків. *Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ»: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків, 2015. №46. С.109-114. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/18902>

Опубліковані праці апробаційного характеру:

10. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання поля забруднення вулично-дорожньої мережі міста. *Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «Екологічний інтелект – 2011»*: тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. С.57-58.

11. Олійник Р.В. Тарабан С.М. Управління транспортними потоками міста на основі електротехнічної моделі. *Науково-практична конференція, приурочена 100-річчю з дня народження Юрія Юркевича*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 28.

12. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Моделювання транспортних потоків розгалуженими електричними колами. *LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 77.

13. Олійник Р.В., Тарабан С.М. Прогнозування мікроскопічних особливостей транспортних потоків часовими рядами. *LXVII наукова конференція професорсько-*

викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ: НТУ, 2011. С. 77.

14. Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Оцінка поля забруднення атмосферного повітря автотранспортом. *Матеріали доповідей VII Міжнародної XVIII Традиційної науково-практичної конференції «Екологічний інтелект – 2012»:* тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. С. 26-27.

15. Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Класифікаційний аналіз вулично-дорожньої мережі мегаполісу. *Матеріали доповідей VII Міжнародної XVIII Традиційної науково-практичної конференції «Екологічний інтелект – 2012»:* тези доповідей. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. С. 189-190.

16. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Багатомірне моделювання структурних взаємозв'язків вулично-дорожньої мережі. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету:* тези доповідей. Київ: НТУ, 2012. С. 75-76.

17. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Класифікація вулиць та доріг за допомогою статистичних методів (на прикладі вулично-дорожньої мережі м. Києва) *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету:* тези доповідей. Київ: НТУ, 2014. С. 68.

18. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Нейромережевий метод прогнозування параметрів дорожнього руху. *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету:* тези доповідей. Київ: НТУ, 2015. С. 82.

19. Данчук В.Д., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Електричне моделювання автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету:* тези доповідей. Київ: НТУ, 2016. С. 73.

20. Тарабан С.М. Моделювання і оптимізація функціонування автотранспорт-них потоків у вулично-дорожній мережі міста *Всеукраїнська науково-практична конференція «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів»*: тези доповідей. Миколаїв: ВНЗ «Міжнародний технологічний університет «Миколаївська політехніка», 2016. С. 40-42.

21. Тарабан С.М. Системна модель оптимізації функціонування автотранспортних потоків у містах. II Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання»: тези доповідей. Львів: Львівська політехніка, 2017. С.104-105.

22. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М. Системна модель оптимізації функціонування автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2017. С. 87-88.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір:

23. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір №39522 «Електротехнічна модель дослідження транспортних потоків» / В.Д. Данчук, В.І. Кривенко, Р.В. Олійник, С.М. Тарабан (Україна). – №39732; заявл. 01.06.2011; зареєстр. 08.08.2011.

24. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір №42351 «Мережевий метод оцінки поля забруднення на прилеглих до автомагістралей територіях» / В.Д. Данчук, С.І. Сніжко, Р.В. Олійник, С.М. Тарабан (Україна). – № 42527 заявл.21.12.2011. зареєстр 21.02.2012.

Патенти на винаходи (корисну модель):

25. Пат. 85069 Україна, МПК G08G 1/00, G05B 17/00. Спосіб регулювання та завантаження вулично-дорожньої мережі міста транспортними потоками / Данчук В.Д., Карандаков Г.В., Кривенко В.І., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник

та патентовласник НТУ. – № u 2013 05607; заявл. 30.04.2013; опубл. 11.11.2013, бюл. № 21.

26. Пат. 86586 Україна, МПК E01C 1/00. Аналогова модель транспортної системи / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2013 06237; заявл. 20.05.2013; 10.01.2014, Бюл. № 1.

27. Пат. 95712 Україна, МПК B60W 40/00. Спосіб вибіркового моніторингу просторово-часового розподілу автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u 2014 02495; заявл. 13.03.2014; опубл. 12.01.2015, Бюл.№ 1.

28. Пат. 96168 Україна, МПК B60W 40/00. Спосіб оцінки завантаженості вулично-дорожньої мережі міста автотранспортними потоками / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u201402497; заявл. 13.03.2014; опубл. 26.01.2015, Бюл.№ 2.

29. Пат. 108878 Україна, МПК E 01 C 1/00, G 08 G 1/00. Спосіб електричного аналогового моделювання вулично-дорожньої мережі міста / Данчук В.Д., Олійник Р.В., Кривенко В.І., Тарабан С.М.; заявник та патентовласник НТУ. – № u201510118; заявл. 16.10.2015; опубл. 10.08.2016, Бюл.№ 15.