

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ТАРАБАН СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 656.11

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

05.22.01 – транспортні системи

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Електроніки та обчислювальної техніки»  
Національного транспортного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор  
**Данчук Віктор Дмитрович,**  
Національний транспортний університет  
Міністерства освіти і науки України,  
декан факультету транспортних та  
інформаційних технологій, м. Київ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Шраменко Наталя Юрївна,**  
Харківський національний технічний  
університет сільського господарства імені  
Петра Василенка Міністерства освіти і науки  
України, професор кафедри транспортних  
технологій і логістики, м. Харків

кандидат технічних наук, доцент  
**Абрамова Людмила Сергіївна,**  
Харківський національний автомобільно-  
дорожній університет Міністерства освіти і  
науки України, професор кафедри організації  
та безпеки дорожнього руху, м. Харків

Захист відбудеться «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р. о \_\_\_\_\_ годині на засіданні  
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 в Національному транспортному  
університеті за адресою: 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1,  
ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного  
університету за адресою: 01103, Україна, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розіслано «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В. І. Каськів

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**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 пропускної 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 півстоліття 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.

**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 у наступному: [1] – проведено кластерний аналіз елементів ВДМ за структурними ознаками вулиць і доріг (на прикладі міста Києва); [2] – удосконалено метод прогнозування зміни (динаміки) величини інтенсивності руху на ділянках ВДМ із використанням нейронних мереж; [7, 8] – розроблено метод формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ міста; [3, 4, 5, 9] – 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 таких конференціях: 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. Коблево, 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-LXXXIII 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, 2011 р.).

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

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літературних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 280 сторінок, з них 140 сторінок основного тексту, 22 таблиці та 46 рисунків, список використаних джерел (243 найменувань) на 24 сторінках і 73 сторінки додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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 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 в частині збору і обробки первинних даних про параметри дорожнього руху. Розглянуто основні методи та 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 ВДМ 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 ітераційної процедури знаходження репрезентативних елементарних ділянок, в межах яких рекомендується розміщувати пости спостереження за параметрами дорожнього руху. За елементарну ділянку приймається частина вулиці або дороги між двома найближчими перехрестями.

Такий поділ обумовлений тим, що 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.

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.

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 кінцях, та параметри поперечного профілю проїзної частини елементарної ділянки (кількість смуг руху, ширина однієї смуги тощо).

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

На наступному кроці формуються однорідні групи, що містять елементарні ділянки ВДМ зі спільними груповими структурними ознаками. Після чого, в межах кожної групи, встановлюють середні статистичні значення індивідуальної структурної ознаки, які є центрами тяжіння (ядрами) сформованих однорідних груп, за якими ідентифікуються (за допомогою ієрархічного методу кластерного аналізу) репрезентативні елементарні ділянки.

Для ВДМ Шевченківського району міста Києва були знайдені репрезентативні ділянки раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків, що зменшують розмірність досліджуваної множини елементів ВДМ району приблизно у 15 разів.

Задача щодо формування раціональної мережі моніторингу на ВДМ міста щільно пов'язана із наступною задачею дисертаційного дослідження, яка стосується моделювання динаміки інтенсивності руху із використанням нейронних мереж (НМ). Тут результати натурних спостережень за інтенсивністю руху транспортних засобів, що проводяться на репрезентативних ділянках ВДМ, виявлених за допомогою кластерного методу, можуть бути використані як вихідний масив даних для навчання відповідних моделей НМ.

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.

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 величини інтенсивності руху. Прогноз подібних часових рядів повинен ґрунтуватися на встановленні прихованих закономірностей (зв'язків) в наборі емпіричних даних, що може бути реалізовано, зокрема, за допомогою математичного апарату штучних нейронних мереж.

Нейронні мережі – 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:

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

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.

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).

Для формування навчальних вибірок НМ, на репрезентативній та деяких інших ділянках ВДМ Шевченківського району міста Києва були проведені численні натурні спостереження за зміною (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 ( $T_i$ ). У межах кожного часового інтервалу відокремлювались періоди спостереження і прогнозування.

Формування навчальних вибірок НМ здійснювалось за методом вікна, згідно з яким 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, переміщуються із заданим кроком  $k$  вздовж ряду. 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  $W_y$ , розмір яких відповідає одному часовому інтервалу і використовується як елемент навчальної вибірки (спостереження за інтенсивністю на відповідному кроці  $k$ ) нейронної мережі. Кожна наступна пара вікон отримується у результаті зміщення на один крок  $W_x$  і  $W_y$  вздовж емпіричного часового ряду.

Для кожного часового інтервалу проводився пошук адекватної моделі з максимальним горизонтом прогнозування. Всього було побудовано 34 моделей НМ типу багатошаровий персептрон (MLP). Навчання НМ здійснювалось на основі

алгоритму зворотного поширення помилки (рекурсивного алгоритму) та методу спряжених градієнтів. Для більшості побудованих моделей НМ 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 ( $r > 0,95$ ).

Крім того, адекватність розроблених моделей 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%.

На рисунку 1, 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.

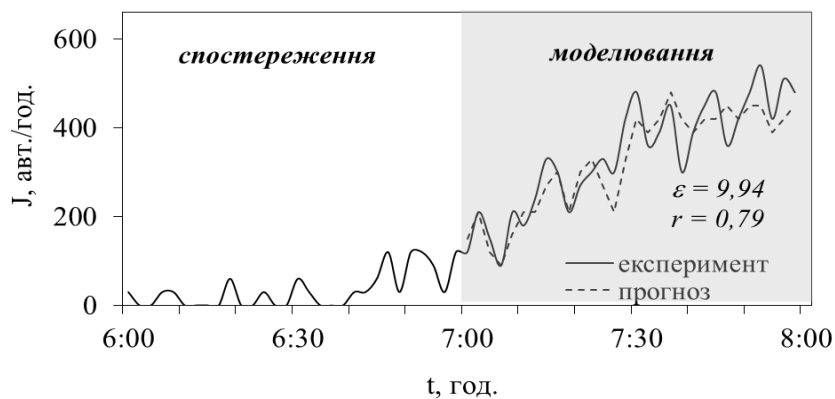


Рисунок 1 – Фрагмент моделювання динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на репрезентативній ділянці ВДМ

Розходження експериментальних та прогнозованих значень величини інтенсивності, що зростають в кінці періоду прогнозування (рисунок 1) пояснюється стохастичною особливістю інтенсивності руху 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.

На основі методу графічного диференціювання встановлено оптимальну тривалість періоду спостереження за динамікою величини інтенсивності руху автотранспортних потоків (у добовому інтервалі часу з дискретністю дві хвилини), яка становить одну годину, та тривалість періоду прогнозування для якого забезпечується достовірність прогнозу, що у більшості випадків, складає до 30 хвилин.

Разом з цим, було розглянуто питання щодо виявлення типових зв'язків і закономірностей в динаміці величини інтенсивності руху (у добовому інтервалі часу) на елементарних ділянках ВДМ, що входять до складу однієї із однорідних

груп, отриманих за результатами досліджень, проведених у попередньому розділі.

За допомогою кореляційного аналізу проведено порівняння зміни (динаміки) величини інтенсивності руху на репрезентативній ділянці ВДМ (навчальна вибірка НМ), у межах часових інтервалів ( $T_i$ ), зі зміною (динамікою) величини інтенсивності руху на іншій елементарній ділянці мережі, у межах аналогічних часових інтервалів, що входять до складу однієї однорідної групи; побудовано кореляційні матриці з оцінкою тісноти зв'язку ( $r$ ) стохастичних осциляцій інтенсивності руху у межах окремих часових інтервалів досліджуваних ділянок (у тому числі періодів спостереження –  $T_c$ , та періодів прогнозування –  $T_n$ ).

Отримано результати, які в цілому 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 однієї однорідної групи.

На рисунку 2, як приклад, наводяться типові стохастичні осциляції величини інтенсивності руху автотранспортних потоків, які було виявлено у межах окремого часового інтервалу елементарної ділянки та репрезентативної ділянки ВДМ, що входять до складу однієї однорідної групи.

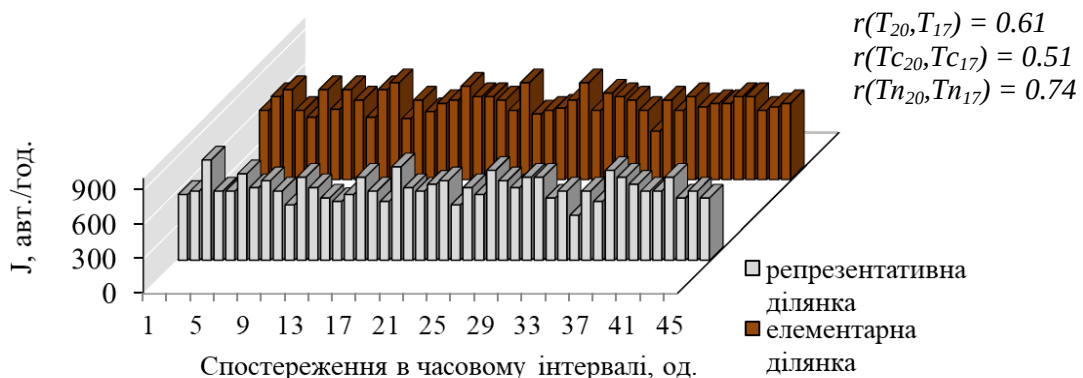


Рисунок 2 – Стохастичні осциляції величини інтенсивності руху автотранспортних потоків у межах часового інтервалу  $T_{20}$  репрезентативної ділянки та часового інтервалу  $T_{17}$  елементарної ділянки ВДМ

Розглянутий 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.

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 в подальшому розвитку теорії транспортних потоків, зокрема в частині створення 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 у поєднанні з динамічним імітаційним моделюванням.

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 рамках даного дисертаційного дослідження, на відміну від найближчих існуючих аналогів, найбільш повно розкриває аналогії в закономірностях функціонування автотранспортних потоків на ВДМ та перебігу процесів в електричних колах. Аналогію між електричними характеристиками та характеристиками ВДМ і автотранспортних потоків показано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Аналогія між електричними характеристиками та характеристиками ВДМ і автотранспортних потоків

| 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 $\gamma$ – 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, $\gamma$ – пропускна здатність одиниці перерізу мережі; $[R] = \text{год}$ . |
| $E$ – напруженість електричного поля в провіднику.                                                             | $\rho$ – щільність автотранспортного потоку; $[\rho] = \text{км}^{-1}$ .                                                                                                                                                                             |
| $U$ – падіння напруги на провіднику:<br>$U = E \cdot l$ ,<br>де $l$ – довжина лінійного провідника.            | $N_l$ – кількість одиниць автотранспортного потоку на ділянці $l$ ВДМ; $[l] = \text{км}$ . $N_l = \rho \cdot l$ ; $[N_l] = 1$ .                                                                                                                      |
| $\Xi$ – ЕРС джерела струму.                                                                                    | $N_l^{\max}$ – максимальний автотранспортний потік на відповідній ділянці ВДМ; $[N_l^{\max}] = 1$ .                                                                                                                                                  |
| $C = \frac{Q}{U} = \frac{\int I(t)dt}{\int E(l)dl}$ – ємність лінійного провідника.                            | $C = \frac{Q}{U} = \frac{\int J(t)dt}{\int \rho(l)dl} = \frac{N_t}{N_l}$ – відношення автотранспортних потоків за одиницю часу та на одиниці довжини ВДМ; $[C] = 1$ .                                                                                |

Основне рівняння руху є відображенням закону Ома. Процес наповнення і розвантаження ВДМ у часі – від нуля до максимальних значень ( $N_{\max.}$ ) і навпаки відповідно, відбувається за законом, який може бути відображений поведінкою квазістаціонарних струмів, що виникають в  $RC$  – ланцюзі, з'єднаним з джерелом електрорушійної сили ( $\Xi$ ). Аналогію між відповідними процесами показано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Аналогія між електричними і транспортними процесами

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

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.

Отримано залежність, що дозволяє контролювати за наповненням ділянок ВДМ автотранспортними потоками на основі попередньо встановлених індивідуальних характеристик ділянок ВДМ – опору ( $R$ ) і часу релаксації нестационарних автотранспортних потоків ( $\tau$ ):

$$\begin{cases} C = \frac{\tau}{R} \\ C = \frac{N_t}{N_l} \end{cases} \Rightarrow \frac{\tau}{R} = \frac{N_t}{N_l} \Rightarrow N_l = N_t \cdot \frac{R}{\tau}. \quad (2)$$

Електричне моделювання, дослідження та 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.

Згідно із запропонованою моделлю, 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. У рамках такої інтерпретації не враховуються особливості схеми організації дорожнього руху на ВДМ. Тут інтенсивність руху автотранспортних потоків на кожній ділянці ВДМ моделюється, як сумарна інтенсивність зустрічних напрямків руху.

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. Тут включення діода дозволяє задати відповідний напрям руху електричного струму, а значить дорожнього руху на певній ділянці ВДМ, а опір забезпечує величину пропускну здатності. Моделювання в рамках такої електричної моделі дозволяє описувати організацію дорожнього руху в реальних умовах, оскільки враховує напрями руху, вплив перехресть тощо.

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:

$$\sum_{i=1}^n J_i^{in}(t) = \sum_{i=1}^n J_i^{out}(t). \quad (3)$$

У масштабі міського кварталу емпіричні дослідження сумарних вхідних та вихідних автотранспортних потоків протягом аналізованого періоду (7:00-22:00 год.) на відповідних ділянках показало, що розходження цих потоків не перевищує 4%. Оскільки, розходження вхідних та вихідних потоків однозначно залежить від масштабу мережі, то очевидно, що при моделюванні макромасштабних об'єктів мережі ці розходження стануть суттєвими. З огляду на це, електричну схему доцільно ускладнювати шляхом підключення внутрішніх джерел струму, що відображатимуть основні об'єкти тяжіння транспортних потоків.

Імітаційна електротехнічна аналогова модель коректно описує функціонування автотранспортних потоків на ділянках ВДМ у випадках, коли в гілках електричного аналога ВДМ задається величина опору, що розраховується за реальними (фактичними) параметрами проїзних частин відповідних ділянок ВДМ. Відносна похибка результатів моделювання (порівняння з даними експерименту) в масштабі міського кварталу, не перевищила 10%, у масштабі фрагменту ВДМ, до складу якої входять сорок елементарних ділянок (з них тринадцять ділянок – це ділянки вхідних та вихідних автотранспортних потоків), – 20%.

Цільовою функцією оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ є максимізація пропускну 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.

Задача щодо підвищення пропускної здатності ВДМ є класичною задачею оптимізації щодо пошуку максимального потоку на мережі через перерозподіл рівнів завантаженості її ділянок. З огляду на це, задача оптимізації функціонування автотранспортних потоків на ВДМ матиме наступний вид:

$$\begin{cases} f(z_1, z_2, \dots, z_n) \rightarrow \max \\ J^{in} - J^{out} = 0 \\ 0 \leq z_i \leq 0,7. \end{cases} \quad (4)$$

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.

При цьому,

$$z_i = \frac{J_i}{P_i} \in (0,1), \quad (5)$$

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 вважається недоцільною.

Оптимізація функціонування автотранспортних потоків на ВДМ 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 полягатиме у 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 цілком очевидно, що на перевантажених ділянках завжди буде відбуватися зменшення затримок, а на недовантажених ділянках збільшення затримок може і не відбуватися в силу наявних резервів пропускної здатності цих елементів мережі. З огляду на це, можна припустити, що на мережі в цілому буде відбуватися зниження сумарних затримок руху.

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

На базі електричної схеми реального фрагменту ВДМ, 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 3 а).

Отримані результати вказують на те, що при рівнях завантаженості ділянок вхідних та вихідних автотранспортних потоків від 0,38 і вище у 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 становить близько 4900 авт./год. (за умови рівня завантаженості ділянок  $\leq 0,70$ ).

Разом з тим, проведено оптимізацію розподілу автотранспортних потоків (4), 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). При цьому встановлено, що ділянки з рівнем завантаженості  $z > 0,70$ , у межах даного фрагменту ВДМ, будуть з'являтися при рівні завантаженості ділянок вхідних та вихідних автотранспортних потоків від 0,52 і вище (рисунок 3 б).

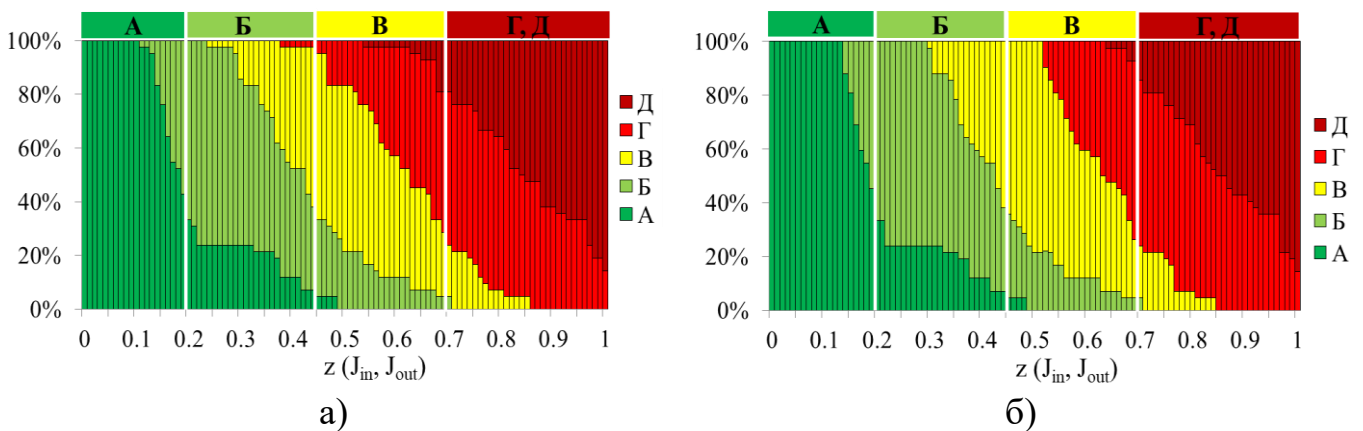


Рисунок 3 – Розподіл рівнів зручності руху для модельованого фрагменту ВДМ:  
а) до оптимізації; б) після оптимізації

На основі проведених досліджень розроблено модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах, яка передбачає здійснення трьох логічно пов'язаних між собою етапів.

На першому етапі вирішується задача щодо формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на ВДМ. На другому етапі розробляються математичні моделі НМ для моніторингу та прогнозування динаміки величини інтенсивності руху на ділянках вхідних та вихідних автотранспортних потоків відповідної ВДМ. Це забезпечить при проведенні електричного моделювання розподілу автотранспортних потоків (за інтенсивністю руху) на ВДМ (третій етап) знаходити 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 прогнозних оцінок щодо наповнення мережі автотранспортними потоками.

## 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 прогностичних 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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 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 (корисні моделі):*

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.

**АНОТАЦІЯ**

**Тарабан С.М. Методи і моделі раціональної організації функціонування автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. – Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2018.

Дисертаційна робота присвячена подальшому розвитку методів і моделей раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах.

На основі проведених досліджень розроблено модель раціональної організації функціонування автотранспортних потоків у містах, запропоновано метод формування раціональної мережі моніторингу автотранспортних потоків на вулично-дорожній мережі (ВДМ) міста, 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, розвинуто метод прогнозування динаміки величини інтенсивності руху автотранспортних потоків на основі моделювання відповідних процесів із застосуванням нейронних мереж.

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

## АННОТАЦИЯ

**Тарабан С.Н. Методы и модели рациональной организации функционирования автотранспортных потоков на улично-дорожной сети города - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 - транспортные системы. - Национальный транспортный университет Министерства образования и науки Украины, Киев, 2018.

Диссертация посвящена дальнейшему развитию методов и моделей рациональной организации функционирования автотранспортных потоков в городах.

На основе проведенных исследований разработана модель рациональной организации функционирования автотранспортных потоков в городах, предложен метод формирования рациональной сети мониторинга автотранспортных потоков на улично-дорожной сети (УДС) города, усовершенствовано имитационную электротехническую аналоговую модель анализа и оптимизации функционирования автотранспортных потоков на УДС города, которая в отличие от существующих, наиболее полно раскрывает аналогии в закономерностях функционирования автотранспортных потоков на УДС и течения процессов в электрических цепях, развит метод прогнозирования динамики величины интенсивности движения автотранспортных потоков на основе моделирования соответствующих процессов с применением нейронных сетей.

**Ключевые слова:** автотранспортный поток, улично-дорожная сеть, электрическое моделирование, элементарная участок, кластерный анализ, нейронные сети, репрезентативная элементарная участок.

## ABSTRACT

**Taraban S.M. Methods and models of the rational organization of the functioning of traffic flows on the city's road network - Manuscript.**

Thesis work for the PhD in Technical Sciences in specialty 05.22.01 – transport systems. – National Transport University of Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2018.

The thesis work is devoted to the further development of methods and models of rational organization of traffic flows in cities.

On the basis of the conducted research the model of rational organization of the traffic flows functioning in the cities has been developed. The method of a rational network formation for the monitoring traffic flows on the city's road network has been developed. The electrical-engineering analogue model of optimization of traffic flows operation in city's road network has been improved. This model, in contrast to the existing models, most fully reveals analogies in the laws of the functioning of traffic flows in city's road network and the processes occurring in electrical circuits. The method for predicting the dynamics of the intensity of traffic flows on the basis of simulation the corresponding processes with the use of neural networks has been improved.

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