

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

СВАТКО ВІТАЛІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 004.942

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ
ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ
У ВЕЛИКИХ МІСТАХ**

05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки Національного транспортного університету Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

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, доцент
Зибін Сергій Вікторович,
Національний авіаційний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри інженерії програмного
забезпечення, м. Київ

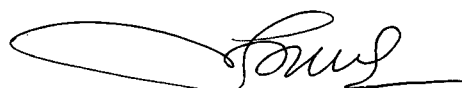
кандидат технічних наук,
Мнацаканян Марія Сергіївна,
ДВНЗ «Приазовський державний технічний
університет» Міністерства освіти і науки
України,
доцент кафедри технології міжнародних
перевезень і логістики, м. Маріуполь

Захист відбудеться «20» квітня 2021 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.01 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 «19» березня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.І. Мельниченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Об'єктивне зростання та глобалізація сучасної світової економіки, якісні зміни у вітчизняній економіці, збільшення інтенсивності та обігу потоків товарів, різка зміна масштабів комп'ютеризації систем управління і моніторингу найрізноманітніших економічних та інших процесів об'єктивно вимагає інтелектуальної підтримки управління цими процесами в реальному режимі часу.

Поряд з цим, прискорена автомобілізація в умовах відставання розвитку вулично-дорожніх мереж (ВДМ) великих міст, яка спостерігається у світі, в тому числі і в нашій державі, супроводжується проявом низки негативних наслідків, серед яких можна виділити такі основні, як різке зменшення ефективності транспортної інфраструктури (значна нерівномірність транспортного навантаження, зменшення швидкості руху транспортних потоків (ТП), затори, ДТП тощо), а також підвищення рівня забруднення навколишнього середовища. Це, зокрема, обумовлює виникнення значних затримок у транспортуванні вантажів, що призводить не тільки до часових, але й до суттєвих економічних втрат. Особливо гострим це питання є для підприємств, які доставляють власний товар, наприклад товар дрібних партій, до споживачів без посередників, тобто власним транспортом. У більшості сегментів ринку доставка товару додає до його собівартості суму витрат, яка у деяких випадках наближається до вартості самого товару.

Тому, у більшій мірі ефективність функціонування таких підприємств визначається ефективністю застосування транспортної логістики, що пов'язано з оптимальним розташування об'єктів доставки вантажів, управлінням процесами оптимальної маршрутизації з урахуванням динаміки ТП в реальному режимі часу, тощо.

Аналіз показує, що найбільш ефективно вирішення цим проблем в сучасних умовах пов'язують із розробкою, впровадженням та застосуванням інтелектуальних транспортних систем, де велику роль відіграє ефективне використання сучасних інформаційних технологій.

Теоретичні та методологічні основи організації процесів доставки вантажів, розробки інформаційних технологій оптимізації цих процесів представлено у наукових працях Андропова С.А., Алексієва В.О., Волкова В.П., Іванова А.М., Зибіна С.В., Матейчика В.П., Мигаля В.Д., Онищука В.П., Прокудіна Г.С., , Arango M.D., Archetti C., Benjelloun, A., Clarke G., Colorni A., Cordeau J.F., Dantzig G. B., Dimitrakopoulos G., Dorigo M., Dror M., Gendreau M., Glover F., Hertz F., Jarasuniene A. Kerner B., Langevin A., Laporte G., Maniezzo V., Nobert Y., Ramser J.H., Reimann M., Riopel D., Schmid V., Solomon M., Speranza M.G., Taniguchi E., Toth P., Trudeau P. та інших.

Існуючі на сьогоднішній день класичні методи дискретної оптимізації маршрутів транспортних перевезень не є досконалими, у своїй більшості вирішують задачі оптимізації малої розмірності та застосовуються для стаціонарних станів транспортної мережі.

Останнім часом отримали широке застосування для вирішення транспортних задач оптимізації інтелектуальні методи, зокрема, такі як, метод нейронних мереж,

метод теорії адаптивного резонансу, методи теорії нечітких множин, алгоритм імітації відпалу, генетичні алгоритми тощо. Вони дозволяють вирішувати складні задачі дискретної оптимізації та суттєво скоротити час пошуку оптимального рішення. Проте необхідною умовою їх ефективного застосування повинна бути наявність великих масивів даних, що обробляються під час проведення оптимізації.

Між тим, у випадку процесів доставки вантажів дрібних партій у великих містах, кількість об'єктів доставки може бути як малою, так і великою.

Поряд з цим, на підставі аналізу відповідних експериментальних даних, отриманих на швидкісних автомагістралях в Німеччині, Англії і США, Б. Кернером запропонована теорія трьох фаз динаміки ТП (вільний потік, синхронізований потік, широко рухомий кластер або затор). Ця теорія дозволяє пояснити і передбачити емпіричні просторово-часові залежності фазових переходів від вільного до щільного (синхронізованого) потоку та між результуючими структурами автомобільних транспортних потоків в синхронізованому стані, що часто спостерігаються на ВДМ великих міст. В рамках цієї теорії вважається, що спостережувані ефекти фазових переходів між різними станами, обумовлені проявом синергетичних ефектів (ефектів самоорганізації) внаслідок нерівноважної нестационарної динаміки ТП в області їх високої щільності. Тому одним з перспективних напрямків для опису таких процесів, є синергетичний підхід, який базується на принципах самоорганізації.

У зв'язку з цим, для вирішення проблем оптимізації процесів, що відбуваються в транспортних системах у таких динамічних нестационарних станах, може бути, зокрема, застосований інтелектуальний метод, пов'язаний з мурашиним алгоритмом, який базується на використанні ефектів самоорганізації мурашиних колоній.

Залишається актуальним також розробка методів оптимізації розташування об'єктів доставки вантажів з урахуванням реальної структури ВДМ великих міст.

Отже, актуальність дисертаційного дослідження обумовлена необхідністю розробки, впровадження та застосування відповідних універсальних інтелектуальних методів, а на їх основі інформаційних технологій оптимізації та управління процесом доставки вантажів дрібних партій в умовах нестационарної (реальної) динаміки транспортних потоків на ВДМ, що базуються на синергетичному підході. Використання таких методів та технологій може знайти своє застосування при створенні та впровадженні ефективних інтелектуальних транспортних систем, що дозволить, відповідно, підвищувати ефективність транспортування вантажів в межах великих міст.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Наведені в дисертації основні результати і рекомендації розроблено на основі виконання в рамках державних бюджетних тем науково-дослідних робіт кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки Національного транспортного університету - «Розробка наукових основ застосування сучасних інформаційних технологій у створенні новітніх технологій навчання» (номер державної реєстрації 0110U006953), «Інформаційне і алгоритмічне забезпечення в процесах управління системами організаційного типу» (номер державної реєстрації 0117U002069) та «Розробка науково-технічних основ інтелектуальних інтегрованих

інформаційних систем управління проектами» (номер державної реєстрації 0118U001106).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка нових та удосконалення існуючих інтелектуальних методів, а також інформаційної технології оптимізації процесів доставки вантажів дрібних партій автомобільним транспортом у великих містах.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- провести аналіз існуючих методів, моделей та інформаційних технологій оптимізації процесів доставки вантажів у містах;
- розвинути теоретичні уявлення про динаміку транспортних потоків в області високої щільності в рамках синергетичного підходу;
- удосконалити існуючий класичний мурашиний алгоритм оптимізації задач маршрутизації інформаційних потоків різної природи, з метою зменшення часу пошуку оптимальних рішень та реалізації можливості урахування впливу зовнішнього нестаціонарного середовища на швидкість передачі інформації по ланцюгах інформаційної мережі;
- розробити інтелектуальний метод оптимізації маршрутів доставки вантажів з урахуванням нестаціонарної (реальної) динаміки транспортних потоків на ВДМ міста на основі модифікованого мурашиного алгоритму;
- розробити інтелектуальний метод оптимального розташування розподільчих об'єктів доставки вантажів на ВДМ на базі інтелектуального методу планування променевої терапії злоякісних новоутворень та модифікованого мурашиного алгоритму;
- в рамках запропонованої інформаційної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) при логістичному управлінні доставці вантажів у великих містах розробити інтелектуальну інформаційну технологію динамічної маршрутизації вантажних перевезень, яка враховує нестаціонарну динаміку ТП в області великої щільності, що формуються на ділянках ВДМ;
- надати рекомендації щодо подальшого впровадження розроблених алгоритмів і програмних засобів забезпечення ефективної інформаційної підтримки управління процесами оптимізації доставки вантажів у транспортно-логістичних системах міст.

Об'єктом дослідження є процеси обробки інформації для прийняття рішень при доставці вантажів автомобільним транспортом в умовах впливу нестаціонарного середовища на ділянках ВДМ міст.

Предметом дослідження є методи, моделі та інформаційні технології оптимізації процесів доставки вантажів дрібних партій автомобільним транспортом у великих містах в умовах нестаціонарної динаміки транспортних потоків на ВДМ.

Гіпотеза роботи. Інтелектуальні методи опису нестаціонарних процесів в системах різної фізичної природи, які базуються на принципах синергетики (самоорганізації), дозволяють коректно описувати нестаціонарні процеси динаміки транспортних потоків високої щільності на ВДМ міст.

Методи дослідження. При вирішенні задач дисертаційного дослідження використовувались такі підходи та методи: синергетичний підхід опису нелінійних

нерівноважних дисипативних систем для синергетичної інтерпретації нестационарної динаміки ТП в області фазових переходів; методи штучного інтелекту, теорії графів та програмної інженерії при створенні інтелектуальних методів оптимізації процесів доставки вантажів; базових положень теорії управління та експертних методів теорії прийняття рішень при створенні інформаційної технології динамічної маршрутизації вантажних перевезень на ВДМ міст; метод аналізу ієрархій Сааті - для визначення ефективного транспортного засобу, як характеристики транспортного потоку; методи натурних спостережень – для одержання якісних статистичних даних щодо існуючої структури транспортних потоків на ВДМ міста Києва, інтенсивності руху автотранспортних потоків тощо; чисельні методи імітаційного моделювання для дослідження процесів доставки вантажів в межах великих міст; методи системного аналізу для дослідження структури розподільчих систем; методи теорії ймовірностей та математичної статистики для аналітичного опису процесів, що відбуваються у різних фазах транспортних потоків; методи організації автомобільних перевезень для опису моделей маршрутів доставки вантажів.

Оцінка достовірності та ефективності запропонованих методів у більшості випадків здійснювалась за допомогою кількісних імітаційних експериментів на відомих прикладах, а також порівнювалась з результатами, отриманими іншими авторами.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в наступному:

- **вперше** розроблено інтелектуальні методи оптимізації процесів доставки вантажів дрібних партій на ВДМ великих міст, які на відміну від існуючих, дозволяють враховувати нестационарну (реальну) динаміку транспортних потоків високої щільності в реальному режимі часу при проведенні оптимізації маршрутів доставки, а також визначати оптимальне розташування розподільчих об'єктів доставки вантажів на таких ВДМ;
- **вперше** в рамках запропонованої моделі ІСППР при логістичному управлінні доставки вантажів у великих містах розроблено інтелектуальну інформаційну технологію динамічної маршрутизації вантажних перевезень, яка на відміну від існуючих, враховує нестационарну динаміку транспортних потоків в області великої щільності, що формуються на ділянках ВДМ;
- **удосконалено** метод дискретної оптимізації маршрутів інформаційних потоків різної природи, що базується на модифікованому методі мурашиного алгоритму, який, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати вплив зовнішнього нестационарного середовища на швидкість передачі інформації по ланцюгах інформаційної мережі;
- **дістали подальшого розвитку:**
 - концепція ефективного автомобіля, як характеристики ТП, що враховує техніко-експлуатаційні властивості ТЗ, які формують ТП у певні проміжки часу на певних ділянках ВДМ міста;
 - синергетична інтерпретація нестационарної динаміки ТП в області фазових переходів, яка на відміну від існуючих мікромоделей опису поведінки ТП, враховує техніко-експлуатаційні властивості ТЗ, що

формують ТП у певні проміжки часу на певних ділянках ВДМ міста, а також дозволяє знаходити функціональні залежності зміни швидкості потоку руху від характерного часу зміни режиму динаміки транспортного потоку та щільності навантаження на ділянках мережі.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі запропонованих інтелектуальних методів та узагальнення існуючих результатів, закладається сучасний науково-практичний базис інтелектуалізації транспортно-логістичних систем доставки вантажів у великих містах шляхом реалізації розробленої інтелектуальної інформаційної технології динамічної маршрутизації вантажних перевезень в реальному режимі часу з урахуванням нестационарної (реальної) динаміки транспортних потоків на ділянках ВДМ.

Розвинута в дисертаційному дослідженні концепція ефективного автомобіля дозволяє коректно описувати склад та характеристики транспортного потоку, що формується на певних ділянках ВДМ міст, і може бути корисною, зокрема, при описі транспортних процесів в рамках широкого класу мікроскопічних моделей.

Запропоновані в роботі методи та інформаційна технологія оптимізації процесів доставки вантажів мають універсальний характер і можуть знайти своє застосування при створенні ефективних інтелектуальних транспортних систем міст для вирішенні задач оперативного (в онлайн режимі) управління процесом перевезень на ВДМ міст, а також на підприємствах-перевізників та в органах державної влади (Державне агентство автомобільних доріг України, Департаменти транспортної інфраструктури міських та обласних державних адміністрацій України) при вирішенні задач транспортної логістики для систем різної розмірності (місто, регіон, перевезення при міжнародному сполученні).

Результати досліджень знайшли своє впровадження у практичну діяльність перевізників у формі пропозицій та методичних рекомендацій, а саме: ТОВ «Фрозен Фрут», ТОВ «Ландгут Бройлер», СТОВ «ППР Зугреський». Розроблені теоретичні та науково-методичні положення дисертаційного дослідження використані при розробці освітніх програм з дисциплін «Основи функціонування інтелектуальних транспортних систем», «Інтелектуальний аналіз даних» при підготовці бакалаврів та магістрів на кафедрі інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки та кафедрі інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійно виконаним дослідженням, що має теоретичне та практичне значення для оптимізації процесів доставки вантажів у великих містах. Наукові результати, отримані в дисертації, ґрунтуються на дослідженнях автора і відображають його внесок у розвиток процесів вантажних перевезень у межах міста. У роботах, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: [1, 4, 6, 7, 8] – розроблено модифікацію методу мурашиної колонії для визначення оптимальних маршрутів з урахуванням реального стану динаміки транспортних потоків на ВДМ та проведено відповідні імітаційні моделювання на прикладі ВДМ м. Києва та м. Кіто (столиця Еквадору); [2, 3] – розроблено алгоритм методу оптимального розташування об'єктів доставки вантажів на ВДМ міст, що базується на методі планування променевої

терапії злочинних новоутворень та проведено відповідні імітаційні моделювання на прикладі ВДМ м. Києва; [5, 9] – розвинуто уявлення про ефективний автомобіль, що характеризує транспортні засоби, які входять до складу транспортного потоку, та проведено розрахунки його характеристик, з використанням методу аналізу ієрархій Сааті; [10] – якісна інтерпретація динаміки транспортних потоків в області високої щільності в рамках синергетичної моделі Лоренца.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи представлено на таких конференціях: LXV, LXVII-LXIX, LXXII-LXXIV щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 2009р., 2011-2013рр., 2016-2019 рр.); XII-XIII, XV-XVI міжнародних науково-технічних конференціях «Системний аналіз та інформаційні технології» (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, 2010-2011рр., 2013-2014 рр.); XVI Міжнародній науково-практичній конференції (Європейський університет, м. Київ, 2010р.); 13 Міжнародній науково-практичній конференції «Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики» (м. Київ, 2011р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні напрямки теоретичних і прикладних досліджень» (м. Одеса, 2013р.); IX International conference: Transport Problems (Політехнічний Сілезький Університет, м. Катовіце, Польща, 2017р.), 10 International Scientific Conference: TRANSBALICA 2017: Transportation Science and Technology (Вільнюський технічний університет Гедиміна, м. Вільнюс, Литва, 2017р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні напрями розвитку регіональних транспортних та логістичних систем» (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, 2018р.); 2nd International Conference on Intelligent Traffic and Transportation (м. Стокгольм, Швеція, 2018р.), 11 International Scientific Conference: TRANSBALICA 2019: Transportation Science and Technology (Вільнюський технічний університет Гедиміна, м. Вільнюс, Литва, 2019р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 6 статей у фахових виданнях України, 4 статті у виданнях іноземних держав, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, а також 15 тез доповідей наукових конференцій, отримано 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 5-ти розділів, висновків, списку літературних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 225 сторінок, з них 146 сторінок основного тексту, 21 сторінка списку літературних джерел і 29 сторінок додатків. Робота містить 25 рисунків і 23 таблиці. Список літературних джерел складається з 195 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито сутність та стан наукової проблеми, обґрунтовано актуальність досліджень, сформульовано мету, предмет, об'єкт та наукові задачі дослідження; описано основні методи дослідження; показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами; викладено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та відомості про публікацію і апробацію результатів дисертаційного дослідження.

У першому розділі викладені та проаналізовані існуючі на сьогоднішній день науково-методичні уявлення й інформаційні технології щодо оптимізації процесів доставки вантажів, визначені відповідні проблеми та шляхи їх вирішення. Так, за результатами проведеного аналізу показано, що вирішення проблем щодо різкого зменшення ефективності транспортної інфраструктури та забруднення навколишнього середовища на ВДМ міст, може бути пов'язане із застосуванням ІТС, де велику роль відіграє ефективне використання сучасних інформаційних технологій.

Між тим, використання інформаційних технологій в організації, оптимізації та управлінні логістичними процесами здійснення вантажних і пасажирських перевезень, а також управлінні дорожнім рухом у містах в умовах великої завантаженості ВДМ у теперішній час є епізодичним і недосконалим.

Також потребують подальшого розвитку інформаційні технології вирішення задач з динамічної маршрутизації перевезень в реальному режимі часу в умовах реальної динаміки транспортних потоків на ВДМ міст, які є надзвичайно актуальними для підвищення ефективності функціонування ІТС.

Поряд з цим, показано, що існуючі на сьогоднішній день методи та моделі оптимізації маршруту транспортних перевезень та відповідні програмно-технічні комплекси в основному вирішують задачі маршрутизації для стаціонарних станів транспортної мережі, коли швидкості на ділянках таких мереж не змінюються

Окрім того, показана актуальність питань теоретичного розвитку синергетичних уявлень про динаміку транспортного потоку для щільних його станів, вирішення яких дозволить розробляти інформаційні технології динамічної маршрутизації доставки вантажів з коректним урахуванням нестаціонарної динаміки транспортних потоків, що базуватиметься на відповідних розроблених інтелектуальних методах дискретної оптимізації.

У другому розділі за допомогою синергетичного підходу розвинуто теоретичні уявлення про динаміку транспортних потоків в області високої щільності. Зокрема, в рамках синергетичної моделі Лоренца, проведено інтерпретацію експериментальної фазової діаграми Кернера переходу від вільного до синхронізованого транспортного потоку, а також в області щільного транспортного потоку. В рамках цієї мікроскопічної моделі розглядається трипараметрична система нелінійно взаємопов'язаних параметрів η , ν , τ , що мають фізичний сенс відхилення від оптимального значення інтервалу між ТЗ (динамічні габарити), оптимальної швидкості та оптимального часу розгону-гальмування ефективного автомобіля, як модельної характеристики транспортного потоку, що формується в реальних умовах на певних ділянках ВДМ.

$$\begin{cases} \dot{\eta} = -\eta/t_{\eta} + v, \\ \dot{v} = -v/t_v + g_v\eta\tau, \\ \dot{\tau} = (\tau_0 - \tau)/t_{\tau} - g_{\tau}\eta v \end{cases} \quad (1-3)$$

Тут крапка означає диференціювання по часу;

t_{η}, t_v, t_{τ} - відповідно часи релаксації;

g_v, g_{τ} - додаткові константи зв'язку між динамічними змінними.

На основі отриманих розрахунків визначено залежності стаціонарного значення відхилення від оптимального значення інтервалу між транспортними засобами η_e^m та швидкості v від значення τ_0 , що визначає час, необхідний автомобілю для досягнення характерної швидкості. Значення η_e^m, v, τ_0 , наведені у відносних одиницях.

Крім того, отримано функціональні залежності швидкості руху ТЗ від щільності транспортного потоку (див. рис.1), які вказують на наявність чітких границь переходу між відповідними фазами динаміки ТП згідно фазової діаграми Кернера (вільний рух ТЗ, синхронізований рух ТЗ, рух широкого кластеру ТЗ).

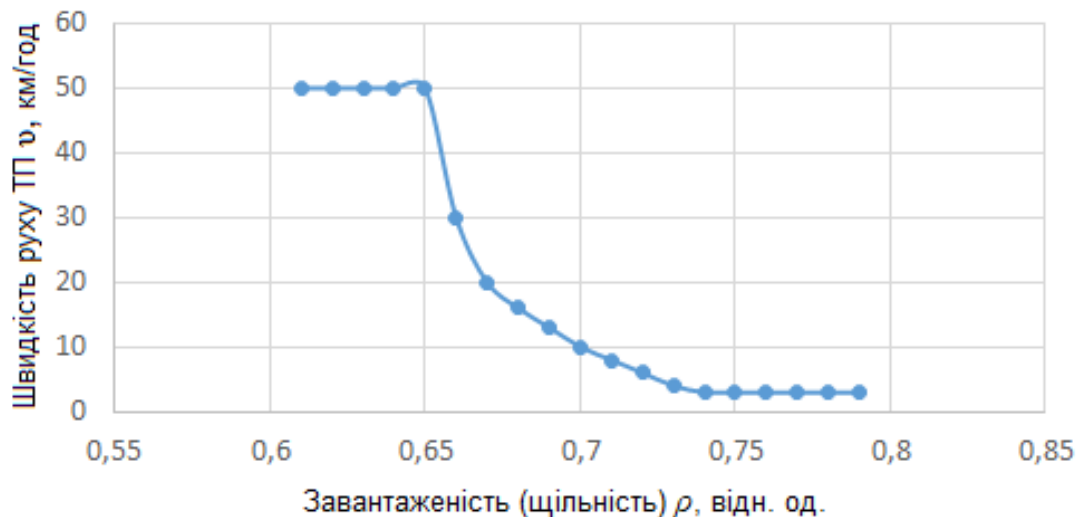


Рисунок 1 – Залежності швидкості руху транспортного потоку v від завантаженості ρ

У третьому розділі наведено результати розробки інтелектуального методу оптимізації маршрутів доставки вантажів у великих містах, який, на відміну від існуючих, враховує нестаціонарну динаміку транспортних потоків на певних ділянках ВДМ. Цей метод ґрунтується на використанні методу дискретної оптимізації на базі модифікованого алгоритму самоорганізації мурашиної колонії та результатах синергетичної інтерпретації функціональної залежності швидкості руху транспортного потоку від його щільності.

В рамках цього методу ВДМ представляється у вигляді двонаправлено орієнтованого зваженого графа. У вузлах такого графа розташовані пункти доставки товару (склади, супермаркети, тощо) зі складу відправника за допомогою ТЗ, що рухається у ВДМ міста. Фізичний сенс ваг ребер, які з'єднують певну пару вузлів графа, залежить від характеру розв'язуваної задачі. Це можуть бути відстані між

пунктами, середні швидкості або середній час, вартість проїзду транспортного засобу в транспортному потоці на певних ділянках мережі. Оптимізація маршрутів руху ТЗ здійснюється в рамках задачі комівояжера за допомогою модифікованого алгоритму самоорганізації мурашиної колонії.

Для цього в класичний алгоритм мурашиної колонії внесені такі зміни:

- 1) синхронний, циклічний рух колонії замінюється на асинхронний рух кожної мурахи з певною швидкістю;
- 2) існує можливість фіксувати результати оптимізації частково пройденого шляху для розрахунку подальшого маршруту при зміні довжини ребер графу під час руху;
- 3) імовірісно-пропорційне правило, що визначає ймовірність переходу k -ої мурахи з вузла i у вузол j відповідного графа з урахуванням динаміки транспортного потоку на ділянці ij , формулюється наступним чином:

$$\begin{cases} P_{ij,k}(t) = \frac{\mu_{ij}[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} \mu_{il}(t) [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}, j \in J_{i,k}, \\ P_{ij,k}(t) = 0, j \notin J_{i,k} \end{cases} \quad (4)$$

де μ_{ij} - функція завантаженості ділянки ВДМ між вузлами i та j , яка визначається наступним чином:

$$\mu_{ij} = \frac{a}{Z_{ij}}, \quad (5)$$

де a – нормуючий множник, Z_{ij} – коефіцієнт завантаженості ділянки ВДМ між вершинами i та j , який в свою чергу залежить від співвідношення швидкостей $v_{ij \text{ nom}}$ та $v_{ij \text{ fact}}$.

Тут $v_{ij \text{ nom}}$ – номінальне (максимально припустиме без порушення правил дорожнього руху) значення швидкості руху транспортного потоку на ділянці ВДМ між точками i та j , км/год; $v_{ij \text{ fact}}$ – фактичне значення швидкості руху транспортного потоку на ділянці ВДМ між точками i та j , км/год.

Для визначення коректності використання модифікованого алгоритму проведені тестові дослідження класичного мурашиного алгоритму та запропонованої модифікації на відповідних даних від 3 до 75 вершин графу. Результати оптимізації у всіх випадках збігались один з одним, проте час знаходження оптимального рішення для модифікованого алгоритму зменшувався в середньому на 15%.

Для апробації запропонованого методу здійснені імітаційні моделювання процесів оптимізації маршруту в рамках задачі комівояжера з урахуванням реальної динаміки транспортних потоків на прикладі певних фрагментів ВДМ м. Києва. Тут при проведенні досліджень експериментально визначались на модельних ділянках ВДМ середні щільності транспортних потоків в певні моменти часу протягом доби. Графік залежності щільності ρ (відн. од.) від часу доби спостережень на відповідних ділянках ВДМ наведено на рисунку 2.

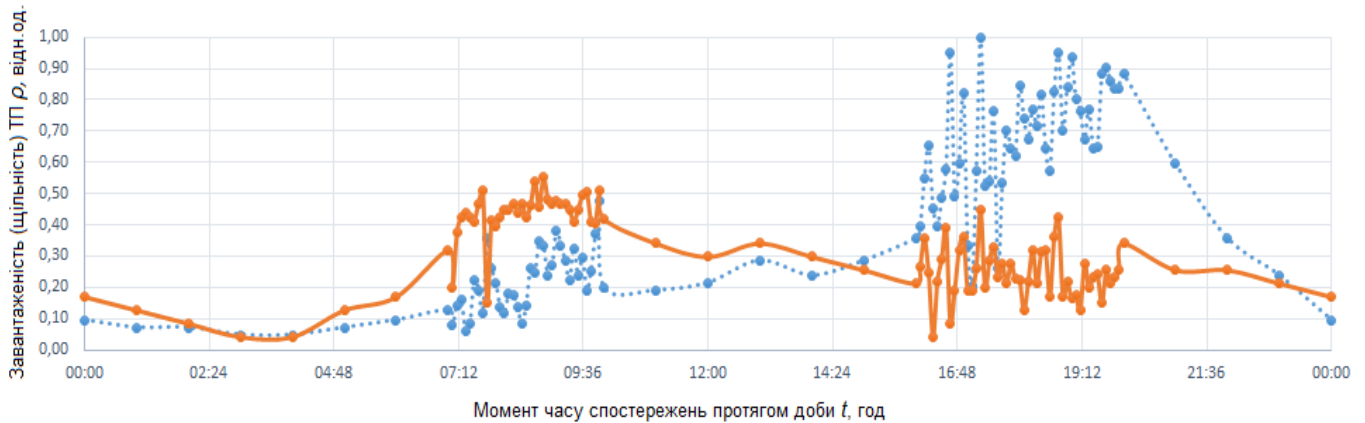


Рисунок 2 – Залежність щільності ТП ρ (відн. од.) на модельних ділянках ВДМ міста Києва від часу доби спостережень (штрихова лінія – ділянка завантаженості ВДМ м. Києва в одному напрямі; суцільна лінія – ділянка завантаженості ВДМ м. Києва в протилежному напрямі; ρ – щільність ТП на ділянці ВДМ, відн. од.; , t – момент часу спостережень протягом доби).

Далі, при проведенні імітаційного моделювання процесів оптимізації маршруту в умовах нестаціонарних станів функціонування модельних ділянок ВДМ, згідно синергетичної інтерпретації динаміки ТП (див. рис.1) визначались середні величини швидкостей ТП в залежності від експериментально отриманих середніх значень ρ на відповідних ділянках ВДМ в певні моменти часу протягом доби спостережень. При цьому на інших ділянках ВДМ вважалося, що ТЗ рухаються із номінальними швидкостями, які відповідають режиму вільного руху ТЗ.

За результатами моделювання було виявлено низку ефектів. Ці ефекти пов'язані з перебудовою оптимальних маршрутів при зменшенні середніх швидкостей руху ТЗ на модельних ділянках ВДМ до певних граничних значень, які відповідають певним режимам (фазам) руху ТП.

Деякі результати проведення імітаційних досліджень наведені на рис. 3.



Рисунок 3 – Динаміка перебудови оптимального маршруту доставки вантажів у м. Києві протягом доби в залежності від зміни швидкості ТП на модельних ділянках ВДМ за результатами імітаційного моделювання (l – довжина перебудованого оптимального маршруту, t – момент часу спостережень протягом доби).

Проведений аналіз результатів імітаційних досліджень, дає підстави вважати, що запропонований синергетичний підхід дозволяє достатньо адекватно здійснювати оперативне управління процесом оптимізації маршруту в реальному режимі часу з урахуванням реального динамічного стану ВДМ, що пов'язаний із суттєвими змінами швидкості руху ТЗ на певних ділянках цієї мережі. Ці зміни швидкості можуть бути обумовлені підвищенням завантаженості ділянок ВДМ, виникненням заторів, аварійних ситуацій тощо.

Аналогічні результати отримані при проведенні імітаційного моделювання процесів оптимізації маршрутів на прикладі ВДМ м.Кіто (Еквадор).

У четвертому розділі розглядаються результати запропонованого методу визначення оптимального розташування розподільчих об'єктів транспортно-логістичних систем, що має важливе значення для ефективного управління логістичними процесами при вантажних перевезеннях. Цей метод розроблений на основі методу планування променевої терапії злоякісних пухлин та використання модифікованого мурашиного алгоритму.

Тут вибирається обмежену область обслуговування G в k -мірному просторі R , точки якої позначаються x . Нехай є певна множина m розподільчих об'єктів (складів) $\{x\} = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m)$ заданої місткості x_j , що розташовані в певних точках мережі з відповідними координатами розташування. З іншого боку, маємо на обмеженій області обслуговування G обмежену n множину споживачів (супермаркетів) з відповідними обсягами попиту τ_i^j . Позначимо через $\tau_i = (\tau_i^1, \dots, \tau_i^n) \in G, i = \overline{1, N}$, джерела впливу (супермаркети) на середовище розподільчих об'єктів $\{x\}$, які необхідно оптимально розмістити. Розташування джерел впливу задається відповідними координатами. Нехай вплив кожного i -го джерела на розподільчий об'єкт, розташований в точці $x \in G$ описується функцією $d_i(r_i) = d_i(\|x - \tau_i\|), i = \overline{1, N}$, де $\|\cdot\|$ евклідова норма. Сукупний ефект дії всіх джерел $\tau_i, i = \overline{1, N}$ в точці $x \in G$ утворює поле дії $D(\tau, x)$, що описується такою функцією:

$$D(\tau, x) = \sum_{i=1}^N d_i(\|x - \tau_i\|). \quad (6)$$

Задача полягає в тому, щоб для заданої кількості супермаркетів розмістити відповідну кількість складів таким чином, щоб вони були розташовані оптимально до вказаних споживачів (тобто максимально близько до споживачів) і повністю задовольняли їх потреби. Це означає, що необхідно із заданої кількості складів обрати ті, сумарні транспортні витрати C_{ij} яких при доставці товару до всіх споживачів були б мінімальними.

В рамках математичної моделі задача зводиться до розміщення на обмеженій області G джерела $\tau_i, i = \overline{1, N}$ таким чином, щоб максимально мінімізувати рівень поля $D(\tau, x)$ на даній області G :

$$\min_{x \in G} D(\tau, x) \rightarrow \max_{\tau \in G^N}. \quad (7)$$

При цьому функція впливу джерела $d_i(r_i)$ вибирається у вигляді:

$$d_i(r_i) = Q_i \exp(-\alpha_i \cdot r_i), \quad (8)$$

де Q_i – інтенсивність (потужність) i -го джерела; $\alpha_i > 0$ – параметр функції, що показує, наскільки «широка» дія відповідного джерела τ_i (підбирається експериментально); $r_i = \|x - \tau_i\|, i = \overline{1, N}$.

У нашому випадку величина показника Q_i вибиралась як величина, що обернено пропорційна до величини виконаної роботи при перевезенні вантажу з певного складу до споживачів. Розмір виконаної транспортної роботи W визначався за формулою

$$W = G_{\text{ван}} \times S_{\text{ван}}, \quad (9)$$

де $G_{\text{ван}}$ – вага вантажу, т; $S_{\text{ван}}$ – пробіг з вантажем, км.

Параметр функції α_i , що показує, наскільки широка дія відповідного джерела τ_i , підбирається експериментально. Для нашого випадку визначено, що $\alpha_i = 0.2$.

Перевірка коректності оптимального визначення місць розташування складів здійснювалась при вирішенні задачі комівояжера для отриманої конфігурації розташування складів і супермаркетів за допомогою розробленого в роботі модифікованого мурашиного алгоритму.

Апробація запропонованого методу здійснювалась на прикладі фрагменту ВДМ м. Києва, де розглядалась оптимізаційна задача визначення за кількістю та місцем розташування розподільчих центрів (складів) заданої місткості при доставці вантажів дрібних партій заданого обсягу від складу виробника до заданої кількості супермаркетів із заданим обсягом попиту.

Отримані результати розрахунків вказують на те, що визначення оптимального розташування складів на замкненій площі обслуговування запропонованими методами, дає можливість зменшити витрати на доставку товару на 7-23%, в залежності від розташування складів.

У п'ятому розділі представлені результати розробки інформаційної технології динамічної маршрутизації вантажних перевезень, що базується на використанні розроблених інтелектуальних методів оптимізації процесів доставки вантажів дрібних партій на ВДМ великих міст, які дозволяють враховувати нестаціонарну (реальну) динаміку транспортних потоків високої щільності в реальному режимі часу при проведенні оптимізації маршрутів доставки, а також визначати оптимальне розташування розподільчих об'єктів доставки вантажів на таких ВДМ.

Така інформаційна технологія реалізується в запропонованій моделі ІСППР (див. рис. 4).

У відповідності до логічної архітектури та алгоритму функціонування представленої моделі ІСППР основними модулями розробленої інформаційної технології, відповідно, є модуль динамічної маршрутизації вантажних перевезень та модуль моделювання та управління динамікою ТП. В модулі динамічної маршрутизації здійснюється обробка даних моніторингу поточних характеристик динаміки ТП на ділянках ВДМ та вхідної інформації про кількість, місця розташування замовників та обсяги їх потреб у товарах; вибір найбільш оптимальних сценаріїв маршруту доставки вантажів за результатами експериментальних даних та результатами розробки сценаріїв прогнозування динаміки ТП і адаптації моделей вибору маршруту до реальних умов; внесення в модель умов початку застосування інформаційної технології динамічної маршрутизації і скасування її застосування на

основі детектування відповідних поточних даних динамічного стану ТП на ділянках ВДМ. Відповідно в модулі моделювання та управління динамікою ТП на основі даних про поточний стан динаміки ТП на ділянках ВДМ, отриманих з модулю динамічної маршрутизації, та результатах імітаційного моделювання з використанням модифікованого мурашиного алгоритму здійснюється розробка сценаріїв прогнозування динаміки ТП і адаптація отриманих моделей вибору маршруту до реальних умов.

Крім того, використання такої інформаційної технології, що реалізується за допомогою трьох модулів (динамічної маршрутизації, моделювання та управління динамікою ТП, оптимізації розташування об'єктів), дозволяє здійснювати оптимізацію процесу розташування розподільчих об'єктів транспортно-логістичних систем з подальшою оптимізацією маршрутів доставки вантажів при урахуванні нестационарної (реальної) динаміки транспортних потоків на ВДМ міста (див. рис.4). Тут користувач має можливість при наявності вхідної інформації про кількість та обсяги потреб у товарах замовників, а також про динамічний стан ВДМ міста в певний момент часу отримати вихідну інформацію про оптимальні кількість та місця розташування розподільчих центрів (складів) заданої місткості при доставці вантажів дрібних партій заданого обсягу від складу виробника до заданої кількості супермаркетів, як замовників відповідних видів товарів.

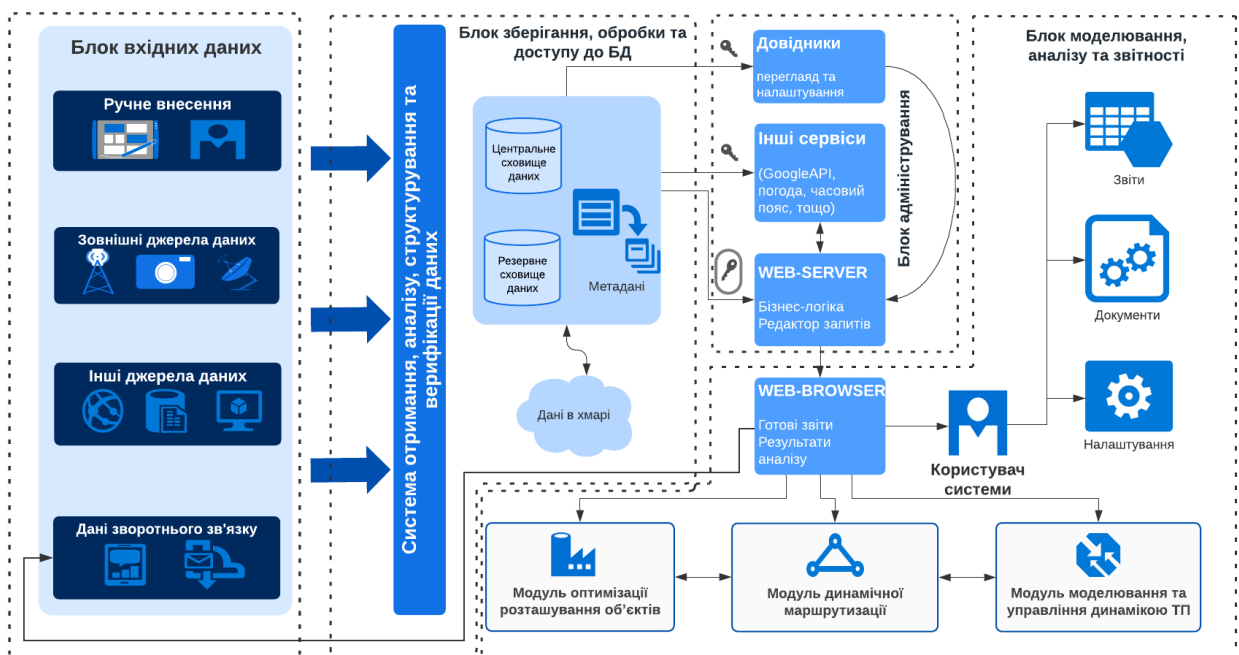


Рисунок 4 - Модель інформаційної системи підтримки прийняття рішень

Для перевірки можливості застосування запропонованої моделі інформаційної системи підтримки та прийняття рішень процесу доставки вантажів у великих містах було використано дані про вантажі, споживачів та транспортні засоби підприємства ТОВ «Фрозен Фрут». Застосування запропонованої інформаційної технології, дозволило зменшити витрати на доставку товарів на 16%.

ВИСНОВКИ

Головним результатом дисертаційної роботи є створення на основі запропонованих інтелектуальних методів оптимізації та узагальнення отриманих результатів імітаційних досліджень, сучасного науково-практичного базису інтелектуалізації транспортно-логістичних систем доставки вантажів у великих містах шляхом реалізації розробленої інтелектуальної інформаційної технології динамічної маршрутизації вантажних перевезень в реальному режимі часу з урахуванням нестаціонарної (реальної) динаміки транспортних потоків на ділянках ВДМ.

За підсумками дисертаційного дослідження сформульовані такі основні висновки:

1. Проведений аналіз методів, моделей та інформаційних технологій показав, що існуючі на сьогоднішній день методи та моделі оптимізації маршруту транспортних перевезень та відповідні програмно-технічні комплекси в основному вирішують задачі маршрутизації для стаціонарних станів транспортної мережі, коли швидкості на ділянках таких мереж не змінюються. Відсутні адекватні теоретичні уявлення про динаміку ТП в області фазових переходів від вільного до синхронізованого стану та щільних станів формування ТП. Існуючі інформаційні технології не вирішують проблему динамічної маршрутизації вантажних перевезень в реальному режимі часу на ВДМ міст з урахуванням нестаціонарної динаміки ТП.

2. За допомогою синергетичного підходу в роботі розвинуто теоретичні уявлення про динаміку транспортних потоків в області високої щільності. Зокрема, в рамках синергетичної моделі Лоренца, проведено інтерпретацію експериментальної фазової діаграми Кернера переходу від вільного до синхронізованого транспортного потоку, а також в області щільного транспортного потоку. В рамках цієї мікроскопічної моделі отримано функціональні залежності швидкості руху ТЗ від щільності транспортного потоку, які вказують на наявність чітких границь переходу між відповідними фазами динаміки ТП.

3. На прикладі оптимізаційної задачі маршрутизації вантажних перевезень на ВДМ великих міст розроблено модифікацію існуючого класичного мурашиного алгоритму дискретної оптимізації маршрутів інформаційних потоків різної природи, з метою зменшення часу пошуку оптимальних рішень та реалізації можливості урахування впливу зовнішнього нестаціонарного середовища на швидкість передачі інформації по ланцюгах інформаційної мережі. Основні зміни пов'язані з тим, що синхронний циклічний рух мурашиної колонії замінено на асинхронний рух кожного мурашиного агента із певною (відмінною однієї від іншої) швидкістю. Також існує можливість фіксації результатів оптимізації частково пройденого шляху для розрахунку подальшого маршруту при зміні умов руху цих агентів, як аналогів ТЗ, під впливом зовнішнього середовища. Для перевірки коректності використання модифікованого мурашиного алгоритму проводились тестові дослідження оптимізації маршруту за довжиною з використанням методу повного перебору та методу гілок та меж. Отримані результати досліджень у повній мірі збігаються з такими, що отримані за допомогою модифікованого мурашиного алгоритму. При

цьому час пошуку оптимальних рішень зменшується більше, ніж на 15%.

4. На основі модифікованого мурашиного алгоритму розроблено інтелектуальний метод оптимізації маршрутів доставки вантажів з урахуванням нестационарної (реальної) динаміки транспортних потоків на ВДМ міста. При цьому функціональні залежності зміни швидкості транспортного потоку від характерного часу та щільності навантаження на ділянках дорожньої мережі визначаються в рамках синергетичної моделі Лоренца. Для апробації запропонованого методу здійснені імітаційні моделювання процесів оптимізації маршруту в рамках задачі комівояжера на прикладі ВДМ м. Києва та м. Кіто (Quito), столиці Еквадору. При проведенні імітаційного моделювання було виявлено низку ефектів, які пов'язані з перебудовою оптимальних маршрутів при зменшенні середніх швидкостей руху ТЗ на модельних ділянках ВДМ до певних граничних значень, які відповідають певним режимам руху транспортних потоків.

5. Розроблено інтелектуальний метод оптимального розташування розподільчих об'єктів доставки вантажів на ВДМ міста, що має важливе значення для ефективного управління логістичними процесами при вантажних перевезеннях. Цей метод базується на використанні методу планування променевої терапії злоякісних новоутворень та модифікованого мурашиного алгоритму. Апробація методу здійснювалась на прикладі фрагменту ВДМ м. Києва, де розглядалась оптимізаційна задача визначення за кількістю та місцем розташування розподільчих центрів (складів) заданої місткості при доставці вантажів дрібних партій заданого обсягу від складу виробника до заданої кількості супермаркетів. Результати досліджень показують, що запропонований метод дозволяє значно мінімізувати вартість доставки товару від виробника до споживача (до 23 %).

6. За результатами проведених досліджень, в рамках запропонованої моделі ІСППР при логістичному управлінні доставки вантажів у великих містах, розроблено інтелектуальну інформаційну технологію динамічної маршрутизації вантажних перевезень, що базується на застосуванні розроблених методів оптимізації маршрутів та розташування розподільчих об'єктів доставки вантажів. Отримані результати апробації ІСППР вказують на можливість суттєвого (принаймні до 30%) підвищення ефективності функціонування транспортно-логістичних систем доставки вантажів.

7. Розроблено рекомендації щодо застосування моделі ІСППР та запропонованої інформаційної технології для управління процесами доставки вантажів, де, зокрема, визначено групи зацікавлених сторін (підприємств), які приймають участь у розробці, створенні та впровадженні ефективних транспортно-логістичних систем як підсистем ІТС з оптимізації та оперативного управління процесами доставки вантажів на ВДМ великих міст, а також у транспортуванні вантажів і мають можливість отримувати зазначену інформацію в реальному режимі часу з використанням відповідних інформаційно-комунікаційних технологій для ефективного здійснення цих процесів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Svatko V., Danchuk V., Bakulich O. An improvement in ant algorithm method for optimizing a transport route with regard to traffic flow. *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 187. – P. 425 – 434. (індексується у наукометричній базі даних Scopus)
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.396>
2. Svatko V., Danchuk V., Bakulich O. Identifying warehouse location using the radiation therapy method in logistic distribution system. *Transport Problems*. 2018. Vol. 13. Issue 4. P. 143 – 155. (індексується у наукометричній базі даних Scopus)
DOI: <https://doi.org/10.20858/tp.2018.13.4.13>
3. Svatko V., Danchuk V., Bakulich O. Identifying optimal location and necessary quantity of warehouses in logistic system using a radiation therapy method. *Transport*. 2019. Vol. 34, Issue 2. P. 175-186. (індексується у наукометричній базі даних Scopus)
DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.8546>
4. Svatko V., Danchuk V., Bakulich O. Building optimal routes for cargo delivery in megacities. *Transport and Telecommunication*. 2019. Vol. 20, Issue 2. P. 142-152. (індексується у наукометричній базі даних Scopus)
DOI: <https://doi.org/10.2478/ttj-2019-0013>

Статті у фахових виданнях України:

5. Сватко В.В., Данчук В.Д., Олійник Р.В. Визначення ефективних засобів вантажних перевезень в транспортних задачах методом аналізу ієрархій. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2011. № 22. С. 127-136.
6. Сватко В.В., Данчук В.Д. Застосування модифікованого методу самоорганізації мурашиної колонії для визначення оптимального маршруту вантажних перевезень в транспортних задачах. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2011. № 24 (2). С. 147-153.
7. Сватко В.В., Данчук В.Д. Модифікований мурашиний метод оптимізації маршруту в динамічній задачі комівояжера. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2012. № 25. С. 378-382.
8. Сватко В.В., Данчук В.Д. Оптимізація пошуку шляхів по графу в динамічній задачі комівояжера методом модифікованого мурашиного алгоритму. *Системні дослідження та інформаційні технології*. Київ, 2012. №2. С. 78-86.
9. Сватко В.В., Данчук В.Д., Бакуліч О.О. Визначення ефективного автомобіля як характеристики транспортного потоку за допомогою методу аналізу ієрархій. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2012. № 26 (2). С. 123-127.
10. Сватко В.В., Данчук В.Д., Бакуліч О.О. Синергетична інтерпретація фазового переходу між режимами вільного та синхронізованого транспортного потоку. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. № 29. С. 109-115.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

11. Сватко В.В., Данчук В.Д. Оптимізація пошуку шляхів по графу в задачах логістики методом модифікованого мурашиного алгоритму. *XII Міжнародна науково-технічна конференція Системний аналіз та інформаційні технології САІТ-2010*: тези доповідей. Київ: НТУУ «КПІ», 2010. С. 72.

12. Сватко В.В., Данчук В.Д. Оптимізація транспортних перевезень в динамічній задачі комівояжера. *XVI Міжнародна науково-практична конференція*: тези доповідей. Київ: Європейський університет, 2010. С.148-150.

13. Сватко В.В., Данчук В.Д., Позивай М.І. Оптимізація маршруту транспортних перевезень модифікованим методом самоорганізації мурашиної колонії. *Системний аналіз та інформаційні технології САІТ-2011*: тези доповідей. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. С. 78.

14. Сватко В.В., Данчук В.Д. Оптимізація маршруту вантажних перевезень в умовах реальної динаміки транспортних потоків. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2012. С. 74.

15. Сватко В.В. Методика визначення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля з використанням моделі ефективного транспортного засобу. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції: Сучасні напрямки теоретичних і прикладних досліджень*: тези доповідей. Одеса: Sworld, 2013. С. 16-24.

16. Сватко В.В., Данчук В.Д. Визначення ефективного транспортного засобу на основі даних спостереження стану транспортної мережі міста за допомогою методу аналізу ієрархій Сааті. *LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2013. С. 73.

17. Сватко В.В. Використання моделі ефективного транспортного засобу для визначення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля. *XV Міжнародна конференція «Системний аналіз та інформаційні технології САІТ-2013»*: тези доповідей. Київ: НТУУ «КПІ», 2013. С. 185.

18. Сватко В.В., Данчук В.Д., Бакуліч О.О. Синергетична інтерпретація фазового переходу між станами вільного та синхронізованого транспортного потоку. *Системний аналіз та інформаційні технології САІТ-2014*: тези доповідей. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. С. 79.

19. Сватко В.В., Данчук В.Д. Оптимізація розташування складських приміщень в задачах транспортної логістики за допомогою методу оптимального планування променевої терапії злоякісних новоутворень. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*: тези доповідей. Київ: НТУ, 2017. С. 88.

20. Сватко В.В., Данчук В.Д. Розробка інформаційної керуючої системи для побудови оптимальних маршрутів доставки вантажів новоутворень *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та*

співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. Київ: НТУ, 2017. С. 89.

21. Svatko V., Danchuk V., Bakulich O. An improvement in ant algorithm method for optimizing a transport route with regard to traffic flow. *X International Scientific Conference: TRANSBALICA 2017: Transportation Science and Technology*. Vilnius, Lithuania: Vilnius Gediminas Technical University, 2017.

22. Svatko V., Danchuk V., Bakulich O. Applying the radiation therapy method for solving the problems of the optimal location of warehouses in logistics distribution system. *IX International conference: Transport Problems*. Katowice, Poland: University of Silesia in Katowice, 2017. P. 104-115.

23. Сватко В.В., Данчук В.Д. Використання методу променевої терапії для вирішення задач оптимізації розташування складів у логістичній розподільчій системі. *Міжнародна науково-практична конференція «Перспективні напрями розвитку регіональних транспортних та логістичних систем»*. Харків, 2018. С.177-181.

24. Svatko V., Danchuk V., Bakulich O. Building optimal routes for cargo delivery taking into account the dynamics of traffic flows. *6th International Conference on Traffic and Logistic Engineering*. Bangkok, Thailand, 2018. Vol. 259. - P. 1-6.

DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925901001>

25. Svatko V., Danchuk V., Talal Ameen, Bakulich O. Simulation Processes of Construction of Optimal Routes for the Delivery of Goods by Road Transport on Urban Road Network in Mountainous Cities. *XI International Scientific Conference: TRANSBALICA 2019: Transportation Science and Technology*. Vilnius, [Lithuania: Vilnius Gediminas Technical University](#), 2019.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір:

26. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №38692 науковий твір «Оптимізація маршруту транспортних перевезень в динамічній задачі комівояжера модифікованим методом самоорганізації мурашиної колонії» / В.Д. Данчук, В.В. Сватко, М.І. Позивай (Україна). – №38692; зареєстровано 21.06.2011.

27. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №38693 комп'ютерна програма «Оптимізація маршруту транспортних перевезень в динамічній задачі комівояжера модифікованим методом самоорганізації мурашиної колонії» / В.Д. Данчук, В.В. Сватко, М.І. Позивай (Україна). – №38693; зареєстровано 21.06.2011.

28. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №97439 науковий твір «Імітаційне моделювання процесів оптимізації розподілу пунктів доставки вантажів за допомогою методу променевої терапії» / В.Д. Данчук, В.В. Сватко (Україна). – №97439; зареєстровано 05.05.2020.

АНОТАЦІЯ

Сватко В.В. Інтелектуальні методи та інформаційна технологія оптимізації процесів доставки вантажів у великих містах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

Дисертація присвячена розв'язанню актуальної науково-технічної задачі розробки інтелектуальних методів та інформаційної технології оптимізації процесів доставки вантажів з урахуванням реальної динаміки транспортних потоків.

На основі модифікованого мурашиного алгоритму розроблено інтелектуальний метод оптимізації маршрутів доставки вантажів з урахуванням нестационарної динаміки транспортних потоків на ВДМ міста, а також метод оптимального розташування розподільчих об'єктів доставки вантажів, що базується на використанні методу планування променевої терапії злоякісних новоутворень та модифікованого мурашиного алгоритму.

На базі запропонованих методів розроблено інтелектуальну інформаційну технологію динамічної маршрутизації вантажних перевезень на ВДМ великих міст, яка враховує нестационарну динаміку ТП.

Ключові слова: інформаційна технологія, мурашиний алгоритм, динамічна маршрутизація, транспортний потік, інтелектуальна інформаційна система підтримки прийняття рішень, методи оптимізації маршрутів.

ABSTRACT

Svatko V.V. Intellectual methods and information technology of optimization of cargo delivery processes in large cities. - Manuscript.

Thesis for a Candidate of Science Degree in Specialty 05.13.06 «Information Technologies». - National Transport University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific and technical problem of development of intellectual methods and information technology of optimization of processes of delivery of cargoes taking into account real dynamics of traffic flows.

On the basis of the modified ant algorithm the intellectual method of optimization of routes of cargo delivery taking into account nonstationary dynamics of traffic flows on URN of the city is developed.

An intelligent method of optimal location of cargo delivery distribution facilities has been developed, based on the use of the method of planning radiation therapy of malignant neoplasms and a modified ant algorithm.

On the basis of the offered methods the intellectual information technology of dynamic routing of cargo transportations which considers nonstationary dynamics of traffic flows is developed.

Key words: information technology, ant algorithm, dynamic routing, traffic flow, intelligent decision support information system, methods of route optimization.

АННОТАЦИЯ

Сватко В.В. Интеллектуальные методы и информационная технология оптимизации процессов доставки грузов в больших городах. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 «Информационные технологии». - Национальный транспортный университет Министерства образования и науки Украины, Киев, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-технической задачи разработки методов и информационной технологии оптимизации процессов доставки грузов мелких партий в больших городах с учетом реальной динамики транспортных потоков.

С помощью синергетического подхода в работе развиты теоретические представления о динамике транспортных потоков в области высокой плотности. В частности, в рамках синергетической модели Лоренца, проведено интерпретацию экспериментальной фазовой диаграммы Кернера перехода от свободного к синхронизированному транспортному потоку, а также в области плотного транспортного потока. Получены функциональные зависимости скорости движения ТС от плотности транспортного потока, которые указывают на наличие четких границ перехода между соответствующими фазами динамики ТП.

На примере оптимизационной задачи маршрутизации грузовых перевозок на УДС больших городов осуществлено модификацию существующего классического муравьиного алгоритма дискретной оптимизации маршрутов информационных потоков различной природы, с целью уменьшения времени поиска оптимальных решений и реализации возможности учета влияния внешней нестационарной среды на скорость передачи информации по цепям информационной сети.

Впервые, на основе предложенной модификации муравьиного алгоритма, разработаны интеллектуальные методы оптимизации процессов доставки грузов мелких партий в УДС крупных городов, которые в отличие от существующих, позволяют учитывать нестационарную (реальную) динамику транспортных потоков высокой плотности в реальном режиме времени при проведении оптимизации маршрутов доставки, а также определять оптимальное расположение распределительных объектов доставки грузов на таких УДС.

На основании предложенных в работе методов разработано интеллектуальную информационную технологию динамической маршрутизации грузовых перевозок, которая учитывает нестационарную динамику ТП в области большой плотности, которые формируются на участках УДС городов. Разработаны рекомендации по применению информационной технологии поддержки принятия решений процесса доставки грузов в крупных городах.

Ключевые слова: информационная технология, муравьиный алгоритм, динамическая маршрутизация, транспортный поток, интеллектуальная система поддержки принятия решений, методы оптимизации маршрутов.