

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

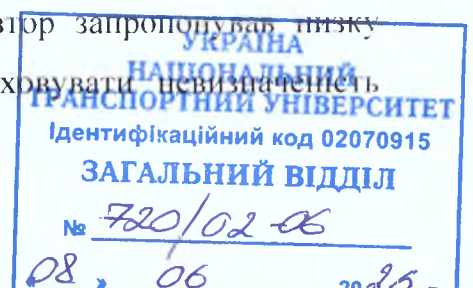
доктора технічних наук, професора кафедри кібернетики і прикладної математики
Ужгородського національного університету
Маляра Миколи Миколайовича
на дисертаційну роботу Івохіної Катерини Євгеніївни
на тему: «Інтелектуальні методи та моделі в задачах оптимізації транспортних та
мережевих потоків з урахуванням нечіткого відліку часу»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
у галузі знань 12 «Інформаційні технології»
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Івохіної Катерини Євгеніївни є актуальним науковим дослідженням, що відповідає сучасним викликам цифрової трансформації логістичних систем. В умовах стрімкої автоматизації цифровізації в таких ключових секторах, як транспортна та інформаційна логістика, виникає нагальна потреба у створенні нових інструментів для ефективного управління потоками та маршрутами транспортування вантажів і даних. Зростає значення високотехнологічних рішень, які дозволяють якісно оновити процеси збору, обробки та аналізу даних, необхідних для планування, моніторингу та оптимізації мережевих потоків.

У межах дисертаційного дослідження обґрунтовано необхідність переходу від традиційних, спрощених моделей оптимізаційних задач, що розглядаються на транспортних та інформаційних мережах, до більш складних і адаптивних формулювань. Такі формулювання дають змогу глибше враховувати специфіку сучасних логістичних та інформаційних мереж з ресурсними обмеженнями, нечітко визначеними потребами та нестабільними умовами функціонування. Застосування таких моделей сприяє підвищенню точності імітації реальних транспортних та мережевих процесів, забезпечуючи ефективність прийняття управлінських рішень у в умовах невизначеності зовнішнього середовища.

Особливий акцент у роботі зроблено на задачі розв'язування задач побудови маршрутів руху комівояжера та проблемі розподілу обмежених потужностей каналів передачі даних між різними вузлами мережі Інтернет. Автор запропонував низку математичних моделей і алгоритмів, що дозволяють враховувати невизначеність



(нечіткість) подання параметрів руху, зміст яких залежить від характеру та впливу наявних факторів, ефективно використати доступні ресурси, пропускну спроможність вузлів транспортування даних та товарів. Обґрунтовано та запропоновано застосування методів дослідження операцій як інструментальної бази для вдосконалення математичних моделей та методів, що значно підвищує їх прикладну цінність.

Практичне значення отриманих результатів підтверджується впровадженням запропонованих технологій при розв'язуванні прикладних оптимізаційних задач, що дозволило провести перевірку ефективності отриманих розв'язків. Розроблено комплекс програм для застосування моделі машинного навчання з метою використання сучасних інтелектуальних інформаційних технологій в задачах логістики та маршрутизації.

У дисертації послідовно та логічно викладено результати дослідження, яке охоплює формалізацію, математичне моделювання та створення методів розв'язання задач управління транспортними та інформаційними мережевими процесами в умовах невизначеності та ресурсних обмежень.

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

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, виконаним відповідно до планів науково-дослідної діяльності Національного транспортного університету в межах кафедральної наукової теми «Системні дослідження та інформаційні технології у транспортній галузі, телекомунікаціях, промисловості та бізнесі» (2025 рік, державний реєстраційний номер 0124U003679). Тематика роботи повністю відповідає стратегічним науковим напрямкам університету та пріоритетам кафедри інформаційних систем і технологій, що підтверджує її актуальність та інтегрованість у загальний науковий процес закладу вищої освіти.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, їх достовірність

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі Івохіної Катерини Євгеніївни, відзначаються високим рівнем обґрунтованості та достовірності, що забезпечується використанням сучасних методів дослідження в галузі інформаційних технологій і логістики. Робота ґрунтується на детальному аналізі та обґрунтованому вдосконаленні існуючих оптимізаційних підходів, моделей та методів.

алгоритмічному забезпеченні та численних експериментальних перевірках, що дозволяє здобувачеві робити обґрунтовані наукові висновки.

Практична реалізація запропонованих методів і моделей у програмному прототипі інформаційної системи дала змогу перевірити ефективність у реальних прикладних задачах, що додатково підтверджує достовірність отриманих результатів. Застосування методів системного аналізу, кластеризації, лінійного програмування та модифікованих алгоритмів дозволило досягти високої точності у формалізації та розв'язанні задач оптимізації транспортних та мережевих потоків з урахуванням невизначеності.

Результати, представлені у вигляді формалізованих моделей, методів та засобів програмного забезпечення, графіків та таблиць результатів, що підтверджують практичну цінність розробок і відповідність теоретичних висновків реальним умовам транспортних та інформаційних мереж. Реалізація і апробація запропонованих підходів на реальних даних свідчить про високу прикладну значущість положень дисертації.

Таким чином, наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, є добре обґрунтованими, логічно послідовними й достовірними, що дозволяє впевнено стверджувати про їх відповідність сучасним вимогам до наукових досліджень у сфері комп'ютерних наук та інформаційних систем.

Структура та обсяг роботи

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури і джерел. Повний обсяг дисертації 166 сторінок, з обсягом основного тексту 112 сторінок. Список використаної літератури з 116 позицій на 12 сторінках, 6 додатків на 23 сторінках.

У першому розділі розглянуто математичні постановки сучасних оптимізаційних задач транспортної та інформаційної маршрутизації. Основну увагу приділено задачам комівояжера та розподілу потужності каналів передачі даних в умовах невизначеності. В якості засобів формалізації невизначеності запропоновано використання нечітких нечітких трикутних чисел. У розділі викладено базові поняття та принципи теорії нечітких множин та нечітких чисел, наведено схеми використання нечітких чисел з урахуванням спеціального їх перетворення до гаусоподібного вигляду. Визначено загальний вигляд нечіткої задачі лінійного програмування в урахуванням

невизначеності вхідних параметрів, які задаються у формі правих нечітких трикутних чисел.

У другому розділі сформульовано математичну модель задачі комівояжера з нечіткою тривалістю переміщень між містами. Запропоновано модель для вирішення задачі ефективного розподілу потужності комунікаційних каналів з метою підвищення ефективності організаційного управління в мережевих структурах на основі сучасних методів розподілу та обробки інформаційних потоків. Проведено аналіз можливості застосування математичних методів для розв'язання оптимізаційних задач комівояжера та ефективного розподілу потужності каналів передачі даних в умовах невизначеності. Розглянуто використання методів гілок та меж, імітації відпалу та генетичного алгоритму для задачі комівояжера. Викладено зміст методу Орліна для оптимізації розподілу потокового ресурсу на мережі комунікаційних каналів передачі даних з урахуванням нечітких потреб користувачів.

У третьому розділі наведено результати дослідження щодо використання сучасних інтелектуальних методів та технологій машинного навчання для розв'язання нечіткої оптимізаційної задачі комівояжера. Розглянуто програмні засоби для навчання моделі розпізнавання класифікованих слів на основі алгоритмів машинного навчання. Сформульовано підхід для розв'язання задачі комівояжера з урахуванням нечітких оцінок тривалості переміщень, отриманих на основі впливу інформації з новинних джерел. Запропоновано правила оцінювання нечіткості величин тривалості затримки за етапами маршруту комівояжера на основі вирішення задачі розпізнавання іменованих сутностей. Розроблено схеми уточнення результатів дефазифікації розв'язків нечітких задач комівояжера, отриманих на основі використання центрів тяжіння нечітких чисел.

Четвертий розділ присвячено результатам практичного застосування програмних засобів та технологій для розв'язання сформульованих раніше задач оптимізації транспортних та мережевих потоків. Наведено методи та результати розв'язання задачі комівояжера з урахуванням нечітких оцінок тривалості переміщень на основі методу меж та гілок, імітації відпалу та генетичного алгоритму. Запропоновано результати використання методу Орліна для пошуку розв'язків у нечіткій задачі комівояжера, наведено приклад оптимізації маршрутів доставки вантажів на основі методу імітації відпалу.

У підсумкових висновках роботи сформульовано практичне значення

вдосконалень розроблених інтелектуальних методів, моделей і програмних засобів для оптимізації транспортних та мережевих потоків в умовах невизначеності параметрів часу переміщення та обсягів інформаційного споживання. Отримані результати підвищують ефективність розв'язання задач маршрутизації та розподілу потоків даних у транспортних і комунікаційних мережах із урахуванням впливу суб'єктивних та об'єктивних факторів невизначеності.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи Івохіної Катерини Євгеніївни полягає у розробленні та удосконаленні моделей, методів та інтелектуальних технологій для розв'язуванні задач маршрутизації у процесах логістики та розподілу потоків даних на мережі комунікаційних каналів з урахуванням впливу суб'єктивних оцінок щодо тривалості переміщення у транспортних мережах і нечітких оцінок обсягів споживання споживачів інформаційних мереж. Для розв'язання задачі комівояжера з нечіткими оцінками часу переміщень запроваджено схему використання інтелектуальних технологій машинного навчання розпізнавання сутності контенту новинних ресурсів.

У рамках дослідження *вперше*:

1. в рамках задач маршрутизації на транспортних мережах сформульовано підхід до урахування нечітко визначеної тривалості переміщень, що задаються трикутними нечіткими числами, із застосуванням процедур багатокритеріальної оцінки та дефазифікації.

Удосконалено:

1. модель оптимального розподілу обсягів передачі даних у комунікаційних каналах інформаційних мереж шляхом урахування нечітко визначених потреб споживачів, яка, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати невизначеність попиту у вигляді нечітких обмежень при формуванні оптимальних рішень;
2. методи розв'язання нечітких задач комівояжера та розподілу потоків у мережі шляхом адаптації класичних та евристичних алгоритмів до умов нечіткої невизначеності та їх поєднання з елементами інтелектуальних технологій обробки даних, які, на відміну від існуючих, забезпечують можливість врахування нечітких параметрів і даних, отриманих з інформаційних джерел;
3. схему застосування методу динамічного програмування для задачі комівояжера на

основі потокового алгоритму Орліна в умовах нечітко заданих параметрів, яка, на відміну від існуючих, враховує невизначеність вхідних даних при побудові оптимального маршруту.

Отримало подальший розвиток:

1. застосування методу імітації відпалу для розв'язання нечітких оптимізаційних задач маршрутизації, яке, на відміну від існуючих, передбачає врахування нечітких оцінок параметрів та процедур їх дефазифікації;
2. методи машинного навчання для розпізнавання сутностей контенту при аналізі інформації з новинних ресурсів з метою формування вхідних параметрів оптимізаційних моделей, які, на відміну від існуючих, орієнтовані на інтеграцію результатів обробки текстових даних у задачі маршрутизації та розподілу потоків.

Практичне значення отриманих результатів

Практична значимість полягає у створенні моделей та методів, що дозволили підвищити ефективність розв'язання задач маршрутизації та розподілу потоків даних у транспортних і комунікаційних мережах із урахуванням впливу суб'єктивних та об'єктивних факторів невизначеності. Зокрема:

1. Встановлено можливість ефективного застосування нечітких трикутних чисел для формалізації невизначеності тривалості переміщень у задачах транспортної маршрутизації. Удосконалено підходи до розв'язання нечіткої задачі комівояжера шляхом застосування багатокритеріального підходу, поєднання процедури дефазифікації та адаптації класичних і евристичних алгоритмів оптимізації. Проведене дослідження підтвердило доцільність використання методів імітації відпалу, генетичних алгоритмів та алгоритмічних схем на основі потокових підходів для побудови ефективних маршрутів в умовах нечітко визначених часових параметрів.
2. Розроблено підхід до формування нечітких параметрів задач маршрутизації на основі аналізу зовнішніх інформаційних факторів із використанням технологій машинного навчання та методів розпізнавання іменованих сутностей у текстових даних новинних ресурсів. Запропонована схема дозволила інтегрувати результати аналізу текстової інформації у процес побудови нечітких оцінок тривалості переміщень та забезпечила можливість врахування додаткових факторів впливу на

транспортні процеси при формуванні оптимізаційних моделей.

3. Удосконалено модель оптимального розподілу потоків даних у комунікаційних мережах шляхом урахування нечітко визначених потреб користувачів та обмежень пропускну здатності каналів передачі даних. Запропоновано підхід до розв'язання задачі розподілу потоків у трирівневій мережевій архітектурі із застосуванням потокового алгоритму Орліна.
4. Здійснено програмну реалізацію запропонованих моделей, методів та алгоритмів розв'язання задач транспортної маршрутизації й оптимального розподілу потоків даних та виконано їх експериментальну перевірку на прикладних задачах. Отримані результати підтвердили працездатність і практичну ефективність запропонованих підходів при формуванні туристичних маршрутів, оптимізації логістичних схем доставки та розподілі пропускну здатності каналів передачі даних у комунікаційних мережах. Практичне використання розробленого програмного забезпечення дозволило забезпечити скорочення часових витрат на формування маршрутів у межах 20–25 % та підвищити ефективність перерозподілу обсягів каналів передачі даних у трирівневій інформаційній мережі з урахуванням нечітко визначених потреб користувачів.

Повнота опублікування основних положень дисертаційної роботи

За результатами дисертаційного дослідження підготовлено 19 наукових праць, в тому числі 1 стаття у міжнародних виданнях, 7 статей у фахових наукових виданнях, 2 статті у виданні, яке входить до наукометричної бази даних.

Наукові положення та новизна дисертації були презентовані та обговорені на 12 наукових заходах всеукраїнського й міжнародного рівня, що засвідчено відповідними публікаціями тез.

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи

У цілому, дисертаційна робота Івохіної Катерини Євгеніївни заслуговує позитивної оцінки, проте необхідно зазначити деякі зауваження:

1. Перший розділ містить текстовий матеріал, який можна назвати «аналітично-описовим», який можна було скоротити.
2. Дисертаційна робота містить ряд синтаксичних помилок.

3. Недостатньо деталізовано зміст вдосконалення окремих методів та алгоритмів, окрім таблиць з результатами не зайвим було б навести графічні показники ефективності запропонованих методів, що дозволила б значно полегшити сприйняття наведеної формалізації.
4. Недостатньо повно пояснена схема застосування метода Орліна при розв'язанні задачі комівояжера.
5. Дисертаційна робота містить досить цікаві оригінальні ідеї для розв'язання практичної реалізації, які не оформлені у тексті у вигляді відповідних процедур та алгоритмів або інструкцій користувачу при розв'язанні прикладних задач.

Наведені зауваження не зменшують значущості отриманих результатів дослідження і мають рекомендаційний характер.

Загальні висновки

Дисертаційна робота засвідчує належний рівень наукової підготовки здобувача і є завершеним дослідженням, виконаним відповідно до сучасних вимог, що висуваються до кваліфікаційних праць. Тематика дослідження є актуальною, а наукові завдання - чітко сформульованими та обґрунтованими, що дозволило підтвердити доцільність використання інтелектуальних методів, нечітких моделей та алгоритмів комбінаторної оптимізації для розв'язання задач маршрутизації транспортних і мережевих потоків в умовах невизначеності. Розроблені підходи забезпечують можливість одночасного врахування нечітких параметрів, зовнішніх інформаційних факторів та особливостей функціонування транспортних і комунікаційних систем.

У роботі успішно розв'язано складне науково-прикладне завдання, пов'язане з побудовою та впровадженням моделей і методів інформаційної підтримки процесів управління сучасними логістичними та інформаційними потоками з ресурсними обмеженнями, нечітко визначеними потребами та нестабільними умовами функціонування в умовах невизначеності. Зміст дослідження повністю відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» та сприяє розвитку цифрових технологій у сфері логістичних систем.

Отримані результати мають як теоретичне, так і практичне значення, а сама робота демонструє володіння сучасним науковим інструментарієм. Це дає підстави вважати, що дисертація та наукові публікації на її основі відповідають вимогам.

встановленим пунктами 6-9 Постанови Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії». Івохіна Катерина Євгеніївна виявила здатність до самостійного наукового дослідження та опанувала необхідні методи наукового аналізу, що дає підстави рекомендувати її до присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри кібернетики і
прикладної математики факультету математики
та цифрових технологій
Ужгородського національного університету



Микола МАЛІЯР

