

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.255.01
03186, Київ 186, Чоколівський бульвар, 13
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України

**Відгук
офіційного опонента**

завідувача кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки
Вінницького національного технічного університету МОН України,
доктора технічних наук, професора Мокіна Віталія Борисовича
на дисертаційну роботу Васяніна Володимира Олександровича за темою "Методологія
проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками",
поданою на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Відгук підготовлено за матеріалами дисертації (російською мовою), яка має вступ, 6 розділів та 8 додатків, серед яких – документи про впровадження результатів дисертації на 105 сторінках. Загальний обсяг дисертації 497 сторінок, з яких основний зміст викладено на 326 сторінках друкованого тексту. Робота містить 66 рисунків, 31 таблицю і список використаних джерел з 493 найменувань на 46 сторінках.

1. Актуальність обраної теми

Останнім часом активно розвиваються приватні вітчизняні служби кур'єрської доставки та відкриваються вітчизняні відділення відомих міжнародних служб, наприклад: «Нова Пошта», «ТНТ-Express», «Ваша пошта», «АвтоЛюкс», «ІнТайм», «Гюнсел», «Делівері», «Нічний Експрес», «В ТЕМпЕ», «ЕхМото», «ТММ Express», «АРАМЕКС» («Inter Express»), «WELTEX», «UPS», «SAT», «DHL Україна», «DPD Україна», «КСД» (Кур'єрська Служба Доставки), «EMS» тощо. З одного боку, цей процес ускладнюється станом та особливостями транспортної інфраструктури, у т.ч. станом автодоріг в Україні та тарифною політикою щодо перевезень авіа-, залізничним і водним транспортом, метеоумовами та іншими факторами і форс-мажорними обставинами (ремонт доріг, ДТП, вихід з ладу транспортних засобів тощо), а з іншого – значною конкуренцією з боку підприємств інших кур'єрських служб, що накладає вимоги щодо підвищення оперативності, надійності та якнайменшої вартості цих перевезень й мінімізації впливу форс-мажорних обставин. До багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками відносяться не тільки мережі кур'єрських та транспортних компаній, а й телекомунікаційні інформаційні системи, які передають пакети інформації різного змісту та розміру, в яких підвищення ефективності на долі відсотка одразу забезпечує мільйонні прибутки.

У роботах відомих авторів проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками досі здійснювалось для певною мірою ідеалізованих процесів (тільки детермінованих чи тільки стаціонарних стохастичних; з використанням теорії масового обслуговування з певними припущеннями про характер процесів, наприклад тільки для марковських процесів, та ін.). В реальній же практиці ідеалізованих процесів не існує. Отже, розробка методології проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками і дискретними параметрами елементів мережі, яка більш точно б враховувала природу реальних процесів у цих мережах, є актуальним науково-прикладним завданням.

Мета дисертаційної роботи – підвищення ефективності функціонування багатопродуктових транспортних мереж за рахунок зниження дефіцитних матеріальних, сировинних, енергетичних, фінансових і трудових витрат на основі запропонованої

методології моделювання та проектування процесів обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків і комплексу заходів інформаційно-аналітичного забезпечення та автоматизації процедур прийняття рішень в управлінні транспортними потоками.

Дисертація виконувалася згідно до трьох відомчих науково-дослідних робіт Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (2013-2016 рр.), виконавцем яких був і здобувач. Проведене дисертаційне дослідження відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки в Україні на період до 2020 року “інформаційні та комунікаційні технології”.

2. Аналіз основного змісту дисертації

Зміст роботи відповідає завданням дослідження та сформульованим задачам. Суть проведених досліджень відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – «математичне моделювання та обчислювальні методи», які направлені на підвищення ефективності функціонування багатопродуктових транспортних мереж за рахунок зниження приведених витрат при обмеженнях на дефіцитні ресурси на основі запропонованої методології моделювання та проектування процесів обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків і комплексу заходів інформаційно-аналітичного забезпечення та автоматизації процедур прийняття рішень в управлінні транспортними потоками.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків щодо основних результатів роботи, списку використаних джерел та додатків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, мету, завдання досліджень, зазначено її зв'язок з науковими програмами, планами та темами, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано отримані нові наукові результати, що виносяться на захист, та їх практичне значення, надано інформацію про їх впровадження, апробацію та публікування.

У *першому розділі* наводяться методологічні підходи до побудови багатопродуктових ієрархічних комунікаційних мереж та визначено основні завдання обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків кореспонденцій. Охарактеризовано ієрархічну зонально-вузлову структуру багатопродуктової мережі, запропоновано принципи і технологію організації сортування та транспортування дрібнопартійних кореспонденцій, а також – математичну модель мережі. Виділено задачі поточного планування на магістральному рівні, які складають основу дисертаційних досліджень. Запропоновано методологію проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дрібнопартійними дискретними потоками. Запропоновано концепцію і методологію побудови багаторівневої ІАС ППР, яка функціонує в масштабі реального часу. Розроблено загальну схему ІАС ППР, призначену для управління процесами обробки і транспортування потоків на всіх рівнях мережі, у вигляді інформаційно-картографічної системи на базі інфраструктури просторових даних (ІПД), геоінформаційної системи (ГІС) та розподіленої обчислювальної мережі.

У *другому розділі* розглядаються основні принципи і схеми, закладені в основу побудови маршрутів транспортних засобів у внутрішній зоні магістрального вузла. Наводиться огляд задач маршрутизації за основними ознаками та відомих підходів щодо їх розв'язання. Охарактеризовані методи, алгоритми та пакети програм, що застосовуються в даний час для розв'язання задач подібного класу. Показано, що в більшості відомих робіт, присвячених розв'язанню задач маршрутизації, розглядаються ідеалізовані математичні моделі, в яких часто не враховуються обмеження, які мають місце щодо реальних процесів обробки та транспортування вантажів (географічні особливості і характеристики ділянок доріг транспортної мережі, вантажопідйомність, поточне завантаження і швидкість руху транспортних засобів тощо). Основні наукові результати розділу полягають в удосконаленні математичних постановок задач побудови постачальних, складальних, комбінованих маршрутів і маршрутів з розщепленою доставкою, які більш адекватні реальному транспортним процесам і можуть бути використані при проектуванні неоднорідного робочого парку транспортних засобів для обслуговування вузлів четвертого типу у внутрішній зоні

магістрального вузла. Обґрунтовано застосування ряду алгоритмів для розв'язання задач маршрутизації з певною кількістю внутрішніх вузлів.

У третьому розділі розглядаються методи і алгоритми розв'язання задачі упаковки дрібнопартійних кореспонденцій у транспортні блоки і вибору ієрархічної структури магістральної мережі. Запропоновано математичну модель, в якій пов'язується опис процесів сортування дрібнопартійних кореспонденцій і упаковки їх в транспортні блоки у вузлах мережі з розподілом сформованих транспортних блоків із вузлів-джерел у вузли-стоки. Для розв'язання практичних задач упаковки з функціями витрат на обробку і транспортування дрібнопартійних кореспонденцій та обмеженнями на кількість об'єднань кореспонденцій і час їх доставки кінцевому одержувачу, автором запропоновано нові методи та алгоритми, засновані на дискретному аналогу методу локального спуску, доведено збіжність алгоритмів до локального оптимуму, отримано оцінки їх часової складності. Доведено ряд теорем. Розглянута досліджена задача вибору ієрархічної структури магістральної мережі, в якій потрібно визначити кількісний і якісний склад вузлів мережі і схему сортування дрібнопартійних кореспонденцій в кожному вузлі, при яких максимально знижуються приведені витрати на функціонування мережі. Для розв'язання задачі запропоновано нові методи та алгоритми. Проведений аналіз результатів вирішення задачі вибору ієрархічної структури мережі на прикладі показав високу обчислювальну ефективність запропонованих алгоритмів.

У четвертому розділі розглядаються методи та алгоритми розв'язання нелінійної багатоекстремальної дискретної задачі розподілу і маршрутизації транспортних блоків з упакованими в них дрібнопартійними потоками вантажів або повідомлень з різними адресами призначення. На відміну від відомих постановок таких задач, де в якості вартісних коефіцієнтів цільової функції використовуються витрати на транспортування одиниці потоку по дугах мережі, у запропонованій постановці мінімізуються сумарні приведені витрати на проєктованих лініях зв'язку. У запропонованій математичній моделі враховуються обмеження на пропускні спроможності вузлів і транспортних ліній зв'язку, обсяги обробки транспортних блоків у транзитних вузлах ліній зв'язку, середній час затримки потоків у мережі та час доставки дрібнопартійних кореспонденцій одержувачу. Запропоновано метод перетворення математичні моделі нелінійної задачі розподілу і маршрутизації потоків у мережеві постановці у постановку у вигляді сукупності лінійних багатовимірних задач про ранець зі зв'язуючими обмеженнями. Для вирішення багатопродуктових цілочислових задач запропоновано нові методи та алгоритми на основі евристичних прийомів розв'язання системи багатовимірних задач про ранець та ефективних способів формалізації структур даних задачі. Для розроблених алгоритмів отримано асимптотичні оцінки часової складності. Для випадку, коли транспортні послуги надаються сторонніми транспортними підприємствами, автором запропонована задача оптимізації розподілу потоків із заданими тарифами на дугах і у вузлах і доведено, що вона може бути за поліноміальний час перетворена до задачі цілочислового лінійного програмування з блочною структурою і зв'язуючими обмеженнями. Удосконалено лексикографічний двокритеріальний алгоритм побудови найкоротших шляхів та алгоритм Краскала для знаходження мінімального кістякового дерева (лісу) графа або мережі. Доведено, що вони мають меншу часову складність у порівнянні з відомими аналогами, і працюють швидше відомих у від 4 до 15 разів і більше.

У п'ятому розділі запропонована методика отримання вихідних даних для побудови динамічних моделей поетапного розвитку вузлів і транспортних маршрутів магістральної мережі, в основу якої закладено розв'язання задач оптимізації її структури та розподілу потоків. Показано, яким чином можна використовувати задачі поточного планування для вирішення задач перспективного розвитку мережі та оперативного управління у випадках, коли виникають коливання потоків, утворюються черги та відмовляють окремі вузли і лінії зв'язку. Наведено загальну схему управління транспортною системою при збуреннях потоків, вихідних даних і параметрів мережі, яка оснований на визначенні критичного стану мережі за шкалою допустимих значень контрольованих параметрів. В якості головного критерію для

вибору границь у контрольованій шкалі параметрів, автором запропоновано використовувати допустиме відхилення значення цільової функції від її квазіоптимального значення при збуреннях вихідних даних та змінах параметрів мережі й умов задач.

Шостий розділ присвячений практичній реалізації і дослідженню результатів розв'язання задач поточного планування у магістральній мережі. Запропоновано методіку розв'язання таких задач, яка дозволяє в інтерактивному режимі здійснювати вибір ієрархічної структури мережі і визначати основні техніко-економічні показники її функціонування при зміні вихідних даних і параметрів. Наведено опис комп'ютерних програм для моделювання ієрархічної структури, схеми сортування, розподілу і маршрутизації потоків. Розглянуто числові приклади розв'язання окремих задач. Доведена висока обчислювальна ефективність запропонованих алгоритмів і програм, які можуть бути рекомендовані для практичного вирішення завдань оптимізації процесів обробки і транспортування потоків у транспортних мережах і мережах передачі даних великої розмірності. На комп'ютерні програми отримано п'ять свідоцтв про реєстрацію на них авторських прав в установленому в Україні порядку.

3. Цінність дисертаційної роботи для науки

Теоретичне значення дисертаційної роботи полягає в розробці теоретико-методологічних основ математичного моделювання та проектування розподіленої ієрархічної багатопродуктової комунікаційної мережі з дрібнопартійними дискретними потоками, у т.ч. критерії обробки та розподілу дрібнопартійних потоків, методологію синтезу та аналізу багаторівневої структури мережі і методологію побудови багаторівневої ІАС ППР, що базується на вирішенні завдань поточного планування, оперативного управління та перспективного розвитку і функціонує в масштабі реального часу. В сукупності, отримані результати є новим системно викладеним, науково-обґрунтованим вирішенням складної науково-прикладної проблеми, що має важливе господарське значення для підвищення ефективності багатопродуктових транспортних мереж, за рахунок зниження приведених витрат на їх функціонування при заданих обмеженнях на дефіцитні ресурси мережі.

4. Нові науково-обґрунтовані результати:

Вперше здобувачем:

1. Запропоновано теоретико-методологічні основи побудови розподіленої ієрархічної багатопродуктової комунікаційної мережі з дрібнопартійними дискретними потоками, що включають: понятійний базис; принципи, концепції і критерії обробки і розподілу дрібнопартійних потоків, методологію синтезу та аналізу багаторівневої структури мережі. На відміну від існуючих підходів, запропонована методологія логічно пов'язує процеси обробки дрібнопартійних потоків у вузлах мережі з їх подальшим розподілом по мережі і доставкою одержувачам, що дозволяє підвищити економічну ефективність транспортної системи в цілому, за рахунок зниження приведених витрат як у вузлах, так і на транспортних магістралях мережі.

2. Запропоновано евристичний метод розв'язання задачі вибору ієрархічної структури багатопродуктової мережі у відповідності з принципами, концепціями і критеріями, закладеними в основу обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків, який дозволяє проектувальнику мережі здійснювати вибір структури мережі при зміні початкових даних, параметрів та обмежень.

Удосконалено здобувачем:

3. Типові математичні моделі задач побудови постачальних, складальних і комбінованих маршрутів транспортних засобів, які відрізняються від відомих більшою адекватністю процесам перевезення дрібнопартійних вантажів у внутрішній зоні магістрального вузла.

4. Концепція і методологія побудови багаторівневої інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень для управління нестационарними процесами обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків у багатопродуктовій комунікаційній мережі за рахунок комплексного розв'язання задач поточного планування, оперативного управління і перспективного розвитку, яка функціонуватиме в масштабі реального часу, що відкриває нові

напрямки для створення інтелектуальних методів і методик в управлінні складними процесами і об'єктами у транспортних системах.

5. Лексикографічний двокритеріальний алгоритм побудови найкоротших шляхів для окремих підзадач, що виникають при розв'язанні основних задач поточного планування, що забезпечує меншу трудомісткість і більшу у кілька разів швидкість, ніж відомий алгоритм Флойда-Уоршела.

6. Алгоритм Краскала для знаходження мінімального кістякового дерева (лісу) графа або мережі для окремих підзадач, що виникають при розв'язанні основних задач поточного планування, та доведено його більшу ефективність у порівнянні з алгоритмом Прима, за певних умов.

Дістали подальший розвиток здобувачем:

7. Раніше запропонована автором математична модель задачі упаковки дрібнопартійних кореспонденцій у транспортні блоки, в якій враховуються нові обмеження на кількість об'єднань кореспонденцій, час їх доставки кінцевому одержувачу, пропускні спроможності дуг і середній час затримки потоків у мережі. Вперше доведено NP-складність задачі, розроблені евристичні методи та алгоритми розв'язання задачі і доведена їх збіжність до локального оптимуму. Отримано оцінки часової складності алгоритмів. Вперше доведено, що розв'язання задачі упаковки з додатковими обмеженнями на пропускні спроможності дуг і середній час затримки потоків у мережі можна звести до послідовного розв'язання задачі упаковки без зазначених обмежень та задачі вибору пропускних можливостей дуг.

8. Раніше запропонована автором математична модель задачі розподілу і маршрутизації потоків транспортних блоків у багатопродуктовій магістральній мережі. Розроблено сукупність нових методів і алгоритмів для розв'язання задачі при обмеженнях на пропускну спроможність вузлів і транспортних ліній зв'язку, обсяги обробки транспортних блоків у транзитних вузлах ліній зв'язку, середній час затримки потоків у мережі та час доставки дрібнопартійних кореспонденцій одержувачу. Отримано асимптотичні оцінки часової складності алгоритмів.

5. Практична користь роботи

Найбільшу практичну цінність мають такі одержані у дисертації результати:

- розроблено комп'ютерні технології, які працюють у складі інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень (ІАС ППР) і дозволяють у реальному часі ефективно управляти процесами обробки і транспортування дискретних потоків кореспонденцій у багатопродуктовій комунікаційній мережі;
- впровадження запропонованої методології та розробка на її основі промислових зразків ІАС ППР сприятиме подальшому розвитку транспортної та інших галузей України, підвищенню конкурентоспроможності економіки країни на зовнішньому і внутрішньому ринках, поліпшенню якості транспортних послуг для підприємств та населення;
- окремі наукові результати дисертації можуть з успіхом застосовуватися і до інших мережевих структур, наприклад, у магістральних мережах передачі даних, мережах стільникового та поштового зв'язку;
- розроблені комп'ютерні технології та інструментальні програмні засоби можуть використовуватися для моделювання та оптимізації функціонування багатьох традиційних логістичних виробничих і транспортно-складських систем, що включають вузли постачальників сировини, виробництва товарів, склади і кінцевих споживачів;
- наукові результати роботи можуть бути корисними у навчальному процесі при підготовці фахівців у галузі розробки і проектування складних розподілених багатопродуктових мереж з дискретними потоками.

6. Оцінка достовірності та обґрунтованості результатів

Обґрунтованість висновків і одержаних результатів дисертаційної роботи основана на використанні сучасних методів системного аналізу до розгляду досліджуваної проблеми обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків у багатопродуктових мережах,

доведенні дев'ятьох теорем, достатньо повного обсягу вихідних даних, параметрів і обмежень, характерних для функціонування розподілених транспортних мереж, поєднанні формальних і неформальних методів дослідження. Отримані автором наукові результати відповідають поставленим задачам досліджень та підтверджуються їх достатньою апробацією на науково-технічних конференціях та семінарах.

Достовірність результатів дисертації підтверджується математичної коректністю поставлених задач і збігом теоретичних припущень з результатами комп'ютерного моделювання; використанням сучасних методів математичного моделювання, дослідження операцій та комбінаторного аналізу; несуперечністю відомих і запропонованих у роботі теоретичних і практичних положень та закономірностей. Достовірність отриманих результатів також підтверджується їх впровадженням, у т.ч. у ТОВ «АС Транс Брок» в період 2015-2016 рр. для розв'язання задач оптимізації ієрархічної структури мережі, схеми сортування та маршрутизації дискретних потоків; у навчальний процес факультету інженерії і транспорту Академії транспорту, інформатики та комунікацій Республіки Молдова (акт від 17.05.2017 р.); у навчальний процес факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету (акт від 21.03.2017 р.).

7. Повнота викладення основних матеріалів дисертації в опублікованих працях

Наукові публікації достатньо повно висвітлюють основні наукові положення дисертації. По темі роботи опубліковано 51 наукову працю, з яких 2 статті у зарубіжному науковому періодичному журналі «Journal of Automation and Information Sciences», 21 наукова стаття у виданнях з переліку наукових фахових видань МОН України, 23 – у збірниках матеріалів науково-технічних конференцій, з них 9 – у зарубіжних виданнях. Особливо варто відзначити опубліковані протягом 2014-2016 рр. з теми роботи 6 статей у наукових періодичних журналах США та України, що входять до міжнародної наукометричної бази даних Scopus і той факт, що на них вже є 6 цитувань у виданнях цієї ж мережі Scopus. Отримано 5 свідоцтв про реєстрацію авторського права на комп'ютерні програми.

8. Автореферат дисертації

Автореферат дисертації по своєму змісту відповідає матеріалам дисертаційної роботи.

9. Зауваження і недоліки щодо змісту дисертації та автореферату

1. Замість того, щоб у першому розділі, як це загально прийнято провести аналіз стану проблеми та обґрунтувати постановку задач дослідження, у першому ж розділі одразу пропонуються нові рішення, а огляд та аналіз аналогів розпорошені по усіх розділах роботи.

2. У розд. 1 зазначено, що в Україні недостатньо розвинена інфраструктура просторових даних, що не зовсім коректно саме щодо транспортної інфраструктури, для якої існує багато досить точних та актуальних шарів, навіть про актуальний стан покриття автодоріг і заторів.

3. В огляді ГІС-додатків для розв'язання логістичних задач зазначений тільки відомий пакет програм ArcLogistics Route. Однак, не згадуються інші пакети програм, наприклад розроблений в Інституті кібернетики НАН України ім. В.М. Глушкова програмний комплекс «Транспорт», TransCAD, Truckstops Routing та ін.

4. На стор. 41 згадується, як приклад, застарілий веб-браузер Internet Explorer, розробка і підтримка якого припинена у 2015 р. Замість нього варто було б вказати більш сучасний MS Edge або ще більш поширений Google Chrome.

5. В дисертації запропоновано реалізовувати інформаційно-аналітичну систему підтримки прийняття рішень для управління обробкою і розподілом транспортних потоків на основі клієнт-серверної технології, однак, у наш час, для реалізації подібних систем, які враховують величезну кількість різноманітних даних про розподілені у просторі об'єкти, більш ефективним рішенням є використання хмарних сервісів з використанням розподілених баз даних, обчислювальних ресурсів та технологій паралельних обчислень.

6. У роботі для більшості розроблених алгоритмів наводяться оцінки їх часової складності, але варто було б розглянути можливість удосконалення цих алгоритмів за рахунок використання технологій паралельних обчислень.

10. Відповідність дисертації встановленим вимогам та загальна оцінка дисертації

Наведені недоліки та зауваження суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, не ставлять під сумнів основні теоретичні положення і отримані науково-практичні результати.

Дисертація Васяніна В. О. є завершеним науковим дослідженням, в якій вирішена важлива науково-прикладна проблема проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками і дискретними параметрами елементів мережі. Сукупність наукових положень, які сформульовані та обґрунтовані в дисертаційній роботі, мають практичну значущість, що підтверджується відповідними документами про використання та впровадження результатів.

За актуальністю теми, мірою обґрунтованості наукових положень, достовірністю, новизною, теоретичною та практичною цінністю одержаних результатів дисертаційна робота Васяніна Володимира Олександровича на тему: "Методологія проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками" повністю відповідає вимогам до дисертацій та авторефератів дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, зокрема, пп. 11, 12, 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами), та паспорту спеціальності 01.05.02 – «математичне моделювання та обчислювальні методи», а Васянін Володимир Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 01.05.02 – «математичне моделювання та обчислювальні методи».

Офіційний опонент

завідувач кафедри системного аналізу,
комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки
Вінницького національного
технічного університету МОН України,
доктор технічних наук, професор



[Handwritten signature] В.Б. Мокін

Підпис *Мокіна В.Б.*
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією *[Handwritten signature]*