

## ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Гуляницького Л.Ф.  
на дисертаційну роботу Васяніна В.О.

«Методологія проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками», представлену на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – «математичне моделювання та обчислювальні методи»

**Актуальність теми дисертації.** Дисертація Васяніна В.О. присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми створення методології математичного моделювання та проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними дрібнопартійними потоками кореспонденцій. Робота пов'язана з науковими дослідженнями по створенню інструментарію та інформаційної платформи для автоматизації процесів прийняття рішень в управлінні розвитком і функціонуванням багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками, які проводились Інститутом телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України в рамках наукових робіт за відомчою тематикою «Розробка індикативних методів моделювання та моніторингу процесів технологічного розвитку в Україні» (2013-2015 рр., № ДР 0112U007445), «Розробка нових програмних засобів і технологій пошуку, впорядкування, обробки та представлення інформації у інформаційному просторі» (2014-2016 рр., № ДР 0114U000798), «Розробка програмно-технічних комплексів взаємодії новітніх телекомунікаційних технологій з мережами загального користування» (2014-2016 рр., № ДР 0114U004983), одним із виконавців яких був здобувач.

Сучасний стан економіки України характеризується падінням обсягів промислового виробництва, високим рівнем монополізму й державної власності в найважливіших галузях, фінансовою кризою й ростом неплатежів, зниженням рівня життя населення й згортанням інвестицій. У цих умовах необхідний пошук нових, ефективних шляхів розвитку економіки України.



розв'язування оптимізаційних задач розподілу та маршрутизації потоків зазвичай використовуються математичні лінійні моделі і перевірені на практиці, що добре зарекомендували себе – різновиди симплекс-методу, методи еліпсоїдів, внутрішніх точок та декомпозиції за змінними і обмеженнями задачі. Існують і універсальні програмні засоби розв'язування задач математичного програмування, такі як MATLAB, CPLEX, SOPLEX, MINOS і т. п. Однак у них не враховуються специфічні особливості окремих задач, що приводить до проблем їх безпосереднього застосування у більшості випадків для розв'язування задач великої розмірності. Також у більшості із відомих математичних моделей не враховуються фактори, пов'язані з процесами сортування дрібнопартійних потоків у вузлах мережі, не розглядаються в комплексі питання перспективного розвитку, поточного планування й оперативного управління в контексті створення інтегрованої інформаційно-аналітичної системи керування транспортуванням дрібнопартійних вантажів. У практичних задачах розподілу багатопродуктових потоків повинні враховуватися процеси сортування потоків, обмеження на час доставки вантажів, вантажопідйомність транспортних засобів, час навантаження-вивантаження вантажів у транзитних вузлах, нелінійність приведених витрат на обробку й транспортування потоків вантажів, коливання потоків і навантажень на окремі вузли та лінії зв'язку транспортної мережі та багато інших факторів, що складно формалізуються. Усе це приводить до необхідності розробки нових математичних моделей, методів, алгоритмів і інформаційної платформи – порталу для керування розподілом потоків на всіх рівнях ієрархії багатопродуктової мережі з поділом перспективних, поточних і оперативних рішень.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність.** Обґрунтованість наукових положень досягнута шляхом системного підходу до розгляду досліджуваної проблеми обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків у багатопродуктових мережах, досить повного урахування вихідних даних, параметрів і обмежень, характерних для функціонування реальних розподілених мереж, поєднання формальних і неформальних методів дослідження. Отримані автором наукові результати і висновки відповідають поставленим задачам досліджень та підтверджуються достатньою апробацією на міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях та семінарах.

Достовірність наукових положень забезпечена: використанням апробованих теоретичних положень і методів системного аналізу і проектування складних систем, методів дослідження операцій; достатністю обсягу проаналізованих літературних джерел; несуперечливістю відомих і запропонованих у роботі теоретичних, практичних і нормативних положень, принципів, концепцій та закономірностей; математичною коректністю поставлених задач і співпаданням теоретичних припущень із результатами експериментальних досліджень; численними результатами цифрового моделювання розроблених в рамках дисертаційної роботи нових методів і алгоритмів для вирішення поставлених завдань на мережах великої розмірності (до 1000 і більше вузлів). Як свідчать відповідні документи в дисертаційній роботі, достовірність отриманих результатів



також підтверджується їх використанням та експериментальним впровадженням у діяльність декількох комерційних транспортних компаній, у навчальному процесі факультету інженерії та транспорту Академії транспорту, інформатики і комунікацій Республіки Молдова, факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

**Основні наукові результати дисертаційної роботи.** Одержані наукові результати дисертаційної роботи Васяніна В.О. в сукупності дозволили вирішити важливу науково-прикладну проблему створення методології математичного моделювання та проектування багатопродуктових комунікаційних мереж із дискретними потоками кореспонденцій, що дає можливість підвищення ефективності функціонування ієрархічних транспортних мереж та магістральних мереж передачі даних за рахунок зниження приведених витрат на їх функціонування при заданих обмеженнях на дефіцитні ресурси.

*Автором вперше запропоновано:* 1) 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 і на відміну від існуючих підходів, дозволяють логічно пов'язати процеси обробки дрібнопартійних потоків у вузлах з їх подальшим розподілом по мережі; 2) концепцію і методологію побудови багаторівневої ІАС ППР, яка функціонує в масштабі реального часу, заснована на комплексному розв'язанні задач поточного планування, оперативного управління і перспективного розвитку, що відкриває нові напрямки для створення інтелектуальних методів, методик і технологій в управлінні складними процесами і об'єктами у транспортних системах; 3) евристичний метод розв'язування задачі вибору ієрархічної структури багатопродуктової мережі у відповідності з принципами, концепціями і критеріями, закладеними в основу обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків, який відрізняється від існуючих і дозволяє проектувальнику мережі проводити числове моделювання, аналіз і вибір структури мережі при зміні різних початкових даних, параметрів і обмежень в інтерактивному режимі; 4) дослідження групи задач поточного планування, теоретичне і експериментальне обґрунтування їх використання як методологічної основи – ядра для розв'язування задач перспективного розвитку багатопродуктової мережі і оперативного управління процесами обробки і транспортування потоків.

*Вдосконалено і отримало подальший розвиток:* 1) типові математичні моделі задач побудови постачальних, складальних, комбінованих і роздільних маршрутів транспортних засобів, які відрізняються від відомих моделей більшою адекватністю реальним процесам перевезення дрібнопартійних вантажів у внутрішній зоні магістрального вузла і враховують реальні транспортні витрати та географічні особливості ділянок транспортних ліній зв'язку; 2) математична модель задачі упаковки дрібнопартійних потоків 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'язування задачі і доведена їх збіжність до локального оптимуму. Отримано оцінки часової



складності алгоритмів. Доведено, що розв'язування задачі упаковки з додатковими обмеженнями на пропускні спроможності дуг і середній час затримки потоків у мережі можна звести до послідовного розв'язування задачі упаковки без зазначених обмежень та задачі вибору пропускних спроможностей дуг; 3) математична модель задачі розподілу і маршрутизації потоків транспортних блоків у багатопродуктовій магістральній мережі. Розроблено сукупність нових методів і алгоритмів для розв'язування задачі при обмеженнях 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. Отримано асимптотичні оцінки часової складності алгоритмів. Запропоновані методи та алгоритми, на відміну від відомих підходів до розв'язування задач розподілу цілочислових потоків у багатопродуктовій мережі, спираються на евристичні прийоми розв'язування системи багатовимірних задач про ранець зі зв'язуючими обмеженнями і на ефективні способи подання структур даних, що генеруються в процесі вирішення задачі, та дозволяють проектувати нові маршрути транспортування для розгалужених і нерозгалужених потоків.

Для окремих підзадач, що виникають при розв'язанні основних задач поточного планування, розроблено новий лексикографічний двокритеріальний алгоритм побудови найкоротших шляхів, а також запропонована ефективна реалізація алгоритму Краскала для знаходження мінімального кістякового лісу графа або мережі. У порівнянні з алгоритмом Флойда-Уоршелла, модифікованим для знаходження двокритеріальних найкоротших шляхів між усіма  $n$  вузлами мережі з часовою складністю  $O(n^3)$ , запропонований алгоритм завжди має меншу трудомісткість і зі збільшенням щільності мережі швидше першого в кілька разів. Часова складність вдосконаленої версії алгоритму Краскала практично доведена до порядку  $O(e)$ , де  $e$  — кількість ребер графа. Отримано оцінку порівнянності швидкодії запропонованого алгоритму з алгоритмом Прима, з якої випливає, що для зв'язних графів запропонований алгоритм краще алгоритму Прима при  $e \leq 0,27n^2$ , де  $n$  — кількість вершин графа.

**Теоретичне значення та практичне застосування наукових результатів роботи.** Теоретичне значення дисертаційної роботи полягає в розробці теоретико-методологічних основ математичного моделювання та проектування 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 і методологію побудови багаторівневої ІАС ППР, що базується на розв'язуванні задач поточного планування, оперативного управління та перспективного розвитку і функціонує в масштабі реального часу.

В сукупності, запропонована методологія, математичний і програмний інструментарій, а також комплекс заходів інформаційно-аналітичного забезпечення та автоматизації процедур прийняття рішень в управлінні транспортними потоками являють нове системно викладене, науково обґрунтоване рішення крупної науково-прикладної проблеми, що має важливе



народногосподарське значення для підвищення ефективності багатопродуктових транспортних мереж за рахунок зниження приведених витрат на їх функціонування при заданих обмеженнях на дефіцитні ресурси мережі.

*Практична значущість* отриманих в дисертаційній роботі результатів полягає в доведенні їх до рівня практичної реалізації — створення макетного зразка комплексу програм ІАС ППР для управління процесами обробки і транспортування дрібнопартійних вантажів у багатопродуктовій транспортній мережі в реальному часі. Впровадження запропонованої методології та розробка на її основі промислових зразків ІАС ППР сприятиме подальшому розвитку транспортної галузі України, створенню сприятливих умов для підвищення конкурентоспроможності економіки країни на зовнішньому і внутрішньому ринках, поліпшенню якості обслуговування підприємств і населення транспортними послугами. Окремі результати дисертації можуть з успіхом застосовуватися і до інших мережевих структур — мереж передачі даних, мереж стільникового та поштового зв'язку та ін.

**Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях.** Основні наукові результати дисертації повною мірою викладено у наукових публікаціях автора з урахуванням встановлених вимог, а саме, в 51 роботі, з них: 21 стаття з переліку наукових фахових видань України (5 у виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз); 2 статті у зарубіжних наукових періодичних виданнях; 23 у збірниках матеріалів науково-технічних конференцій (9 у зарубіжних виданнях); отримано 5 свідоцтв про реєстрацію авторського права на комп'ютерні програми. Результати дисертаційної роботи пройшли апробацію на багатьох міжнародних конференціях та доповідалися на наукових семінарах в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України та Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. Наведений перелік публікацій та їхній зміст відповідає темі дисертаційної роботи та в достатньому обсязі відображає її основні положення, наукові результати і висновки.

**Огляд змісту дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота Васяніна В.О. складається зі вступу, шести розділів і висновків, викладених на 326 сторінках основного тексту та 20 сторінках рисунків та таблиць і включає вісім додатків на 105 сторінках. Всього робота містить 66 рисунків, 31 таблицю і список літератури з 493 найменувань на 46 сторінках. Загальний обсяг дисертації займає 497 сторінок.

В *першому розділі* розглядаються методологічні підходи до побудови багатопродуктових ієрархічних комунікаційних мереж та визначено основні завдання обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків кореспонденцій. Наводяться деякі аспекти створення інфраструктури просторових даних (ПД), геоінформаційної системи (ГІС) і спеціального математичного забезпечення для транспортних мереж і мереж передачі даних. На відміну від існуючих підходів, запропонована методологія ґрунтується на комплексному вирішенні завдань перспективного, поточного та оперативного планування і управління та дозволяє логічно пов'язати процеси обробки потоків у вузлах мережі з їх подальшим розподілом на мережі. Розглянута ієрархічна зонально-вузлова структура багатопродуктової мережі, принципи і технологія організації сортування і транспортування дрібнопартійних кореспонденцій та математична



модель мережі. Виділено три рівні ієрархії – магістральний, зональний і внутрішній та чотири типи вузлів. Для кожного рівня ієрархії визначені три групи задач: перспективного розвитку, поточного планування і оперативного управління. Визначено три основні задачі поточного планування на магістральному рівні – упаковки дрібнопартійних кореспонденцій у транспортні блоки, вибору структури мережі, розподілу і маршрутизації транспортних блоків. Показано, що ці задачі становлять методологічну основу (ядро) для розв’язування задач оперативного управління процесами обробки і розподілу потоків, а також для розв’язування задач перспективного розвитку мережі. Наведена загальна схема ІАС ППР, яка функціонує в масштабі реального часу і являє собою інформаційно-картографічну систему на базі ІПД, ГІС та розподіленої обчислювальної мережі. Дається обґрунтування використання ІАС для управління нестаціонарними процесами обробки і транспортування потоків на всіх рівнях мережі.

У *другому розділі* обговорюються питання організації перевезень у внутрішній зоні магістрального вузла, наводяться основні принципи і схеми, закладені в основу побудови маршрутів транспортних засобів. Розглядаються технічні та економічні особливості і характеристики реальних транспортних процесів, які повинні бути враховані при формуванні цільових функцій математичних моделей задач маршрутизації. Показано, що при визначенні структури внутрішньо вузлової мережі перевезень і її математичної моделі повинні враховуватися реальні географічні особливості і характеристики ділянок доріг транспортної мережі, різні зовнішні фактори що складно формалізуються. Основними результатами розділу є декілька варіантів удосконалених математичних постановок задач побудови постачальних, складальних, комбінованих маршрутів і маршрутів з розщепленою доставкою, які засновані на відомих типових моделях і можуть бути використані при проектуванні неоднорідного робочого парку транспортних засобів для обслуговування вузлів четвертого типу у внутрішній зоні магістрального вузла. У запропонованих постановках задач, на відміну від існуючих, враховані обмеження і параметри, які дозволяють розрахувати близькі до фактичних технічні та економічні показники функціонування внутрішньої мережі магістральних вузлів.

*Третій розділ* присвячено розробці методів і алгоритмів розв’язування задачі упаковки дрібнопартійних кореспонденцій у транспортні блоки і вибору ієрархічної структури магістральної мережі. Наведено спосіб формування довідкової матриці об’єднання дрібнопартійних потоків кореспонденцій при розв’язанні задачі упаковки з обмеженнями на час доставки та кількість об’єднаних потоків. На підставі доведених тверджень розроблені поліноміальні алгоритми для визначення вузлів об’єднання і об’єднаних потоків для всіх пар в мережі що кореспондуються. Ці алгоритми використовуються в основних схемах оптимізації для розрахунку часу доставки кореспонденцій одержувачу і перевірки відповідних обмежень. Основними науковими результатами розділу є наступне: 1) доведено, що задача упаковки навіть без функцій витрат на обробку і транспортування потоків є NP-повною (теорема 3.3); 2) запропоновано метод та алгоритми для розв’язування практичних задач упаковки з функціями витрат на обробку і транспортування дрібнопартійних кореспонденцій, які засновані на



дискретному аналогу методу локального спуску, доведено збіжність алгоритмів до локального оптимуму (теорема 3.4) та отримано оцінки їх часової складності; 3) доведено, що розв'язування задачі упаковки з додатковими обмеженнями на пропускні спроможності дуг і середній час затримки потоків у мережі можна звести до послідовного розв'язування задачі упаковки без зазначених обмежень та задачі вибору пропускних спроможностей дуг (твердження 3.1); 4) доведено, що задача вибору пропускних спроможностей дуг є NP-повною і може бути розв'язана за псевдополіноміальний час (твердження 3.3); 5) запропоновано оригінальний евристичний метод розв'язування задачі вибору ієрархічної структури багатопродуктової мережі, заснований на попередньому упорядкуванні вузлів мережі по зростанню їх сумарних потоків і використанні алгоритмів розв'язування задач упаковки і розподілу потоків у зональних мережах.

*Четвертий розділ* присвячений розробці методів і алгоритмів розв'язування нелінійної багатоекстремальної дискретної задачі розподілу і маршрутизації транспортних блоків з упакованими в них дрібнопартійними потоками вантажів або повідомлень з різними адресами призначення. Основні наукові результати розділу: 1) математичні моделі задачі розподілу і маршрутизації потоків у мережевої постановці і у перетвореній постановці у вигляді сукупності лінійних багатовимірних задач про ранець, у яких, на відміну від існуючих моделей, 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. Новизна запропонованих постановок задач визначається також тим, що в них мінімізуються приведені витрати на транспортування і обробку потоків по проєктованих лініях зв'язку – маршрутах транспортних засобів або комутованих магістральних каналів зв'язку. Це дозволяє визначити собівартість транспортних послуг і встановити соціально справедливі тарифи на перевезення вантажів, передачу та обробку інформації; 2) розроблено сукупність нових методів і алгоритмів для розв'язування перетвореної задачі, які на відміну від відомих підходів до розв'язування задач розподілу цілочислових потоків у багатопродуктовій мережі, спираються на евристичні прийоми розв'язування системи багатовимірних задач про ранець зі зв'язуючими обмеженнями і на ефективні способи подання структур даних задачі. Отримано асимптотичні оцінки часової складності алгоритмів; 3) розроблено новий лексикографічний двокритеріальний алгоритм побудови найкоротших шляхів та запропоновано ефективну реалізацію алгоритму Краскала для знаходження мінімального кістякового дерева (лісу) графа або мережі. Експериментально доведено, що запропоновані алгоритми мають меншу часову складність у порівнянні з аналогічними відомими алгоритмами. Отримано оцінки часової складності алгоритмів.

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'язування задач оптимізації її структури та розподілу потоків, а також показано, яким чином можна використовувати задачі поточного планування для оперативного перерозподілу потоків у випадках утворення черг та відмов у вузлах і на лініях



зв'язку. Наведена загальна схема взаємодії задач поточного планування і оперативного управління на магістральному рівні, за якою проектувальник мережі може визначати критичні параметри стану мережі та ефективно управляти перерозподілом потоків при збуреннях вихідних даних і параметрів задач, що розглядаються.

*Шостий розділ* присвячений практичній реалізації і дослідженню розв'язування задач поточного планування у магістральній мережі. Запропонована методика розв'язування задач поточного планування, яка дозволяє в інтерактивному режимі здійснювати вибір ієрархічної структури мережі і визначати основні техніко-економічні показники її функціонування при зміні вихідних даних і параметрів. Наводиться опис комп'ютерних програм для моделювання ієрархічної структури, схеми сортування, розподілу і маршрутизації потоків. Розглядаються числові приклади розв'язання окремих задач. Експериментально підтверджена досить висока обчислювальна ефективність запропонованих алгоритмів і програм, тому вони можуть бути рекомендовані для практичного вирішення проблем оптимізації процесів обробки і транспортування потоків в транспортних мережах і мережах передачі даних (час розв'язування всіх задач на транспортній мережі, що містить 120 вузлів і 300 неорієнтованих дуг, не перевищував 30 с. на ПК з процесором Intel Core 2 Duo с тактовою частотою 2,66 ГГц і оперативною пам'яттю 2 Гб.). На всі основні комп'ютерні програми отримано авторські свідоцтва і вони включені до складу інструментальних програмних засобів ІАС ППР, яка розробляється в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України.

*У висновках* сформульовано основні результати роботи.

*У додатках А, Б, В, Г, Д і Е* відповідно наводяться типові завдання по розробці інформаційного забезпечення та автоматизації процесів підтримки прийняття рішень; розглянуті математична модель та алгоритми розв'язування задачі розподілу і упаковки дрібнопартійних кореспонденцій в зональних мережах, які є окремими фрагментами магістральної мережі; розглядаються два способи балансування матриці контейнерних потоків при розв'язанні задачі перевезення дрібнопартійних вантажів у транспортній мережі, запропоновано математичну модель і алгоритм розв'язування задачі розвезення порожніх контейнерів і проведено огляд та аналіз сучасних методів і алгоритмів розв'язування транспортної задачі; наведено огляд і аналіз методів та алгоритмів побудови найкоротших шляхів; розглянуті абстрактні типи даних для розробки алгоритмів розподілу і маршрутизації потоків і процедури редукції ліній зв'язку (маршрутів), отримано оцінки складності алгоритмів редукції і формування довідкової структури даних, розглянуто приклад побудови структур даних і проведено чисельний експеримент для перевірки працездатності і обчислювальної ефективності запропонованих алгоритмів; наведені результати обчислювального експерименту, що показують як можна використовувати розв'язання задач поточного планування для перспективного розвитку вузлів і транспортних ліній зв'язку магістральної мережі і оперативного перерозподілу потоків при виникненні позаштатних ситуацій.



**Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації й автореферату.** Дисертація (російською мовою) та автореферат написані грамотно, відповідають вимогам стандарту ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки». Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання. Зміст автореферату відображає основні результати роботи, які приведені в дисертації. З тексту автореферату зрозуміла наукова і практична значущість роботи та особистий внесок здобувача.

**До дисертації та автореферату є такі зауваження:**

1. У розділі 2 для більшої повноти досліджень запропонованих автором математичних моделей побудови постачальних, складальних, комбінованих і роздільних маршрутів і їх різновидів з додатковими обмеженнями на тривалість маршрутів за часом і тимчасові вікна, автору слід було б провести числовий аналіз розв'язування задач маршрутизації транспортних засобів у внутрішніх зонах магістральних вузлів з використанням озвучених в дисертації відомих пакетів змішаного і цілочислового програмування.

2. У розділі 3 не зовсім зрозуміло, чому автор в алгоритмах роботи з довідковою матрицею об'єднання потоків (алгоритми 3.1 і 3.2) для рекурсивних обчислень в алгоритмі 3.1 використовує явну організацію стека, а в алгоритмі 3.2 стандартні засоби — рекурсивні процедури мови програмування.

3. У підрозділі 3.3 для розв'язування комбінаторної дискретної задачі оптимізації упаковки транспортних блоків (3.18)- (3.21) запропоновані алгоритми, засновані на методі локального спуску з вибором радіусу околу пошуку розв'язків по параметру кількості об'єднань кореспонденцій. Для розв'язування поставленої задачі можливе застосування сучасних метаевристичних алгоритмів, на жаль, автор про це тільки згадує. Було б цікаво порівняти запропоновані алгоритми локального спуску і різні метаевристичні алгоритми по швидкості розв'язування задачі і точності одержуваних розв'язків. Теж саме можна сказати і про застосування метаевристик до розв'язування перетвореної задачі розподілу і маршрутизації потоків транспортних блоків, поданої у вигляді сукупності багатовимірних задач про ранець зі зв'язуючими обмеженнями (задача (4.16), (4.10) - (4.15) з підрозділу 4.1.3).

4. У підрозділі 3.4.3 при обговоренні задачі вибору пропускних спроможностей дуг (3.35)-(3.38) і запропонованих алгоритмів 3.6 і 3.7, автору слід було б провести аналіз точності розв'язків, одержуваних цими алгоритмами на еталонних задачах, наявних на загальнодоступних серверах тестових прикладів для комбінаторних задач.

5. У авторефераті на стор. 6 в пункті «Впровадження результатів» слід було б вказати назви транспортних компаній, в яких використані і впроваджені результати роботи. У тексті автореферату не скрізь речення, які мають окремий сенс, відділяються абзацом. На стор. 9, 10 зустрічаються прикрі помилки в словах, що містять непотрібні знаки переносу, є «русизми», наприклад на стор. 22 «мультисеть» замість «мультимережа».



Вказані вище зауваження не мають принципового значення, скоріше визначають напрямки подальших досліджень по темі дисертації, носять методичний та технічний характер і не зменшують наукову та практичну цінність результатів роботи.

### **Висновки по дисертаційній роботі**

В цілому дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому отримано нові науково обґрунтовані теоретичні результати, суттєві для розвитку сучасних теоретичних і прикладних розробок у галузі транспортування дрібнопартійних кореспонденцій у багатопродуктових ієрархічних комунікаційних мережах, а також для створення наукових основ побудови складних розподілених багаторівневих інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень в управлінні транспортними потоками. Дисертація відповідає спеціальності 01.05.02. – математичне моделювання та обчислювальні методи. На підставі актуальності теми, ступеня обґрунтованості наукових положень у дисертації, достовірності та новизни роботи, особистого внеску автора, вважаю, що дисертаційна робота «Методологія проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками» задовольняє всім вимогам Міністерства освіти і науки України та Постанови Кабінету Міністрів України № 567 «Про порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» від 24 липня 2013 р. для докторських дисертацій, а її автор, Васянін Володимир Олександрович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

### **Офіційний опонент**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,  
завідувач відділу методів комбінаторної оптимізації  
та інтелектуальних інформаційних технологій  
Інституту кібернетики  
імені В.М. Глушкова НАН України



Л.Ф. Гуляницький