

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

КУРЦЕВ МАКСИМ СЕРГІЙОВИЧ



УДК 621.391(043.3)

**МЕТОД ПЛАНУВАННЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ З УПРАВЛІННЯ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ НА ОСНОВІ ВИРІШЕННЯ  
ЗАДАЧ НЕЛІНІЙНОГО БУЛЕВОГО ПРОГРАМУВАННЯ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
Лістровий Сергій Володимирович,  
Український державний університет залізничного транспорту,  
професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Лемешко Олександр Віталійович,  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки,  
в.о. завідувача кафедри інфокомунікаційної інженерії

доктор технічних наук, професор  
Кучук Георгій Анатолійович,  
Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»,  
професор кафедри обчислювальної техніки та програмування

Захист відбудеться «03» жовтня 2018 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14

Автореферат розісланий «30» серпня 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



М.О. Євдокименко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Аналіз сучасних систем управління телекомунікаційними мережами, такими як стандарт Telecommunication Management Network (TMN), показує, що останнім часом істотно зросла роль факторів, обумовлених часом, затрачуваним системою на доведення інформації про стан керованого процесу до пунктів управління, на обробку інформації, що надходить, ухвалення рішення на основі прийнятої інформації та доведення прийнятого рішення до виконавчих органів.

При цьому управління телекомунікаційними мережами характеризуються складністю умов, у яких здійснюється управління. До них можна віднести: значно збільшений обсяг виникаючих задач; твердий ліміт часу, що відводиться на прийняття (уточнення) рішення по їхньому виконанню; інтенсивність потоків даних, що збільшується, між різними ланками управління; високий динамізм зміни обстановки; обмеженість ресурсу сил і засобів, призначених для рішення задач з управління телекомунікаційними мережами. Існують об'єкти, у яких час доведення інформації про стан керованого процесу до пунктів управління складає одиниці секунд. У таких системах управління час є найважливішим параметром, від якого залежать вхідна інформація і отримання рішення. Функціонування сучасних телекомунікаційних мереж здійснюється у масштабі реального часу, забезпечуючи швидкий і гнучкий розподіл інформаційних потоків. Тому системи управління ними повинні бути високопродуктивними, відрізнятися простотою й надійністю у експлуатації. Найбільш перспективним для цього, є застосування телекомунікаційної технології Grid разом з використанням обчислювальних кластерів у структурі управління телекомунікаційними мережами.

Основоположниками концепції Grid вважаються Фостер Я. (Ian Foster), Кессельман К. (Carl Kesselman), а також Тьюке С. (Steven Tuecke) та Ник Д. М. (Jeffrey M. Nick). Значний внесок у розвиток технології Grid належить таким закордонним вченим: Коваленко В.Н., Корягін Д.А., Куцуль Н.Н., Лобунець А.Г., Сухорослов О.В., Хайнос М. (Matt Хайнос), Чайковські К. (Karl Czajkowski), Фрей Д. (Jeffrey Frey), Грехам С. (Steve Graham) та ін. Певний вплив на розвиток Grid в Україні зробили роботи вітчизняних учених: Алексієв В.О., Лістровий С.В., Мінухін С.В., Велічкєвич С.В., Петренко А.І.

Ефективність управління в телекомунікаційних мережах залежить від оперативності рішення задач управління потоками інформації в телекомунікаційних мережах, математичними моделями яких є широкий клас задач лінійного булевого програмування і теорії графів, стосовних до NP-повних задач і класу задач нелінійного булевого програмування, для яких ефективні методи рішення в режимі реального часу мало досліджені.

Тому представляється актуальним вирішення науково-практичної задачі, яка полягає в оптимізації процесів управління телекомунікаційними мережами шляхом розробки методу планування виконання завдань з управління телекомунікаційними мережами обчислювальних кластерів із застосуванням Grid-технологій, який базується на зведенні задачі планування виконання

завдань до вирішення задачі нелінійного булевого програмування і розробки ефективного методу вирішення даного завдання на основі рангового підходу, що дозволяє підвищити ефективність планування.

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

Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з реалізацією основних положень «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції Національної програми інформатизації», «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні», «Основних засад розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки» та «Створення національної Grid-інфраструктури для забезпечення наукових досліджень».

Основні результати роботи одержані при виконанні держбюджетної (Держпрограма МОН України № 23/1-2016Б) НДР по темі «Формування теоретичних засад підвищення ефективності використання інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті» (ДР№ 0116U000787).

**Мета дисертаційної роботи** полягає у підвищенні оперативності планування розподілу завдань з управління в кластерах телекомунікаційних систем за рахунок розробки методу планування виконання завдань з управління телекомунікаційними мережами на основі вирішення задач нелінійного булевого програмування.

У дисертаційній роботі розв'язані такі окремі задачі дослідження:

1. Аналіз основних напрямків удосконалення кластерів телекомунікаційних систем і проблем, що виникають при вирішенні завдань планування виконання задач з управління телекомунікаційними мережами в кластерах Grid-систем та вибір показників якості їх функціонування.

2. Подальший розвиток методу планування розподілу завдань у кластерах ТКС шляхом удосконалення методу вирішення задач нелінійного булевого програмування на основі рангового підходу.

3. Розробка методу оперативного планування розподілу завдань на основі вирішення задач НБП у кластерах ТКС з використанням Grid-технології на основі використання методу групової вибірки з індивідуальною сегментацією.

4. Розробка моделі функціонування кластера Grid-системи на основі використання для планування виконання завдань вирішення задач НБП.

5. Оцінка ефективності та перевірка адекватності розробленого методу і математичної моделі шляхом проведення їх аналітичного і експериментального дослідження із застосуванням комп'ютерного імітаційного моделювання.

6. Розробка рекомендацій щодо інтеграції розробленого методу і моделі планування розподілу завдань в системи управління сучасних і перспективних ТКМ.

**Об'єкт дослідження:** процес планування розподілу та виконання завдань з управління телекомунікаційними мережами в кластерах телекомунікаційних систем.

**Предмет дослідження:** моделі і методи планування розподілу та виконання завдань з управління телекомунікаційними мережами.

**Методи дослідження.** При розробці у дисертації методів і моделей використано: математичний апарат теорії графів, теорії дослідження операцій –

для подальшого розвитку заснованого на ідеї рангового підходу методу вирішення завдань нелінійного булевого програмування (НБП) для підвищення оперативності розподілу завдань в кластерах ТКС; методи нелінійного булевого програмування – для розробки моделі функціонування кластера Grid-системи та методу оперативного планування розподілу завдань на основі вирішення задач НБП у кластерах ТКС з використанням Grid-технології на основі використання методу групової вибірки з індивідуальною сегментацією, а також методи теорії ймовірностей і математичної статистики, математичне та імітаційне комп'ютерне моделювання, програмні та алгоритмічні засоби мови програмування С++ – для оцінки ефективності та перевірка адекватності розробленого методу і математичної моделі.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Новизна отриманих наукових результатів полягає в тому, що:

1. Вперше розроблений метод оперативного планування розподілу завдань з управління телекомунікаційними мережами, який дозволяє підвищити значення сумарного коефіцієнту важливості виконаних завдань та зменшити час їх обслуговування шляхом вирішення задач нелінійного булевого програмування у кластерах ТКС з використанням Grid-технології.

2. Вперше створена модель функціонування кластера телекомунікаційної Grid-системи, новизна якої полягає у можливості дослідження ефективності використання розробленого методу оперативного планування розподілу завдань з управління телекомунікаційними мережами при різних законах розподілу потоків завдань та інтенсивності обробки їх в кластері та, яка базується на основі використання для планування виконання завдань вирішення задач нелінійного булевого програмування.

3. Одержав подальший розвиток метод планування розподілу завдань у кластерах ТКС, який дозволив у порівнянні з існуючими методами дискретної оптимізації суттєво зменшити часову складність планування розподілу завдань у кластерах ТКС, забезпечуючи малу похибку результатів рішення шляхом удосконалення методу вирішення задач нелінійного булевого програмування на основі рангового підходу.

**Обґрунтованість і достовірність** наукових положень та висновків підтверджується даними математичного моделювання та збіганням теоретичних результатів із експериментальними дослідженнями, а також практичним впровадженням результатів роботи (Держпрограма МОН України № 23/1-2016Б) по темі «Формування теоретичних засад підвищення ефективності використання інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті» (ДР№ 0116U000787), акти про використання результатів дисертаційної роботи в навчальному процесі УкрДУЗТ та в розробках ).

**Наукове значення роботи** полягає в подальшому розвитку принципів теорії управління телекомунікаційними мережами, шляхом удосконалення та розробки відповідних методів та моделей, що дозволили ефективно розв'язати задачу оперативного планування розподілу пакетів завдань в обчислювальних кластерах ТКС на основі технології Grid.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані на основі розроблених у дисертації методів та моделей нові результати мають наступне практичне значення:

1. Створено програмний комплекс, на якому проведено моделювання роботи кластера з використанням розробленого методу оперативного планування розподілу завдань на основі вирішення задач нелінійного булевого програмування. Показано, що розроблений метод, на відміну від методів FCFS, дозволяє зменшити сумарний час виконання на 12-24% та підвищити значення сумарного коефіцієнту важливості виконаних задач на більш ніж 50%.

2. Побудована модель вирішення задач нелінійного булевого програмування на основі рангового підходу, на якій показано, що в порівнянні з відомими, розроблені наближені процедури оперативного розподілу завдань мають меншу часову та обчислювальну складність, а також малу й асимптотично зменшувану зі зростанням розмірності задачі похибку рішення.

3. Сформульовані практичні рекомендації з інтеграції й ефективного використання розробленого методу оперативного планування в сучасних планувальниках, які дозволили підвищити оперативність виконання завдань кластеру та зменшити час очікування завдань в черзі на більш ніж 20%.

4. Отримані в дисертації практичні результати використані при створенні моделі планувальника завдань системи пакетної обробки кластера ТКС на основі Grid-технології, а розроблені процедури паралельного розподілу завдань використані в моделі супервізора обчислювального кластеру для підсистеми управління цифрової мережі електрозв'язку (підтверджено довідкою про участь у НДР (Держпрограма МОН України № 23/1-2016Б) по темі: «Формування теоретичних засад підвищення ефективності використання інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті» (ДР№ 0116U000787).

5. Результати дисертаційної роботи використані в навчальному процесі УкрДУЗТ при виконанні курсового та дипломного проектування (підтверджено актом впровадження УкрДУЗТ).

**Особистий внесок здобувача.** Усі викладені в дисертаційній роботі результати отримані автором самостійно. В статтях, що виконані у співавторстві здобувачу належить: у роботі [1] здобувачем розроблено єдину процедуру взаємодії системних ресурсів у гетерогенних телекомунікаційних мережах; у роботі [2] – модель роботи локального планувальника на основі рішення задач нелінійного булевого програмування; у роботі [3] – математична і імітаційна модель планування виконання завдань з управління телекомунікаційними мережами в кластері Grid-системи; у роботі [4] здобувачем розроблено метод і модель планування розподілу пакетів завдань з управління телекомунікаційними мережами в кластері Grid-системи; у роботі [5] – описаний підхід до організації планування розподілом ресурсів в системах управління залізничним транспортом; у роботі [6] – проведений аналіз можливості використання завадостійких каскадних кодів при моніторингу ресурсів Grid-систем; у роботі [7] – особливості методу декодування завадостійкими каскадними кодами в частотній області в умовах використання в гетерогенних телекомунікаційних мережах; у роботі [8] – описаний ранговий підхід до вирішення завдань лінійного

та нелінійного булевого програмування для планування і управління в гетерогенних телекомунікаційних мережах.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень були висвітлені та одержали схвалення на семи науково-практичних конференціях: 28 Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (м. Харків, вересень 2015 р.) [7]; 78 Міжнародна науково-технічна конференція "Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті" (м. Харків, квітень 2016 р.) [8]; Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології і мехатроніка: освіта, наука та працевлаштування» (м. Харків, квітень 2016 р.) [9]; 29 Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (м. Харків, вересень 2016 р.) [10]; 79 Міжнародна науково-технічна конференція "Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті" (м. Харків, квітень 2017 р.) [11]; 30 Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (м. Харків, вересень 2017 р.) [12]; XXII Международная научно-техническая конференция "Современные средства связи" (м. Мінськ, Республіка Білорусь, жовтень 2017 р.) [13].

**Публікації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи викладено у 15 наукових працях, які опубліковані у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України, та у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами, серед яких 8 статей (1 з них – у журналі, що індексується наукометричними базами Scopus) та 7 матеріалів доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

**Структура дисертації.** Робота виконана на 265 сторінках, з яких 157 основного тексту, ілюстрована 57 рисунками, має 4 таблиці та складається із вступу, 4 розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних джерел, що містить 99 найменувань і 4 додатків. Дисертація написана українською мовою.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** доводиться актуальність теми дисертації, обґрунтовується мета досліджень, наводиться об'єкт та предмет досліджень, формуються наукова новизна, практична значимість отриманих наукових результатів, а також інформація про зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами. Наводяться відомості щодо реалізації, апробації, публікації наукових і практичних результатів дисертації та особистий внесок автора дисертаційної роботи у наукових статтях, які виконано у співавторстві.

У **першому розділі** роботи на основі аналізу напрямів вдосконалення телекомунікаційних систем та мереж виявлено, що зростаючі потреби організацій та окремих осіб в надійних, потужних та зручних засобах телекомунікації та обробки інформаційних потоків потребують впровадження технології Grid у телекомунікаційні системи та створення телекомунікаційних Grid-систем (TGrid). Також в ході аналізу виявлено, що системи планування

виконання завдань Grid-систем забезпечують вирішення проблеми ефективного та гнучкого призначення завдань, що надійшли на доступні обчислювальні ресурси розподілених систем обробки даних (РСОД). При використанні РСОД основною проблемою є трудомісткість налаштування програмного забезпечення, що виконує призначення завдань на обчислювальні ресурси, яка пов'язана з наступними властивостями РСОД:

- різномірність завдань згідно ресурсним вимогам, апаратна гетерогенність обчислювальних вузлів і різне завантаження вузлів РСОД вимагають спеціального обліку, що веде до створення складних політик планування;

- відсутність повної інформації про ресурсні вимоги завдань ускладнює прийняття інтелектуальних рішень по їх планування.

Широке поширення кластерних, Grid і хмарних систем пов'язано зі збільшенням числа розв'язуваних прикладних завдань і значним зростанням навантажень на обчислювальні системи. Постачальники мережесервісів, спираючись на великі консолідовані центри обміну даних, особливу увагу стали приділяти вдосконаленню методів планування завдань обробки даних. В основі кожного планувальника лежить алгоритм, від якого багато в чому залежить ефективність управління завданнями в цілому. На рис. 1 наведена концептуальна схема планування пакетів завдань в розподілених обчислювальних системах (РОС), в якій в якості алгоритму планування використано рішення задачі про найменше покриття (ЗНП).

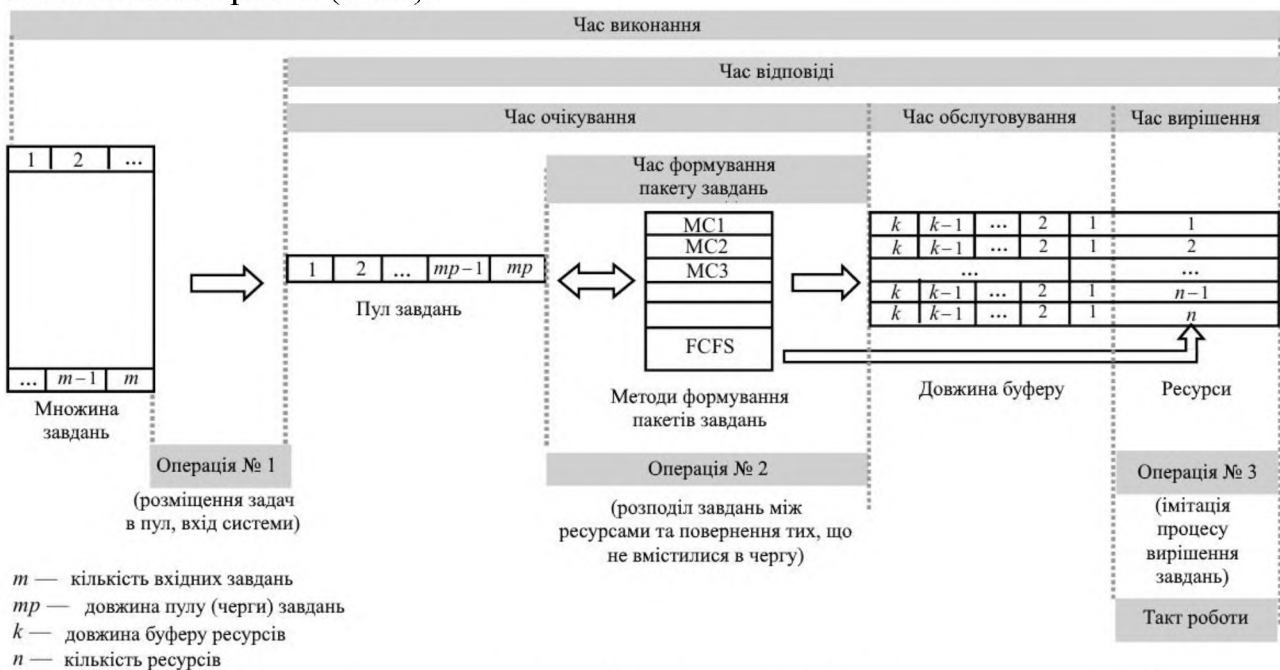


Рис. 1. Структурна схема моделі кластера Grid-системи: операція 1 – приміщення завдань в пул, вхід в систему; операція 2 – розподіл завдань між ресурсами і повернення, що не помістилися в чергу; операція 3 – імітація процесу рішення задач; MC1- MC3, FCFS – методи формування пакетів завдань

Дана концепція планування дозволяє істотно скоротити сумарний час виконання завдань і збільшити коефіцієнт використання ресурсів системи в порівнянні з алгоритмом FCFS (First Come First Serve). Це переліковий алгоритм



і алгоритм зворотного заповнення (Backfill), в якому завдання вишиковуються в перелік відповідно до їхнього вступу і, як тільки необхідна кількість ресурсів стає доступним завданню, що знаходиться на початку списку, завдання надходить на ресурс. Однак до недоліків даного підходу можна віднести той факт, що в цьому випадку немає можливості забезпечити максимальний сумарний пріоритет виконуваних завдань на окремих етапах планування в РОС. Пропонується розроблена процедура планування, що дозволяє подолати зазначений недолік, при цьому зменшити сумарний час обробки завдань в системі в порівнянні з процедурою планування на основі рішення ЗНП.

Прагнення до максимальної суми пріоритетів обраних завдань є головним критерієм при виборі завдань з черги, який будемо характеризувати коефіцієнтом важливості, коефіцієнтом збереження важливості та коефіцієнтом прискорення роботи сегмента Grid-системи.

Також в першому розділі поставлена науково-практична задача, яка полягає у підвищенні ефективності та якості обслуговування завдань, а також розширення функціональні можливостей розподілених ТКС на основі використання комп'ютерних кластерів із застосуванням Grid-технологій. Мета досягається за рахунок розробки методу планування виконання завдань, який базується на зведенні задачі планування виконання завдань до вирішення задачі нелінійного булевого програмування і розробки ефективного методу вирішення даного завдання, на основі рангового підходу, що дозволяє підвищити ефективність планування.

У **другому розділі** запропоновано метод планування виконання пакетів завдань у кластері телекомунікаційних систем на основі методу групової вибірки з індивідуального сегментації.

Для оцінки ефективності вибірки завдань з черги будемо використовувати коефіцієнт використання ресурсів  $K_{BP}$ , що дозволяє визначити, яка частина із загальної кількості ресурсів, до яких звертаються завдання, що знаходяться в черзі, буде використана. Нехай  $\{\vec{X}\}$  – множина всіх варіантів вибірки завдань з черги і  $\vec{X}$  – один з варіантів вибірки завдань:

$$\vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_p, \dots, x_N\}, p = \overline{1..N}, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість завдань в черзі;  $x_p$  – булева змінна. Якщо завдання  $Z_p$  вибрано в цьому варіанті, то  $x_p = 1$ , якщо немає, то  $x_p = 0$ .

Нехай  $\beta_p$  – пріоритет завдання  $Z_p$ . Тоді кількість ресурсів, які будуть задіяні при реалізації певної вибірки:

$$\sum_{p=1}^N \beta_p x_p. \quad (2)$$

З урахуванням (1) і (2) отримуємо вираз для коефіцієнту використання ресурсів:

$$K_{BP} = \frac{\sum_{p=1}^N \beta_p x_p}{\sum_{i=1}^M Y_i}. \quad (3)$$

Для того щоб коефіцієнт  $K_{BP}$  прийняв одиничне значення, необхідно щоб в (3) чисельник дорівнював знаменнику (в кращому випадку). Це означає, що необхідно вибрати з черги якомога більше число завдань, які звертаються до різних ресурсів, сума пріоритетів яких була б максимальна. Прагнення до

максимальної суми пріоритетів обраних завдань є головним критерієм при виборі завдань з черги.

Функція відображення  $F$  завдань  $T$  на ресурси  $R$  системи являє собою матрицю відповідності:

$$F(\text{Matching}): T \times R \times \text{ComLinkThroughout} \rightarrow R^+,$$

де  $\text{Matching}$  – матриця відповідності завдань, що плануються  $T$  ресурсам  $R$  з урахуванням пропускну здатності безлічі комунікаційних каналів зв'язку  $\text{ComLinkThroughout}$  між спланованими завданнями і ресурсами. Дана матриця є основою для формування функціоналу і обмежень.

Відповідно до (1) для опису суми пріоритетів  $\beta_k$  обраних завдань  $x_k$  використовуємо функціонал (3):

$$F = \sum_{k=1}^p \beta_k x_k \rightarrow \max. \quad (4)$$

Нехай  $A_{kg}$  – булева змінна, що дорівнює одиниці, якщо завдання  $Z_k$  використовує ресурс  $R_g$  і дорівнює нулю, якщо ні;  $B_g$  – кількість ресурсів типу  $R_g$ . Тоді, виходячи з умови, що в будь-який момент часу будь-який ресурс може бути використаний для виконання завдання, отримуємо  $M$  обмежень вигляду:

$$\sum_{k=1}^p A_{kg} x_k \leq B_g, g = \overline{1..M}. \quad (5)$$

Отже, необхідно знайти таку вибірку  $\vec{X}$  із множини  $\{\vec{X}\}$ , для якої функціонал (4) прийме максимальне значення при виконанні всіх обмежень (5). Отримано завдання *лінійного програмування з булевими змінними*. Вирішення черги (ВЧ) запитів при такій формалізації відбувається поетапно. Кожен етап складається зі знаходження оптимальної вибірки  $\vec{X}$ , її обслуговування і зміни функціонала (4) і обмежень (5) з урахуванням змін в черзі після обслуговування вибірки.

Найбільш перспективними способами обслуговування завдань є способи групової вибірки. Метод групової вибірки з індивідуальною сегментацією – це такий метод, при реалізації якого завдання, що знаходяться в черзі, розбиваються на підзадачі. З черги отриманих підзадач вибирають ті, для реалізації яких потрібні ресурси різного типу, і сума пріоритетів яких максимальна. У разі наявності рівнозначних підзапитів вибирають більш «старі». Підзадача – це частина завдання, для реалізації якої потрібно використання ресурсу конкретного типу. Якщо завдання вимагає  $K$  різних ресурсів, то його розбивають на  $K$  підзадач. В цьому випадку треба вибрати з черги якомога більше число підзадач, що звертаються до різних ресурсів, сума пріоритетів яких була б максимальна. Прагнення до максимуму суми пріоритетів обраних підзадач є головним критерієм при виборі підзадач з черги.

Нехай  $Z_{kg}$  – підзадача завдання  $Z_k$ , що звертається до ресурсу  $R_g$ ;  $C_{kg}$  – пріоритет підзадачі  $Z_{kg}$ ;  $\{\vec{X}\}$  – множина всіх варіантів вибору підзадач з черги;  $\vec{X}$  – один з варіантів вибору підзадач  $\vec{X} = \{x_{11}, x_{12}, \dots, x_{kg}, \dots, x_s\}$ , де  $k = \overline{1..p}$ ,  $g = \overline{1..M}$ ;  $p$  – кількість завдань в черзі;  $x_{kg}$  – булева змінна, що дорівнює одиниці, якщо обрана відповідна підзадача  $Z_{kg}$ , і рівна нулю, якщо ні. Тоді функціонал (4) набуде вигляду:

$$F(x) = \sum_{j=1}^{p_1} C_{1j} S_1(C_n^1) + \sum_{j=1}^{p_2} C_{2j} S_2(C_n^2) + \dots + \sum_{j=1}^{p_k} C_{kj} S_k(C_n^k) + \dots \quad (6)$$

$$\dots + \sum_{j=1}^{p_n} C_{nj} S_n(C_n^n) \rightarrow \max,$$

де  $S_r(C_n^r) = S_1 + S_2 + \dots + S_{pr}$  – сума всіх можливих поєднань добутоків змінних, в кожному з яких міститься  $S_r = X_p X_k \dots X_m$  г різних змінних;  $p_r = \frac{n!}{r!(n-r)!}$ ;  $C_{rj}$  – коефіцієнти в добутках  $S_r$ , що містять г змінних.

Обмеження (5) приймуть вигляд:

$$\sum_{k=1}^p A_{kg} x_{kg} \leq B_g, g = \overline{1..M}. \quad (7)$$

Отримано завдання нелінійного програмування з булевими змінними.

У роботі розглянутий приклад ВЧ при лінійному та нелінійному програмуванні з булевими змінними. З розглянутого прикладу можна зробити наступні висновки:

1. Використання методу групової вибірки з індивідуальною сегментацією дозволяє скоротити число етапів ВЧ і зменшити частоту відмов в обслуговуванні завдань на вході системи при піковому навантаженні;

2. Для забезпечення ефективності запропонованого методу необхідно використовувати в якості математичного апарату методи з малою часовою складністю для вирішення завдань лінійного та нелінійного програмування з булевими змінними.

Тому в якості методу планування пропонується використовувати рангові алгоритми вирішення задач нелінійного булевого програмування.

*Удосконалення методу розв'язання задачі нелінійного булевого програмування на основі рангового підходу.* Для опису всієї множини адитивних цілочисельних функцій з довільними нелінійностями, що визначаються на множині змінних  $\{X_1, X_2 \dots X_n\}$  введемо породжуючу функцію  $F(x)$ , яка дорівнює:

$$F(x) = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{p_k} C_{k,j} S_{k,j}, \quad (8)$$

де  $S_{k,j}$  – добуток  $k$  різних змінних;  $C_{k,j}$  – цілочисельні коефіцієнти, що стоять при  $S_{k,j}$ ,  $p_k = C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$  ( $k = 1 \div n$ ). З її допомогою можна задавати і функціонал і обмеження в задачах нелінійного булевого програмування.

У загальному випадку завдання булевого програмування можна представити у вигляді:

$$f(X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{p_k} C_{k,j} S_{k,j} \Rightarrow \max,$$

при обмеженнях

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{p_k} T_{k,j} S_{k,j} \leq b_l; l = \overline{(1, m)}, \quad (9)$$

де  $C_{k,j}$ ;  $T_{k,j}$ ;  $b_l$  – позитивні цілі числа.

Розглянемо повнозв'язний граф  $G(X, E)$ , в якому вершинами графа є змінні  $X_i$ . Виділимо в графі  $G$  довільну кліку  $Q(X_p X_r \dots X_m)$ , що складається з  $r$  вершин, де  $r < n$ , і розглянемо включення  $Q \subseteq S_{k,j} \in f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , а також  $Q \subseteq S_{k,j} \in g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ . Кожне включення можна охарактеризувати сумами

коефіцієнтів  $C_{k,j}$ , що стоять при  $S_{k,j}$  в функціоналі  $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$  і сумами коефіцієнтів  $T_{k,j}$ , що стоять при  $S_{k,j}$  в обмеженнях  $g_j(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , при цьому в загальному випадку довільна кліка  $Q$  завжди буде характеризуватися відповідною вагою по функціоналу  $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$  і не більше ніж  $t$  вагами по обмеженням. Для вирішення завдання скористаємося поданням вихідного графа  $G(V, E)$  у вигляді симетричного дерева шляхів  $D$  (стягнутих дерева шляхів). Сенс такого уявлення полягає в наступному: нехай всі можливі стани деякої системи визначаються графом  $G(V, E)$  з  $n$  вершинами, де вершини відповідають можливим станам системи. Перейдемо до простору з  $(n - 1)^2$  станами. Для цього кожному з  $n$  станів поставимо у відповідність ще  $(n - 1)$  стан, що характеризує спосіб досягнення стану з множини  $\{1, 2, \dots, n\}$ . При цьому в якості станів, що додаються, визначимо ранг шляху в графі  $G(V, E)$ , тобто кількість ребер, що утворюють даний шлях. Тобто з вершини  $s$  графа  $G(V, E)$  в довільну вершину  $j$  можна потрапити шляхом рангу  $r = 1$ , використовуючи одне ребро, шляхом рангу  $r = 2$ , використовуючи 2 ребра тощо. Шляхом рангу  $r = n - 1$ , використовуючи  $n - 1$  ребро. Такий простір станів можна представити у вигляді стягнутого дерева шляхів  $D$ , графічно воно може бути зображено наступним чином, як на рис. 2а. Дерево всіх шляхів  $D$  містить  $(n - 1)$  горизонтальну лінійку  $i$  ( $n - 1$ ) ярус. Для прочитання шляхів на кожній горизонтальній лінійці можна бувати тільки один раз. Виходячи зі стягнутого дерева шляхів, для довільної вершини  $j$  множина шляхів, що ведуть в цю вершину з деякої вершини, можна представити в такому вигляді:

$$m_s(j) = m_{s_j}^{r=1} \cup m_{s_j}^{r=2} \cup \dots \cup m_{s_j}^{r=n-1}; j = \overline{(1, n-1)}, \quad (10)$$

де  $m_{s_j}^r = \{\mu_{s_j}^r\}$  – підмножини шляхів з довільної вершини в деяку вершину графа  $G(V, E)$ , рангу  $r$ .

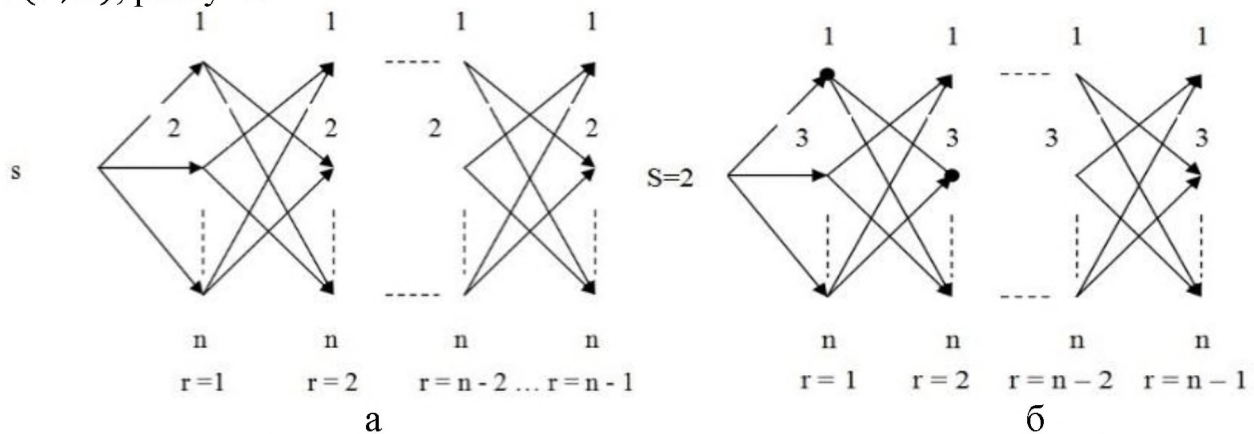


Рис. 2. Граф  $D$  (а); стягнуте дерево шляхів графа  $D$  з вершини  $S = 2$  (б)

Надалі стягнуте дерево шляхів буде використовуватися для побудови однопрохідних алгоритмів розв'язання задачі (9), а дерево (рис. 2б) для побудови  $n$  – прохідних алгоритмів. Таким чином, використовуючи граф  $D$  і ввівши правила формування шляхів наступного рангу, ми можемо з довільної вершини  $s$  поетапно будувати шляхи  $\{\mu_{s_j}^r\}$  довільного рангу аж до рангу  $r = n - 1$ . Отже, в графі  $D$  кожен шлях має в загальному випадку  $t + 1$  довжину, одну за вагами функціоналу і  $t$  за вагами обмежень, і для вирішення поставленого завдання нам

в графі  $D$  потрібно побудувати шлях максимальної довжини за вагами функціоналу від вершин  $1, 2, \dots, n$  до решти вершин графа і при цьому його довжини по вагам обмежень не повинні перевищувати відповідної величини  $b_j$ . Якщо на основі підмножин шляхів  $m_{sj}^{r=1}$  в графі  $D$  будувати підмножини  $m_{sj}^{r=2}$  і так далі до шляхів  $m_{sj}^{r=n-1}$  рангу  $r = n - 1$ , то ми змушені будемо побудувати  $(n - 1)!$  шляхів, тому для формування шляхів вводиться процедура  $A$ , що дозволяє відсікати неперспективні шляхи.

*Процедури вирішення задачі на стягнутому дереві шляхів та оцінка часової складності алгоритмів на основі запропонованих процедур:*

**1 процедура (процедура  $A_1$  з  $n$  проходами)** – спочатку шукається найдовший шлях від першої вершини, потім від другої, третьої, від  $n$ -ї до всіх інших і серед них обирається найдовший.

**2 процедура (процедура  $A_2$  з одним проходом)** – від фіктивної вершини  $S$  шукається найдовший шлях в стягнутому дереві шляхів.

**3 процедура (процедура  $A'$  – багатопрохідна процедура з виділенням локального екстремуму на ярусі).**

**4 процедура (процедура  $A''$  – однопрохідна процедура з виділенням локального екстремуму на ярусі).**

У разі, коли рішення задачі здійснюється за один прохід процедури  $A_2$  або за один прохід процедури  $A''$ , але з виділенням найбільш довгого шляху на ярусі складність процедур  $A_2$  і  $A''$  не перевищать відповідно  $O(n^4 k(m + 1))$  і  $O(n^3 k(m + 1))$ . Отже, алгоритми  $A_5$  (алгоритм на основі процедури  $A_1$ ),  $A_4$  (алгоритм на основі процедури  $A_2$ ),  $A_3$  та  $A_2$  (алгоритм на основі процедури  $A''$  (охоплює всі способи виділення локальних екстремумів)) мають відповідно часову складність, що не перевищує в гіршому випадку  $O(n^5 k(m + 1))$ ,  $O(n^4 k(m + 1))$  і  $O(n^3 k(m + 1))$ . Таким чином, запропонований підхід вирішення довільних завдань булевого програмування дозволяє на основі запропонованих алгоритмів вирішувати з єдиних позицій будь-які завдання лінійного та нелінійного булевого програмування за поліноміальний час з необхідною точністю.

Графіки залежності похибки від розмірності ( $n$ ) вирішуваних завдань і від числа обмежень ( $m$ ) в задачі (9) наведені на рис. 3. З яких видно, що похибка алгоритмів зі збільшенням числа обмежень  $m$  асимптотично зменшується, зі збільшенням  $n$  зростає і  $m \geq 50$ , похибка алгоритмів стабілізується і для задач лінійного програмування не перевищує 2%, а для задач квадратичного – 5-10%.

Експериментальне дослідження часової складності показало, що число оброблюваних векторів не залежить від числа обмежень і в середньому для алгоритмів  $A_5$ ,  $A_4$ ,  $A_3$  часова складність є величиною порядку відповідно  $O(0,1n^{4,9})$ ,  $O(0,3n^{3,7})$  і  $O(0,4n^{2,8})$ .

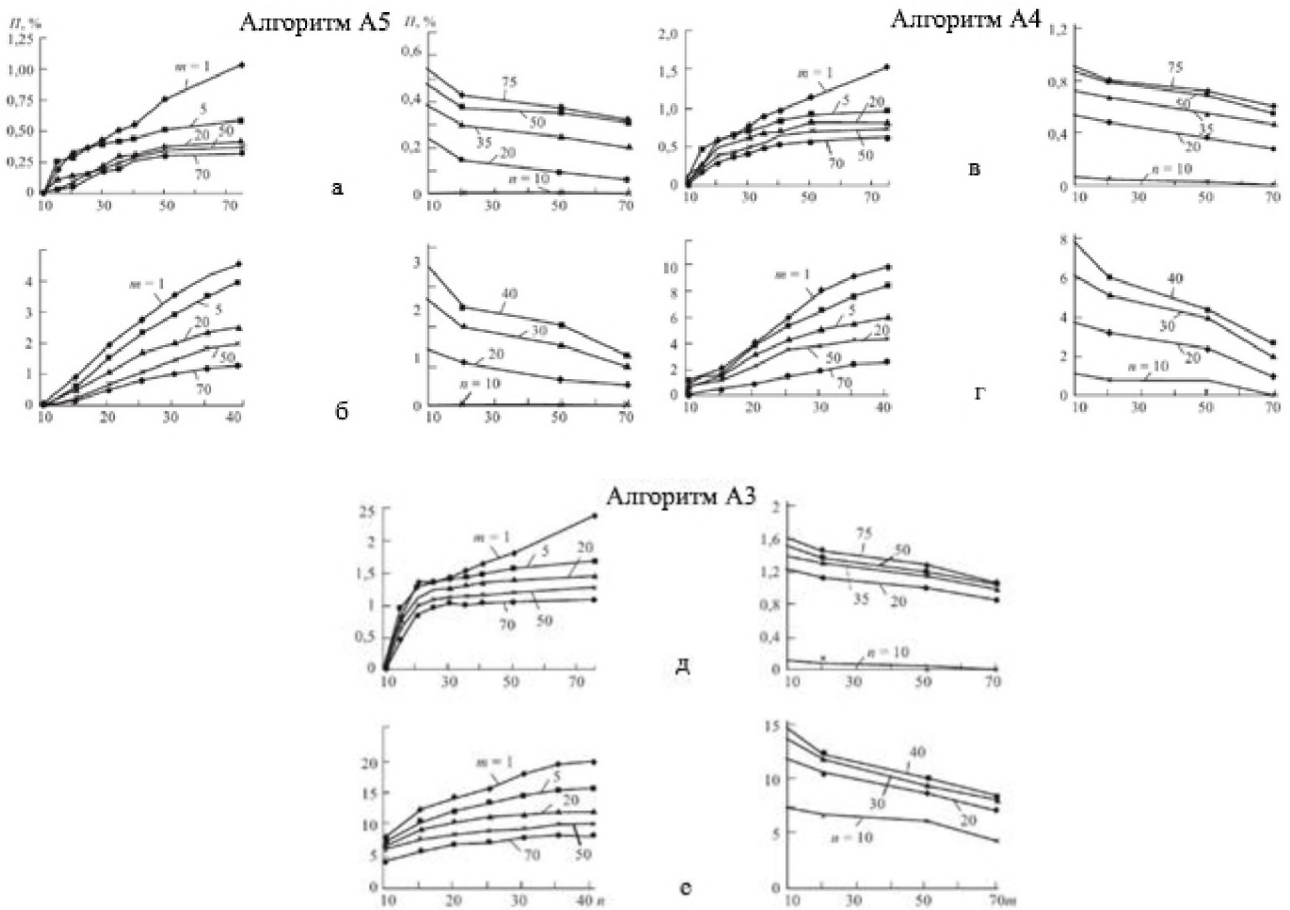


Рис. 3. Залежність похибки алгоритмів  $A_5$  (а, б),  $A_4$  (в, г) й  $A_3$  (д, е) від розмірності  $n$  задачі лінійного (а, в, д) та квадратичного (б, г, е) булевого програмування, що вирішується, при різній кількості обмежень  $m$

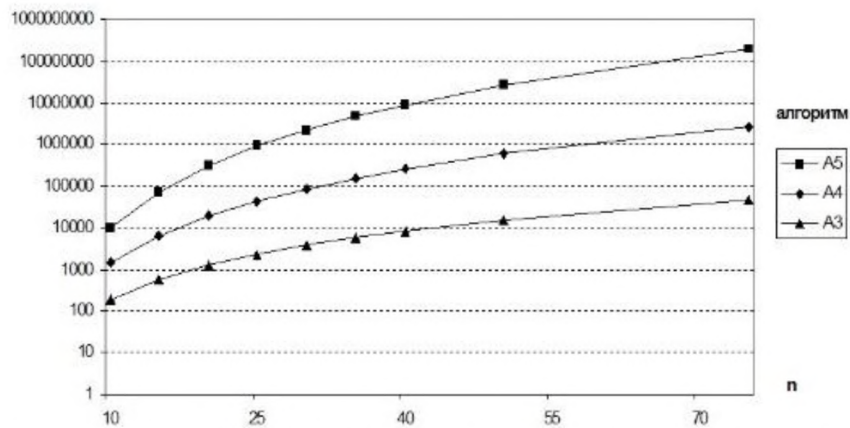


Рис.4. Залежність числа оброблюваних векторів від розмірності розв'язуваної задачі лінійного і квадратичного програмування для алгоритмів  $A_5$ ,  $A_4$ ,  $A_3$

Результати експериментального дослідження часової складності і похибки розроблених алгоритмів наочно підтверджують їх теоретичну оцінку. Збільшення числа обмежень в задачах нелінійного булевого програмування призводить до зниження похибки їх вирішення, при цьому сама ступінь нелінійності несуттєво впливає на величину похибки.

Розглянуті процедури вирішення задач булевого програмування будемо називати першим типом оптимізації і для підвищення ефективності роботи алгоритму введемо другий вид оптимізації, що використовує аналогічну процедуру формування шляхів, але відрізняється від першого тим, що на першому ярусі ми будемо формувати не шляхи рангу 1, а безлічі шляхів, які відповідають складовим в функціоналі. Результати експериментального дослідження задач булевого програмування першого та другого типу оптимізації по відношенню до метода повного перебору наведені на рисунку 5.

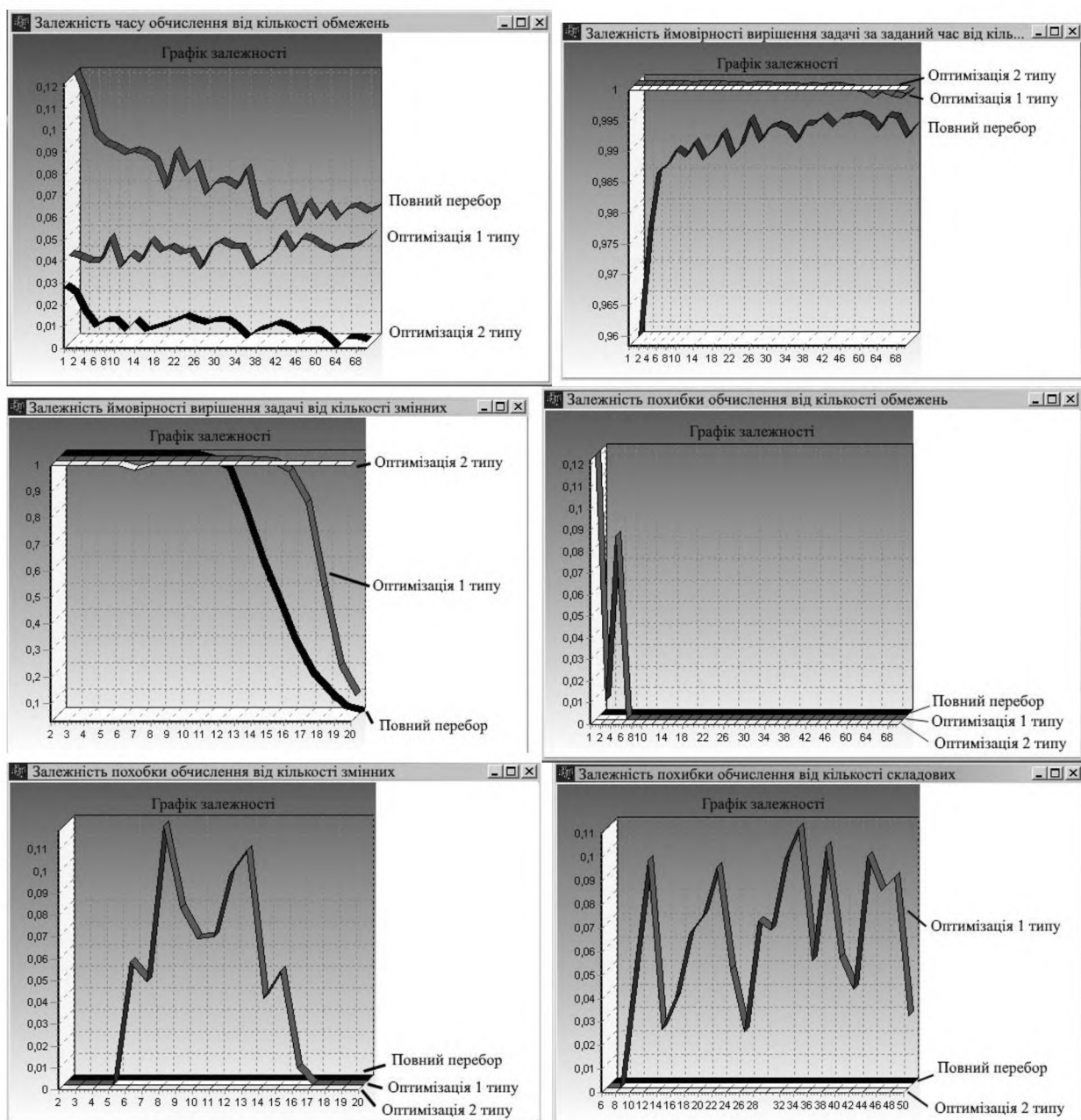


Рис.5. Результати експериментального дослідження задач булевого програмування першого та другого типу оптимізації по відношенню до метода повного перебору

Використання запропонованих процедур оптимізації другого типу дозволяють істотно підвищити оперативність вирішення завдань булевого

програмування і точність їх вирішення, що суттєво для процесів планування виконання завдань в розподілених обчислювальних системах.

Запропоновані процедури ефективно можуть бути распаралелені оскільки формування шляхів на ярусах у множинах  $m_{sj}^r$  можна здійснювати одночасно. Таким чином, якщо мати  $n$  – процесорних елементів для формування шляхів, то часова складність алгоритмів на основі розглянутих процедур не перевищить відповідно  $O(pn^2)$  і  $O(pn)$ , якщо їх реалізовувати з використанням CUDA технологій, то це дозволить застосовувати ці процедури для управління в масштабі реального часу в розподілених системах обчислення.

У **третьому розділі** проведено моделювання роботи кластера телекомунікаційної мережі з плануванням виконання пакетів завдань на основі вирішення задачі нелінійного булевого програмування ранговим методом.

Моделювання роботи кластера здійснюється наступними кроками:

- крок 1. Виконується операція №1. На вхід системи подається встановлена кількість завдань;
- крок 2. Виконується операція №2. Формується пакет завдань встановленим методом;
- крок 3. Виконується операція №3. Імітується процес вирішення для всіх завдань, які на поточний момент часу вже знаходяться в ресурсі. Виконується така кількість тактів, яка була витрачена на формування пакету завдань;
- крок 4. Виконується операція №3. Імітується процес вирішення завдань, поки не настає наступний період планування або не будуть вирішені всі завдання;
- крок 5. Перехід до виконання кроку №1.

Таблиця 1

Результати моделювання роботи Grid-системи при заданих параметрах

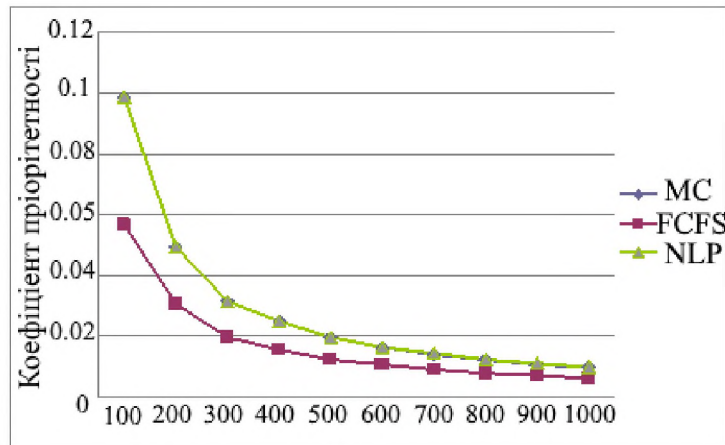
Показник якості планування	Метод планування		
	MC	FCFC	NLP
Час виконання	16157	18762	14206
Час очікування	36	196	5
Коефіцієнт важливості	0,626	0,188	0,999
Коефіцієнт прискорення	1,226	1,056	1,395
Коефіцієнт збереження важливості	0,781	0,763	0,868
Коефіцієнт завантаження	0,384	0,334	0,453
Коефіцієнт використання	0,38	0,334	0,454
Максимальний час відповіді	5347	2075	4168
Час обслуговування	2095	50	833

За допомогою даної моделі є можливість проводити дослідження ґрунтуючись на наступних методах планування виконання завдань: метод планування MC, MCO, MCA, GREED, FCFS, NLP.

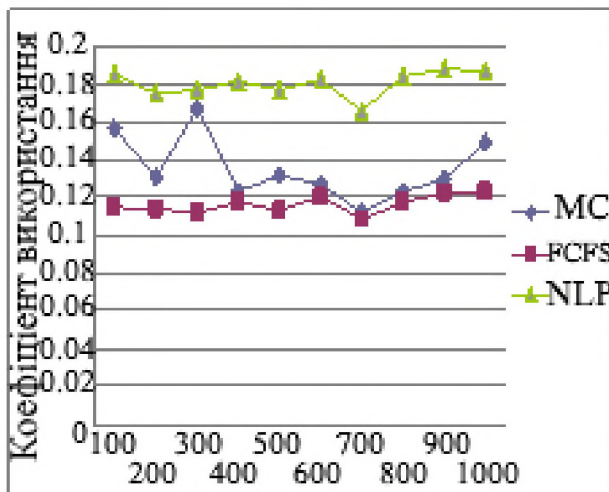
При моделюванні досліджувалися залежності часу виконання всіх завдань глобальної черги в залежності від кількості завдань у черзі при різних



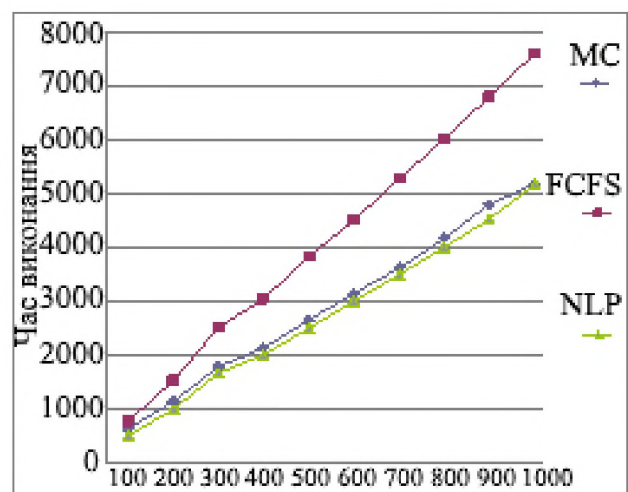
складношах розв'язуваних завдань і різної продуктивності ресурсів, а також залежність коефіцієнта використання ресурсів гетерогенної Grid-системи від кількості розв'язуваних завдань. Характеристики, наведені на рис. 6, отримані при числі ресурсів використовуваних в гетерогенній Grid-системі рівному 10 з довірчою ймовірністю, яка дорівнює 0,95, при цьому всі параметри Grid-системи змінювалися за законом Пуассона.



а



б



в

Рис. 6. Залежність коефіцієнта пріоритетності (а), коефіцієнта використання ресурсів (б) та часу виконання всієї черги завдань (в) від числа завдань у черзі

З рис. 6 видно, що при використанні для планування процедури, базуються на вирішенні задачі нелінійного програмування коефіцієнт використання і коефіцієнт пріоритетності вище ніж у процедур планування на основі рішення ЗНП і процедур FCFS. При цьому оперативність виконання черги завдань вище у процедури NLP.

У **четвертому розділі** наведені рекомендації щодо інтеграції розробленого методу і моделі планування розподілу завдань в системи управління мережевими ресурсами сучасних і перспективних ТКС. В роботі приведена загальна концепція створення управління диспетчеризацією в Grid, яка передбачає наявність чотирьохрівневої ієрархічної структури управління, що поєднує в собі

централізоване і децентралізоване управління. При цьому розподіл завдань розглядається на основі принципу роздільного розподілу завдань, але при цьому розподіл за допомогою диспетчера здійснюється не статично, як це робиться в відомих роздільних схемах розподілу завдань, а динамічно і безперервно на основі процедури *D*. В роботі показана архітектура дворівневої Grid-системи та модель взаємодії і структура брокерів верхнього рівня.

**В додатках приведені процес** інтеграції розробленого методу в систему управління пакетною обробкою завдань в кластерах Grid-систем та лістинг програми роботи планувальника завдань СПО кластера ТКС на основі Grid-технології.

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертаційній роботі, на основі теоретичних досліджень на комп'ютерного моделювання вирішена науково-практична задача, яка полягає в оптимізації процесів управління телекомунікаційними мережами шляхом розробки методу планування виконання завдань з управління телекомунікаційними мережами обчислювальних кластерів із застосуванням Grid технологій, який базується на зведенні задачі планування виконання завдань до вирішення задачі нелінійного булевого програмування і розробки ефективного методу вирішення даного завдання на основі рангового підходу, що дозволяє підвищити ефективність планування. За підсумками вирішення поставленого завдання зроблені наступні висновки:

1. На основі проведеного аналізу основних напрямків удосконалення кластерів ТКС і проблем, що виникають при вирішенні завдань планування виконання завдань з управління телекомунікаційними мережами в кластерах Grid-систем встановлено, що важливим напрямком розвитку сучасних систем управління пакетною обробкою в кластерах ТКС є розробка відповідних методів моделей планування, які дозволяють підвищити ефективність та якість обслуговування завдань з управління телекомунікаційними мережами, що характеризуються коефіцієнтом важливості, коефіцієнтом збереження важливості і коефіцієнтом прискорення виконання завдань, а також розширення функціональних можливостей розподілених ТКС на основі використання обчислювальних кластерів із застосуванням Grid-технологій. Показано, що підвищення ефективності та якості обслуговування завдань можливо за рахунок розробки методу планування виконання завдань з управління телекомунікаційними мережами, який базується на зведенні задачі планування виконання завдань до вирішення задачі нелінійного булевого програмування і розробки ефективного методу вирішення даного завдання на основі рангового підходу.

2. Вперше розроблений метод оперативного планування розподілу завдань з управління телекомунікаційними мережами, який дозволяє підвищити значення сумарного коефіцієнту важливості виконаних завдань та зменшити час їх обслуговування шляхом вирішення задач нелінійного булевого програмування у кластерах ТКС з використанням Grid-технології. Збільшення числа обмежень

в задачах нелінійного булевого програмування призводить до зниження похибки їх вирішення, при цьому сама ступінь нелінійності несуттєво впливає на величину похибки. Тобто, якщо мати  $n$ -процесорних елементів для формування шляхів, то часова складність алгоритмів на основі розглянутих процедур не перевищить відповідно  $O(pn^2)$  і  $O(pn)$ , якщо їх реалізовувати з використанням CUDA технологій, то це дозволить застосовувати ці процедури для управління в масштабі реального часу, в розподілених телекомунікаційних системах.

3. Вперше створена модель функціонування кластера телекомунікаційної Grid-системи, новизна якої полягає у можливості дослідження ефективності використання розробленого методу оперативного планування розподілу завдань з управління телекомунікаційними мережами при різних законах розподілу потоків завдань та інтенсивності обробки їх в кластері, та яка базується на основі використання для планування виконання завдань вирішення задач нелінійного булевого програмування. Модель дозволяє користувачеві в ручному режимі змінювати параметри роботи Grid-системи, включаючи методи планування, які і є предметом дослідження даної моделі, і отримувати результат у докладній формі з графіками.

4. Одержав подальший розвиток метод планування розподілу завдань у кластерах ТКС, який дозволив у порівнянні з існуючими методами дискретної оптимізації суттєво зменшити часову складність планування розподілу завдань у кластерах ТКС, забезпечуючи малу похибку результатів рішення шляхом удосконалення методу вирішення задач нелінійного булевого програмування на основі рангового підходу. Метод дозволяє вирішувати як завдання лінійного, так і нелінійного програмування, з довільними нелінійностями, як в функціоналі, так і в обмеженнях, алгоритмами поліноміальної складності з невеликою похибкою.

5. Побудована імітаційна модель вирішення задач нелінійного булевого програмування на основі рангового підходу, на якій показано, що в порівнянні з відомими, розроблені наближені процедури оперативного розподілу завдань з управління телекомунікаційними мережами мають меншу часову та обчислювальну складність, а також малу й асимптотично зменшувану зі зростанням розмірності задачі похибку рішення.

6. Сформульовані практичні рекомендації з інтеграції й ефективного використання розробленого методу оперативного планування в сучасних планувальниках, які дозволили підвищити оперативність виконання завдань кластеру та зменшити час очікування завдань в черзі на більш ніж 20%.

7. Отримані в дисертації практичні результати використані при створенні моделі планувальника завдань СПО кластера ТКС на основі Grid-технології, а розроблені процедури паралельного розподілу завдань використані в моделі супервізора комп'ютерного кластеру для підсистеми управління цифрової мережі електрозв'язку (підтверджено довідкою про участь у НДР (Держпрограма МОН України № 23/1-2016Б) по темі: «Формування теоретичних засад підвищення ефективності використання інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті» (ДР№ 0116U000787).

8. Результати дисертаційної роботи використані в навчальному процесі УкрДУЗТ при виконанні курсового та дипломного проектування (підтверджено актом впровадження УкрДУЗТ).

9. Обґрунтування отриманих результатів засновано на коректному застосуванні основних положень теорії графів, теорії дослідження операцій, методів нелінійного булевого програмування, теорії ймовірностей і математичної статистики.

10. Достовірність отриманих результатів підтверджується коректним використанням фундаментальних положень і результатів відомих теоретичних досліджень, адекватністю результатів експериментальних та теоретичних досліджень, отриманих на основі програмної реалізації та імітаційної моделі.

Мета дослідження, яка полягає у підвищенні оперативності планування розподілу завдань в кластерах телекомунікаційних систем та забезпеченні їх відмовостійкого функціонування, досягнута.

## **СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Listrovoy S.V. A uniform procedure of a system resources interaction in distributed computer media [Text] / S.V. Listrovoy, K.A. Trubchaninova, V.A. Bryksin, M.S. Kurtsev // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Strategic management, portfolio, program and project management. – Kharkiv : NTU “KhPI”, 2017. – No 3(1225). – P. 101-107. Bibliogr.: 10. – ISSN 2311-4738.

2. Listrovaya E.S. Modeling Local Scheduler Operation Based on Solution of Nonlinear Boolean Programming Problems [Text] / E.S. Listrovaya, V.A. Bryksin, M.S. Kurtsev // “Cybernetics and Systems Analysis”. – Springer International Publishing AG. – 2017. – Vol.53. №5. – P. 766-775.

3. Листровой С.В. Математическая и имитационная модель планирования выполнения заданий в кластере Grid-системы [Текст] / С.В. Листровой, М.С. Курцев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – №2(117). – С.61-72.

4. Листровой С.В. Метод и модель планирования распределения пакетов заданий в кластере Grid системы [Текст] / С.В. Листровой, Е.С. Листровая, М.С. Курцев // Международный научно-теоретический журнал «Электронное моделирование». – Институт проблем моделирования в энергетике имени Г.Е. Пухова, 2016. – Т.38, №6. – С. 85-106.

5. Листровой С.В. Подход к организации планирования распределением ресурсов в системах управления железнодорожным транспортом [Текст] / С.В. Листровой, М.С. Курцев // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту (Філія "НДКТІ" ПАТ "Укрзалізниця"), 2016. – №3-4(118-119). – С.14-22.

6. Приходько С.И. Алгоритм кодирования каскадными кодами в частотной области [Текст] / С.И. Приходько, М.С. Курцев, Хамзе Биалал // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: УкрДАЗТ, – 2013. – №3. – С. 78 – 82.

7. Приходько С.И. Алгоритм декодирования каскадными кодами в частотной области [Текст] / С.И. Приходько, М.С. Курцев, Хамзе Билал // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, – 2013. – Вип. 5(112). – С. 132 – 136.

8. Листровой С.В. Ранговый подход к решению задач линейного и нелинейного булевого программирования для планирования и управления в распределенных вычислительных системах [Текст] / С.В. Листровой, Е.С. Листровая, М.С. Курцев // Международный научно-теоретический журнал «Электронное моделирование». – Институт проблем моделирования в энергетике Г.Е. Пухова, 2017. – Т.39. №1. – С. 19-38.

9. Лістровий С.В. Ефективний метод вирішення задачі планування та виконання завдань у розподілених обчислювальних системах на основі нелінійного булевого програмування [Текст] / С.В. Лістровий, М.С. Курцев // Матеріали 79 Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» 25-27 квітня. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – №169(додаток). – С.9-11.

10. Листровой С.В. Метод эффективного управления очередью заданий в распределенных вычислительных системах на основе решения задач нелинейного булевого программирования [Текст] / С.В. Листровой, М.С. Курцев // Материалы XXII Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» 19-20 октября 2017 г. Минск, Республика Беларусь: Белорусская государственная академия связи, 2017. – С.185.

11. Лістровий С.В. Метод планування ресурсів в кластерах Grid-системна основі рангових алгоритмів вирішення задач нелінійного булевого програмування [Текст] / С.В. Лістровий, М.С. Курцев // Матеріали 30 Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» 26-28 вересня. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – №4(додаток). – С. 8.

12. Лістровий С.В. Моделювання роботи Grid системи в телекомунікаційних мережах [Текст] / С.В. Лістровий, М.С. Курцев // Матеріали 78 Міжнародної науково-технічної конференції "Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті" 26-28 квітня. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – № 4 (додаток). – С.37.

13. Листровой С.В. Планирование выполнения заданий в распределенных вычислительных системах на основе алгоритма, построенного на ранговом подходе к решению задач булевого программирования [Текст] / С.В. Листровой, М.С. Курцев // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології і мехатроніка: освіта, наука та працевлаштування» 20-21 квітня 2016 року: матеріали конференції. - Харків: ХАДІ, 2016. – С.67-69.

14. Лістровий С.В. Загальна концепція створення управління диспетчеризацією в Grid [Текст] / С.В. Лістровий, М.С. Курцев // Матеріали 29 Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» 27-29 вересня. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – №4(додаток). – С.2-3.

15. Лістровий С.В. Загальна концепція створення управління диспетчеризацією в Grid [Текст] / С.В. Лістровий, М.С. Курцев // Матеріали 28 міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» 24-25 вересня. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – №4(додаток). – С.43.

## АНОТАЦІЯ

**Курцев М.С.** Метод планування виконання завдань з управління телекомунікаційними мережами на основі вирішення задач нелінійного булевого програмування. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2018.

Дослідження спрямовано на підвищення оперативності планування розподілу завдань з управління в кластерах телекомунікаційних систем за рахунок розробки методу планування виконання завдань з управління телекомунікаційними мережами на основі вирішення задач нелінійного булевого програмування. Досягнення мети полягає в розробці методу оперативного планування розподілу завдань з управління телекомунікаційними мережами, який дозволяє підвищити значення сумарного коефіцієнту важливості виконаних завдань та зменшити час їх обслуговування шляхом вирішення задач нелінійного булевого програмування у кластерах телекомунікаційних систем з використанням Grid-технології; у створенні моделі функціонування кластера телекомунікаційної Grid-системи, новизна якої полягає у можливості дослідження ефективності використання розробленого методу оперативного планування розподілу завдань з управління телекомунікаційними мережами при різних законах розподілу потоків завдань та інтенсивності обробки їх в кластері та, яка базується на основі використання для планування виконання завдань вирішення задач нелінійного булевого програмування; а також розвитку методу планування розподілу завдань у кластерах телекомунікаційних систем, який дозволив у порівнянні з існуючими методами дискретної оптимізації суттєво зменшити часову складність планування розподілу завдань у кластерах телекомунікаційних систем, забезпечуючи малу похибку результатів рішення шляхом удосконалення методу вирішення задач нелінійного булевого програмування на основі рангового підходу.

**Ключові слова:** Grid, розподілені обчислення, планування, кластер, методи планування виконання завдань, гетерогенні системи, мета-обчислення.

## ABSTRACT

**Kurtsev Maksym.** Method for planning the implementation of tasks for managing telecommunication networks based on Boolean solving nonlinear programming. – Manuscript. Dissertation for candidate of technical science degree in specialty 05.12.02 – telecommunication systems and networks. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2018.

The research is aimed at increasing the efficiency of scheduling the distribution of management tasks in clusters of telecommunication systems by developing a method for planning the implementation of tasks for managing telecommunications networks based on solving nonlinear Boolean programming problems. The goal is to develop a method for operational planning of distribution of tasks for managing telecommunications networks, which allows to increase the value of the total importance of completed tasks and reduce the time of their maintenance by solving nonlinear Boolean programming problems in clusters of telecommunication systems using Grid technology; in the creation of a model for the operation of a cluster of telecommunication Grid systems, the novelty of which is the possibility of investigating the effectiveness of using the developed method of operational planning for the distribution of tasks for managing telecommunications networks under different laws of distribution of task flows and the intensity of their processing in a cluster that is based on utilization for execution planning problems of nonlinear Boolean programming; as well as the development of a method for scheduling the distribution of tasks in clusters of telecommunication systems, which made it possible to significantly reduce the time complexity of scheduling the distribution of tasks in clusters of telecommunication systems, in comparison with existing methods of discrete optimization, providing a small error in the results of the solution by improving the method of solving nonlinear Boolean programming problems based on the rank approach.

The new results obtained on the basis of the methods and models developed in the dissertation have the following practical significance: a software package has been created that simulates the operation of the cluster using the developed method of operational planning of the distribution of tasks based on solving problems of nonlinear Boolean programming. It is shown that the developed method, in contrast from FCFS methods, allows to reduce the total execution time by 12-24% and increase the value of the total importance factor of the completed task  $h$  on more than 50%; A model for solving nonlinear Boolean programming problems is constructed on the basis of the rank approach, which shows that, in comparison with known ones, the approximate procedures for the operational distribution of problems have less time and computational complexity, and a small and asymptotically decreasing error in the solution with increasing dimension of the problem; also formulated practical recommendations for the integration and effective use of the developed method of operational planning in modern planners, which made it possible to increase the efficiency of the implementation of cluster tasks and reduce the waiting time for tasks in the queue by more than 20%.

Received in the thesis practical results were used to create the model of the scheduler for the tasks of the telecommunication systems cluster on the basis of Grid technology, and the developed procedures for parallel assignment of tasks were used in the computer cluster supervisor model for the digital telecommunication network management subsystem (confirmed by a certificate of participation in the research program (state program of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 23/1-2016Б) on the theme "Formation of theoretical foundations for increasing the

efficiency of the use of information and control systems on railway transport those" (SR№ 0116U000787).

**Key words:** Grid, distributed computing, scheduling, cluster, methods of planning tasks, heterogeneous systems, meta-calculus.

## АННОТАЦИЯ

**Курцев М.С.** Метод планирования выполнения задач по управлению телекоммуникационными сетями на основе решения задач нелинейного булевого программирования. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2018.

Исследование направлено на повышение оперативности планирования распределения задач по управлению в кластерах телекоммуникационных систем за счет разработки метода планирования выполнения задач по управлению телекоммуникационными сетями на основе решения задач нелинейного булевого программирования. Достижение цели заключается в разработке метода оперативного планирования распределения задач по управлению телекоммуникационными сетями, который позволяет повысить значение суммарного коэффициента важности выполненных задач и уменьшить время их обслуживания путем решения задач нелинейного булевого программирования в кластерах телекоммуникационных систем с использованием Grid-технологии; в создании модели функционирования кластера телекоммуникационной Grid-системы, новизна которой заключается в возможности исследования эффективности использования разработанного метода оперативного планирования распределения задач по управлению телекоммуникационными сетями при различных законах распределения потоков задач и интенсивности обработки их в кластере та, которая базируется на основе использования для планирования выполнения задач решения задач нелинейного булевого программирования; а также развития метода планирования распределения задач в кластерах телекоммуникационных систем, который позволил по сравнению с существующими методами дискретной оптимизации существенно уменьшить временную сложность планирования распределения задач в кластерах телекоммуникационных систем, обеспечивая малую погрешность результатов решения путем усовершенствования метода решения задач нелинейного булевого программирования на основе рангового подхода.

**Ключевые слова:** Grid, распределенные вычисления, планирование, кластер, методы планирования выполнения задач, гетерогенные системы, мета-вычисления.



КУРЦЕВ МАКСИМ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 621.391(043.3)

**МЕТОД ПЛАНУВАННЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ З УПРАВЛІННЯ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ НА ОСНОВІ ВИРІШЕННЯ  
ЗАДАЧ НЕЛІНІЙНОГО БУЛЕВОГО ПРОГРАМУВАННЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 28.08.2018 р.  
Формат 60x90 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Times.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 0,9.  
Тираж 100 прим. Замовлення № 18082802

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»  
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)  
М. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1  
Тел. 7-170-354  
[www.modelist.in.ua](http://www.modelist.in.ua)