

**Українська державна академія залізничного транспорту**

На правах рукопису

Тимошенко Євген Валерійович

УДК 519.854; 621.391; 681.324

**ОПЕРАТИВНИЙ РОЗПОДІЛ ЗАВДАНЬ  
В КЛАСТЕРАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
НА ОСНОВІ GRID - ТЕХНОЛОГІЙ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Дисертація на здобуття ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник

Панченко Сергій Володимирович

кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2009

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	4
ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЮВАННЯ ТКС ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	15
1.1. Концептуальний підхід до побудування перспективних ТКС .....	15
1.1.1. Структура и принципи побудування ТКС .....	15
1.1.2. Напрямок удосконалювання ТКС .....	17
1.2. Тенденції розвитку <i>Grid</i> систем .....	25
1.3. Особливості функціонування кластерів в <i>Grid</i> системах .....	28
1.4. Показники ефективності функціонування кластерів <i>Grid</i> систем .....	34
1.5. Постановка завдання дослідження .....	41
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ В КЛАСТЕРАХ ТКС НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ <i>GRID</i> .....	46
2.1. Розробка моделі функціонування кластера із поділюваними ресурсами .....	46
2.2. Забезпечення живучості планувальника завдань в кластерах <i>TGrid</i> систем .....	57
2.3. Удосконалення методу на основі рангового підходу для підвищення оперативності планування розподілу завдань .....	60
2.4. Розробка стратегій пошуку оптимальних рішень із використанням симетричних графів .....	70
2.5. Розробка наближених процедур оперативного розподілу завдань на основі симетричного графа .....	74
2.6. Оцінка часової складності наближених процедур планування розподілу завдань .....	81
2.7. Експериментальне дослідження розроблених процедур .....	84
Висновки по розділу .....	90

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПАРАЛЕЛЬНИХ ПРОЦЕДУР ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЗАВДАНЬ В КЛАСТЕРАХ ТКС .....	93
3.1. Організація паралельних обчислень у кластерах <i>TGrid</i> системи .....	93
3.2. Розробка паралельних рангових процедур розподілу завдань для простору рішень у вигляді симетричного графа .....	97
3.3. Розробка паралельних рангових процедур рішення задачі про призначення .....	100
3.4. Експериментальне дослідження рангових процедур рішення задачі про призначення .....	108
Висновки по розділу .....	117
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ КЛАСТЕРА ТКС ІЗ ПОДІЛЮВАНИМИ РЕСУРСАМИ .....	119
4.1. Розробка програмної моделі функціонування кластера <i>TGrid</i> системи з поділюваними ресурсами .....	119
4.2. Дослідження моделі функціонування кластера <i>TGrid</i> системи з поділюваними ресурсами .....	128
4.3. Інтеграція розроблених методів та програмного забезпечення у систему управління пакетною обробкою завдань кластерів .....	133
Висновки по розділу .....	144
ВИСНОВКИ .....	146
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	150
Додаток А .....	160
Додаток Б .....	163
Додаток В .....	174
Додаток Г .....	178
Додаток Д .....	199

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БЗ - Булева змінна.

ЕАМЗ - Єдина автоматизована мережа зв'язку.

ЕМ - Елемент мережі.

ЗП - Задача про призначення.

ІРЗ - Інформаційно – розрахункове завдання.

МГМ - Метод гілок та меж.

МРП - Метод рангового підходу.

МКР - Модель керованого ресурсу.

ОР - Обчислювальний ресурс.

ОС - Операційна система.

ПУЕМ - Підсистема управління елементами мережі.

ПУМ - Підсистема управління мережею.

ПМ - Процесорний модуль.

СПО - Система управління пакетною обробкою.

ТКС - Телекомунікаційна система.

ЦМІО- Цифрова мережа інтегрального обслуговування.

ЦЛП - Цілочисельне лінійне програмування

ЦУМ - Центр управління мережею.

*FCFS - First Come First Served.*

*GRAM - Globus Resource Allocation Manager.*

*Grid - Мережна технологія розподіленої обробки даних.*

*MPI - Message Passing Interface.*

*MPP - Massive Parallel Processing.*

*OSS - Operational Support System.*

*RSL - Resource Specification Language.*

*SMP - Symmetric Multiprocessing.*

*TGrid - Телекомунікаційна система на основі Grid – технологій.*

*TNM - Telecommunication Management Network.*

## ВСТУП

Сьогодні найбільшими темпами розвивається ринок телекомунікацій, загальний обсяг якого, за даними компанії *Anderson Consulting*, на 2000 р. склав близько 1,5 трлн. дол. Хоча основний внесок це оплата за телекомунікаційні послуги й обладнання, по темпах росту лідирує сектор систем управління телекомунікаціями: з'являються засоби розподілених обчислень, розвивається глобальна інформаційна мережа, відбувається перехід до сервісного управління, впроваджуються нові телекомунікаційні технології, розширюються їх функціональні можливості. Тому розвиток української інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури є важливим чинником підйому національної економіки, росту ділової та наукової активності суспільства, зміцнення авторитету країни на міжнародній політичній арені.

**Актуальність теми.** Сучасні телекомунікаційні системи (ТКС) повинні забезпечувати доступ користувачів до безлічі служб: мовної, даних, тексту, зображень, телеконференцій, баз даних комп'ютерних мереж, а також тих, що забезпечують вихід користувачів приватних локальних мереж до абонентів мереж загального користування та ін. Подальший їх розвиток залежить від ефективності управління мережними ресурсами (буферним, інформаційним, каналним) та пов'язаний із вдосконаленням механізмів управління чергами, трафіком, маршрутизацією та розподілом пропускну здатності трактив передачі. Розв'язання цієї задачі можливе при застосування у ТКС комп'ютерних кластерів та впровадження *Grid* - технології.

Мережна технологія *Grid* дозволяє створити потужний інструмент обробки інформації для наукової, виробничої та телекомунікаційної сфер. Побудова національної інфраструктури *Grid* сприятиме інтеграції України у Європейський науковий простір та вирішенню наступних завдань:

- обслуговування Українського Міжнародного Центру Даних та надання доступу до наукової інформації, використання потужних комп'ютерів ресурсів й експериментальних установок;
- об'єднання наукової та освітньої обчислювальної й комунікаційної інфраструктури в національну *Grid*, а також підключення її до Європейської *Grid* – інфраструктури;
- забезпечення інформаційної підтримки спільних проєктів українських та іноземних науковців з питань геофізики, комп'ютеризації проектування, вдосконалення ТКС та ін.;
- рішення виробничих, інженерних та бізнесових задач розвитку мережевого транспортного середовища, технологій високошвидкісної передачі даних шляхом використання обчислювальних ресурсів комп'ютерних кластерів, що належать окремим організаціям.

Основоположниками концепції *Grid* вважаються Фостер Я. (*Ian Foster*) та Кессельман К. (*Carl Kesselman*). Суттєвий внесок у розвиток технології *Grid* зробили вчені: Алексієв В.О., Коваленко В.Н., Корягін Д.А., Лістровий С.В., Мінухін С.В., Фрей Д. (*Jeffrey Frey*), Хайнос М. (*Matthew Hainos*), Чайковські К. (*Karl Czajkowski*) та ін.

Функціонування сучасних ТКС та мереж зв'язку здійснюється у масштабі реального часу, забезпечуючи швидкий і гнучкий розподіл інформаційних потоків. Тому системи керування ними повинні бути високопродуктивними, відрізнятися простотою й надійністю у експлуатації. Найбільш перспективним для цього, є застосування телекомунікаційної технології *Grid* разом з використанням у структурі керування ТКС комп'ютерних кластерів. При цьому, виникають проблеми конкурування двох потоків даних, що надходять у кластер ТКС, а також зниження ефективності його роботи через відмову обчислювальних ресурсів. Це вимагає адаптивного та своєчасного перерозподілу комплексу оброблюваних кластером завдань та розділення його обчислювальних ресурсів. Таким чином актуальність теми дисертаційного дослід-

дження визначається необхідністю розробки методу оперативного планування розподілу інформаційно-розрахункових завдань (ІРЗ) в комп'ютерних кластерах ТКС на основі *Grid* - технології.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертаційної роботи та напрямки проведених у ній досліджень відповідають задачам наступних державних програм: «Комплексна програма створення Єдиної національної системи зв'язку України до 2010 року»; «Створення перспективних телекомунікаційних систем і технологій»; Державна програма «Розвиток інформаційних і телекомунікаційних технологій в освіті і науці на період 2006 -2010 роки» (постанова Кабінету Міністрів України від 07.12.05 р. №1153); «Створення національної *Grid* - інфраструктури для забезпечення наукових досліджень» (наказ Міністерства освіти і науки України від 22.08.07 р. № 758); Концепція розвитку зв'язку України до 2010 року (схвалена постановою Кабінету Міністрів України «Про концепцію розвитку зв'язку України» від 9.12.99 р. №2238); Концепція Національної програми інформатизації (затверджена Законом України «Про Національну програму інформатизації України» від 04.02.98 р. №74/98-ВР).

Основні результати роботи одержані дисертантом при виконанні держбюджетної (Держпрограма МОН України № ІТ/476-2007) науко-дослідної роботи по темі № 64/2007-2008 «Розроблення інтелектуальної системи пошуку та оптимального розподілу ресурсів в *Grid*- мережах» (ДР № 0107U007559).

**Мета і завдання дослідження.** Дослідження спрямоване на підвищення ефективності роботи, якості обслуговування, а також розширення функціональних можливостей ТКС на основі використання комп'ютерних кластерів із застосуванням *Grid* - технології. Мета роботи полягає в підвищенні оперативності планування розподілу завдань у кластерах ТКС. Її досягнення полягає в розробці методу оперативного планування розподілу ІРЗ у кластерах

ТКС на основі технології *Grid* та здійснюється шляхом рішення наступних завдань дослідження:

1. Аналіз наукових та технологічних принципів побудови ТКС, тенденції їхнього розвитку, а також управління мережними ресурсами в сучасних і перспективних ТКС із використанням кластерів та *Grid* - технології. Вибір показників ефективності їхнього функціонування.

2. Удосконалення заснованого на ідеї рангового підходу методу рішення задач лінійного булевого програмування (ЛБП) та використовуваних у ньому стратегій відсікання неперспективних варіантів у просторі рішень для підвищення оперативності розподілу завдань в кластерах ТКС.

3. Розробка методу планування розподілу завдань у кластерах ТКС із використанням *Grid* - технології, а також створення на його основі процедур оперативного розподілу й закріплення IP3 для планувальника та супервізора системи пакетної обробки (СПО) кластера.

4. Розробка моделі функціонування кластера телекомунікаційної *Grid* системи з поділованими ресурсами при наявності двох конкуруючих потоків IP3 при розподілі й обробці інформації в підсистемі управління цифровою мережею електрозв'язку.

5. Розробка методу рішення задачі про призначення (ЗП) на основі ідеї рангового підходу для симетричних графів, що дає можливість паралельної реалізації створених на його основі процедур розподілу й закріплення IP3 у СПО кластерів ТКС на основі *Grid* - технології.

6. Оцінка ефективності та перевірка адекватності розробленого методу і математичних моделей шляхом проведення їх аналітичного й експериментального дослідження із застосуванням комп'ютерного імітаційного моделювання.

7. Розробка рекомендацій з інтеграції розробленого методу та моделей планування розподілу завдань у системи управління мережними ресурсами сучасних і перспективних ТКС.



*Об'єкт дослідження:* процес планування розподілу інформаційно-розрахункових завдань в обчислювальних кластерах вузлів і станцій ТКС та мережна основа *Grid* - технології.

*Предмет дослідження:* моделі та методи планування розподілу завдань у кластерах ТКС на основі *Grid* - технології та способи їхньої реалізації.

*Методи дослідження.* При рішенні поставлених у роботі завдань використаний математичний апарат теорії графів та теорії дослідження операцій, методи цілочисельного лінійного програмування, а також методи теорії ймовірностей та математичної статистики, математичне й імітаційне комп'ютерне моделювання, програмні та алгоритмічні засоби математичного пакета *MATLAB*.

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

- уперше розроблено метод оперативного планування розподілу завдань у кластері ТКС на основі *Grid* - технології, який на відміну від відомих дозволяє підвищити ймовірність своєчасної обробки комплексу ІРЗ за припустимий час обслуговування, що забезпечує живучість функціонування кластера з урахуванням динаміки взаємодії потоку завдань ТКС із потоком власних завдань кластера;

- уперше створена модель функціонування кластера телекомунікаційної *Grid* системи з поділюваними ресурсами, яка враховує коефіцієнт використання ресурсів, функціональну потужність системи, коефіцієнт збереження ефективності й показник оперативності планування ресурсів, що дозволяє досліджувати ефективність використання розробленого методу в умовах наявності двох конкуруючих потоків завдань та відчуження обчислювальних ресурсів;

- уперше розроблений метод рішення ЗП заснований на ідеї рангового підходу та стратегії оптимізації пошуку рішень по напрямку з використанням графів симетричного виду, що на відміну від відомих методів дає можливість

прискорити виконання процедур планування розподілу завдань шляхом їхньої паралельної реалізації;

- одержав подальший розвиток метод рішення задач ЛБП на основі ідеї рангового підходу, що полягає у розробці стратегій відсікання неперспективних варіантів у просторі рішень, представленому у вигляді симетричного графа з використанням оптимізації по напрямку. Це дозволило в порівнянні з існуючими методами дискретної оптимізації істотно знизити часову складність планування розподілу завдань у кластерах ТКС, забезпечуючи малу погіршеність результатів рішення;

- удосконалені стратегії відсікання неперспективних варіантів рішення задач ЛБП на симетричному графі, які використовують при плануванні принцип оптимізації по напрямку й дозволяють відмовитися від системи калібрувальних векторів, що застосовувалась раніше. Це дозволяє підвищити оперативність розподілу та обробки інформаційних завдань у кластерах ТКС на основі *Grid* - технології.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень та висновків** підтверджується даними математичного моделювання та добрим збіганням теоретичних результатів із експериментальними дослідженнями, а також практичним впровадженням результатів роботи (Довідка №10/09 про участь у НДР (Держпрограма МОН України № ІТ/476-2007) по темі №64/2007-2008 « Розроблення інтелектуальної системи пошуку та оптимального розподілу ресурсів в *Grid*-мережах » (ДР №0107U007559), акти про використання результатів дисертаційної роботи в навчальному процесі УкрДАЗТ 2009 р. та в розробках математичного й програмного забезпечення на підприємстві ЗАТ «Інститут Харківський Промтранспроєкт» 2009 р.).

**Наукове значення роботи** полягає в удосконаленні та розробці нових методів та моделей, які дозволили ефективно розв'язати задачу оперативного планування розподілу інформаційних завдань в комп'ютерних 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 проведене моделювання роботи кластера з використанням розробленого методу оперативного планування розподілу завдань при наявності двох конкуруючих потоків завдань, що надходять через інтерфейс СПО та показано, що при усталеній роботі вузлів кластера розроблений метод, на відміну від методу *FCFS* (*First Come First Served*), дозволяє розв'язати задачу планування на 12,6%, а при відчуженні обчислювальних ресурсів на 21,4% ефективніше.

2. Розроблено модель оцінки ефективності процедур наближеного рішення задач планування розподілу завдань у кластерах ТКС методом рангового підходу на основі симетричних графів, 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 погрішність рішення.

3. Побудовано модель рішення ЗП на основі методу рангового підходу для симетричного графа, на якій досліджені розроблені точна й наближені процедури планування розподілу ІРЗ у кластері та показано, що розроблені процедури мають внутрішній паралелізм, що дозволяє при використанні багатопроцесорної системи істотно підвищити оперативність розподілу завдань (підтверджено довідкою про участь у НДР, ДР №0107U007559).

4. Сформульовано практичні рекомендації з інтеграції й ефективного використання розробленого методу оперативного планування, а також створених на його основі процедур розподілу ІРЗ та програмного забезпечення в структуру СПО кластерів ТКС на основі *Grid* - технології, що дозволяє з високою оперативністю ( $P(T) > 0,9$ ) адаптивно розподіляти конкуруючі потоки ІРЗ, враховуючи їхню важливість (вартість) та стан обчислювальних ресурсів

кластера. При цьому, у порівнянні з відомими методами, задача планування може мати в 2,3 рази більшу розмірність, а припустимий час рішення бути скорочений у 30 разів (підтверджено актом впровадження ЗАТ «Інститут Харківський Промтранспроєкт»).

5. Отримані в дисертації практичні результати використані при створенні моделі планувальника завдань СПО кластера ТКС на основі *Grid* – технології, а розроблені процедури паралельного розподілу інформаційних завдань використані в моделі супервізора комп'ютерного кластера для підсистеми управління цифрової мережі електрозв'язку (підтверджено довідкою про участь у НДР, ДР №0107U007559).

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

**Особистий внесок здобувача.** Усі викладені в дисертаційній роботі результати отримані автором самостійно. В статтях, що виконані у співавторстві здобувачу належить: у роботі [1] метод оперативного розподілу завдань у кластерах ТКС на основі *Grid* – технології із застосуванням рангового підходу для симетричних графів; на основі цього методу здобувачем побудована модель, на якій досліджено ефективність створених процедур наближеного рішення задачі дискретного планування у кластері ТКС; у роботі [2] здобувачем розроблено модель оперативного розподілу завдань у кластері телекомунікаційної *Grid* системи, що забезпечує живучість функціонування кластера ТКС в умовах роздільного використання обчислювальних ресурсів та при їхній відмові; у роботі [5] в результаті проведеного здобувачем аналізу напрямків удосконалення ТКС показано необхідність використання технології *Grid* та комп'ютерних кластерів, а також обґрунтовано застосування критеріїв функціонування комп'ютерного кластера телекомунікаційної *Grid* системи.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень були висвітлені та одержали схвалення на п'яти науково-практичних конференціях: 20-

й Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные системы контроля и управления на железнодорожном транспорте» (м. Алушта, Крим, жовтень 2007 р.) [6]; Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (м. Дніпропетровськ, травень 2008 р.); 2-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (м. Гомель, Білорусь, жовтень 2008) [7]; 21-й Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины» (м. Алушта, Крим, вересень 2008 р.) [8]; 22-й Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины» (м. Алушта, Крим, вересень 2009 р.) [9].

**Публікації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи викладено у 9 наукових працях, які опубліковані у спеціалізованих наукових виданнях, що включені до переліку ВАК України, серед них: 5 статей у журналах та збірниках наукових праць, 4 матеріали доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

**Структура дисертації.** Загальний обсяг дисертації становить 149 сторінок. Робота складається із вступу, 4 розділів основної частини, загальних висновків містить 33 рисунки та 9 таблиць. Список використаних джерел містить 96 найменувань, є 5 додатків.

У першому розділі розглянуто основні положення щодо структури та принципів побудови сучасних та перспективних ТКС, виконано аналіз тенденції розвитку та можливості удосконалювання систем управління цифровими мережами електров'язку шляхом застосування комп'ютерних кластерів та *Grid*-технології. Проведений аналіз особливостей роботи кластерів у телекомунікаційних *Grid* системах та визначені показники ефективності їх-

нього функціонування. Обґрунтовано вибір мети дисертаційної роботи, виконана постановка задачі дослідження.

У другому розділі проведено удосконалення заснованого на ідеї рангового підходу методу дискретного математичного програмування, розроблено метод оперативного розподілу інформаційних завдань у кластері ТКС, що забезпечує живучість планувальника в умовах конкурування двох вхідних потоків даних. Побудовані процедури оперативного розподілу завдань із використанням стратегії пошуку оптимального рішення для симетричних графів. Виконано експериментальне дослідження розроблених процедур, аналіз результатів якого викладено у висновках до другого розділу.

У третьому розділі приведено розроблені на основі ідеї рангового підходу для симетричного графа процедури паралельного розподілу завдань та рішення ЗП, що покладена в основу моделі супервізора СПО кластера ТКС. Проведено експериментальне дослідження паралельних процедур рішення ЗП, зроблено висновки до третього розділу.

У четвертому розділі розроблено та досліджено за основними показниками ефективності програмну модель функціонування кластера ТКС на основі *Grid*-технології в умовах існування двох конкуруючих потоків завдань та розділення обчислювальних ресурсів кластера. Надані рекомендації щодо можливості інтеграції розробленого методу та програмного забезпечення моделей у структуру СПО кластерів, зроблено висновки до четвертого розділу.