

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

АЛНАЕРІ ФРХАТ АЛІ



УДК 621.39:004.052-021.412.1(043.3)

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ РЕКОНФІГУРАЦІЇ
САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ
МЕРЕЖІ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, доцент
Шефер Олександр Віталійович,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,
завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Пустовойтов Павло Євгенович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри систем інформації;

кандидат технічних наук, доцент
Жученко Олександр Сергійович,
Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри транспортного зв'язку.

Захист відбудеться «24» вересня 2021 року о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «16» серпня 2021 року.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради



Карина ТРУБЧАНІНОВА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Одним із основних трендів сучасного світу є бурхливий розвиток інфокомунікаційних технологій. На сьогодні кількість інформації, яка передається усіма засобами зв'язку, подвоюється кожні 2 – 3 роки. Головні драйвери цього процесу – стрімкий технологічний прорив та попит користувачів на інфокомунікаційні послуги. У міру того, як сучасні програмні системи і застосунки набувають універсальності і функціональності, стає все більш необхідною можливість управляти несумісними ресурсами і обслуговувати різноманітні вимоги користувача. Крім того, у міру ускладнення систем виправлення системних збоїв і відновлення після шкідливих атак стають більш складними, трудомісткими, дорогими і схильними до помилок. Ці чинники активізували дослідження, що стосуються концепції систем самовідновлення (ShS).

Забезпечуючи раннє виявлення системних збоїв і відновлення системи або її складових, системи самовідновлення можуть значно знизити середній час відновлення. На додаток до відчутних переваг, впровадження систем самовідновлення може позитивно вплинути на низку нематеріальних аспектів, таких як задоволеність клієнтів і співробітників. Скорочення часу простою системи означає, що підприємства можуть більше зосередитися на своєму реальному бізнесі, ніж на управлінні ІТ-завданнями, що, в свою чергу, підвищує узгодженість надання послуг. Це також є суттєвим у сучасному технологічно орієнтованому світі.

Однак за наявності всіх позитивних тенденцій ShS припускають надмірність Software and Hardware. Крім того, система моніторингу вимагає незначних, але постійних витрат обчислювального ресурсу. Це призводить до зниження показників QoS. Тому необхідні нові моделі й методи обробки даних, орієнтовані на специфіку ShS.

Питаннями підвищення показників QoS в останні десятиліття активно займалися багато як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Важливі результати в цьому напрямі отримали P. Dustdar, D. Fiems, H. Honnappa, A. Gomez-Corral, L. Liang, L. Peterson, J. Sánchez, C. Schneider, A. Tanenbaum, Z. Yu, A. I. Аветісян, Л. Н. Беркман, Ю. П. Зайченко, А. А. Коваленко, Ю. І. Лосев, О. В. Лемешко та інші, але в більшості робіт не враховуються особливості систем самовідновлення, зокрема, особливості щодо як виявлення системних збоїв, так і оперативного відновлення нормального функціонування системи без втручання людини. Також практично не приділено уваги питанням, пов'язаним із дотриманням вимог QoS у автономних сегментах телекомунікаційних мереж, котрі мають властивість самовідновлення. Серед багатьох завдань, що при цьому виникають, є і актуальне науково-прикладне завдання розроблення моделей та методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі з метою підвищення ефективності розподілу обчислювальних ресурсів для виконання

вимог щодо якості обслуговування, тобто тема дисертаційної роботи є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження в дисертаційній роботі проводилися згідно з такими нормативними актами:

1. Концепція Національної програми інформатизації, що схвалена Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого 1998 р., №75/98-ВР (із змінами, внесеними згідно із Законом № 406-ВІІ(406-18) від 04.07.2013).

2. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні, що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 червня 2006 р., № 316-р (із змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМ № 1612-р (1612-2008-р) від 27.12.2008 р.).

3. Постанова про затвердження Правил надання та отримання телекомунікаційних сервісів від 11 квітня 2012 р. № 295 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 14 від 15.01.2020 р.).

4. Стратегія сталого розвитку «Україна – 2020», що схвалена Указом Президента України від 12 січня 2015 р. № 5/2015.226.

Тема дисертаційної роботи пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, наведеними в «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 р. № 942 (із змінами, внесеними Постановою КМ № 556 від 23 серпня 2016 р.).

Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводилися згідно з планами НДР, які виконувалися на кафедрі автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Автор був безпосереднім виконавцем НДР «Розробка та дослідження моделей, методів, комп'ютерних систем і компонентів швидкої обробки даних на основі застосування непозиційної системи числення у системі залишкових класів» (ДР № 0115U002419).

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі для виконання вимог щодо якості обслуговування.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі наукові завдання досліджень:

- 1) аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку методів розподілу обчислювальних ресурсів у самовідновлювальних мережах та їх компонентах;
- 2) вибір і обґрунтування критерію оцінки якості розподілу ресурсів у самовідновлювальних мережах та їх компонентах;
- 3) розроблення комплексу моделей топологічної структури самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі;
- 4) удосконалення комплексу методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі;

5) подальший розвиток методу перерозподілу ресурсів самовідновлювального сегмента при пульсуючому характері трафіка;

6) проведення порівняльної оцінки розроблених та існуючих моделей і методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі;

7) упровадження розроблених моделей та методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі.

Об'єктом дослідження є процес розподілу обчислювальних ресурсів сегмента телекомунікаційної мережі, що самовідновлюється.

Предмет дослідження – моделі та методи реконфігурації автономних сегментів телекомунікаційних мереж.

Методи дослідження. При розв'язанні науково-прикладного завдання було використано широкий спектр методів. Так, при розробленні математичної моделі топологічної структури самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі використовувався теоретико-множинний підхід, методи теорії масового обслуговування, дискретної оптимізації та дослідження операцій. При розробленні методів реконфігурації структури та перерозподілу ресурсів використовувалися методи теорії складних систем, методи функціонального аналізу. Оцінювання даних, отриманих у ході комп'ютерного моделювання, проводилося на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів обумовлена розробленими моделями та методами реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, у межах яких одержані такі нові наукові результати:

вперше розроблений комплекс моделей топологічної структури самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, який враховує особливості самовідновлювальних мережних компонент і базується на використанні модифікованого метода Туега-Стейгліца, що дозволяє виконати вимоги QoS щодо надійності та реалізувати процес нарощування структури при нестачі обчислювальних ресурсів;

удосконалений комплекс методів реконфігурації сегмента телекомунікаційної мережі, який відрізняється від відомих сумісним використанням властивостей локальної самовідновлюваності та горизонтальної масштабованості, що дозволяє виконати вимоги QoS щодо середнього часу затримки повідомлень;

отримав подальший розвиток метод перерозподілу ресурсів автономного самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при пульсуючому характері трафіка за рахунок використання спектральних властивостей процесу передачі даних, що дозволяє уникнути втрат пакетів при перевантаженні каналів зв'язку.

Достовірність нових наукових положень і висновків дисертаційної роботи підтверджується:

- збіжністю результатів моделювання, отриманих при програмній реалізації розроблених моделей та методів із теоретичними і практичними результатами, відображеними в публікаціях;
- зведенням розроблених моделей до відомих та апробованих моделей при граничних значеннях параметрів, які було враховано при їх розробленні;
- обґрунтованістю припущень, зроблених при розробленні моделей і методів, виходячи з досвіду експлуатації самовідновлювальних сегментів телекомунікаційної мережі;
- результатами практичного впровадження моделей та методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному: розроблені у роботі моделі, а також розвинуті й удосконалені методи є науково-практичною основою для подальшого удосконалення програмного забезпечення телекомунікаційних мереж із можливістю самовідновлення. Представлені на їх основі інженерні методи та алгоритми дають змогу:

- при розробленні проектної документації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі враховувати вимоги до його ступеня надійності за рахунок використання математичної моделі топологічної структури;
- проводити розрахунок характеристик апаратних складових автономного самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при проведенні реконфігурації та горизонтального масштабування з використанням запропонованого комплексу методів, що дозволяє виконати вимоги QoS щодо середнього часу затримки повідомлень та зменшити його у порівнянні з існуючими методами у середньому до 8%;
- уникнути втрат пакетів при перевантаженні каналів зв'язку та зменшити ймовірність спотворення повідомлень при перерозподілі ресурсів самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі на 5%;
- визначити ширину смуги пропускання самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі та отримати відносне зниження вартості реконфігурації (до 3%) за рахунок використання процесів обміну обсягу буферної пам'яті на каналну ємність мережі.

Результати дисертації впроваджено:

- на Державному підприємстві «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості» (м. Харків);
- на Державному підприємстві «Український державний інститут по проектуванню заводів важкого машинобудування» (м. Харків);
- у навчальному процесі Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» під час викладання дисциплін «Телекомунікаційні та інформаційні мережі», «Системи передачі даних», «Автоматизовані системи управління телекомунікацій».

Особистий внесок здобувача. Усі результати, викладені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. Роботу [6] опубліковано без співавторів. У роботах, виконаних у співавторстві, особисто здобувачеві

належать такі наукові результати: у статті [1] розроблено математичну модель топологічної структури повнозв'язної мережі; у статті [2] розроблено модель формування вторинної мережі зв'язку локального сегмента на основі існуючої первинної регулярної мережі; у статті [3] удосконалено метод розрахунку ступеня завантаженості каналу; у статті [4] удосконалено метод розрахунку кількості буферних елементів черги самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при обмежених мережних ресурсах шляхом визначення мінімально необхідної кількості місць; у статті [5] розроблено метод оптимізації самовідновлювальної ланки телекомунікаційної мережі й забезпечено можливість отримання аналітичного рішення наукової задачі, котру можливо технічно реалізувати; у роботі [7] – метод формування з повнозв'язної структури регулярної структури з заданою зв'язністю; у роботі [8] – модель розподілу навантаження інформаційних вузлів математичного апарату; у роботі [9] – структуру сегмента телекомунікаційної мережі в реальних умовах її експлуатації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень доповідались, обговорювались і були схвалені на міжнародних науково-технічних конференціях (НТК): VI та VII Міжнародній НТК «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (м. Харків, Україна, м. Баку, Азербайджан, 2016 р., 2017 р., відповідно); VI Всеукраїнській науково-практичній конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика» (м. Полтава, 2020 р.); XVI Міжнародній НТК «Проблеми інформатизації» (м. Київ, 2020 р.).

Публікації. Результати наукових досліджень відображено у 9 друкованих працях, зокрема 5 статтях у наукових фахових виданнях (з них 4 – у наукових фахових виданнях України, 1 стаття – у періодичному науковому виданні Європейського Союзу), 4 публікації – в матеріалах міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків по дисертації, списку використаної літератури та додатків. Повний обсяг дисертації складає 151 сторінку, у тому числі: 119 сторінок основного тексту, бібліографія із 129 найменувань на 13 сторінках, 4 додатки на 14 сторінках. Дисертація написана українською мовою.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Вступ дисертаційної роботи містить: обґрунтування актуальності теми дослідження, інформацію про зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, мету роботи та задачі досліджень, формулювання об'єкта, предмета та методів дослідження. Подано перелік результатів дисертаційного дослідження, які становлять наукову новизну, зазначено практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача. Наведено дані щодо реалізації, апробації та публікації наукових і практичних результатів дисертації та їх впровадження.

У першому розділі розглянуто перше та друге завдання дослідження: проведено аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку методів розподілу обчислювальних ресурсів у самовідновлювальних мережах та їх компонентах; вибрано й обґрунтовано критерій оцінювання якості розподілу ресурсів у самовідновлювальних мережах та їх компонентах.

Визначені особливості функціонування та низка властивостей, якими можуть володіти самовідновлювальні системи, розглянуті питання підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів телекомунікаційних мереж та виділені принципи реконфігурації автономних самовідновлювальних сегментів телекомунікаційних мереж. Показано, що основним завданням залишається ефективне використання вузлових і каналних ресурсів сегмента при забезпеченні необхідної якості обслуговування користувачів. Його вирішення вимагає, в першу чергу, розробки математичної моделі топологічної структури сегмента і математичних методів оцінки ефективності використання ресурсів. Застосовувані методи вирішення цієї проблеми (методи заміни) засновані на евристичних міркуваннях, що не гарантують отримання оптимальної структури мережі і не враховують вимоги до якості обслуговування, або вирішуються на каналному рівні, а не на мережному, що суперечить принципам функціонування мережі.

Сформульовано й обґрунтовано основні принципи реконфігурації, що використовуються як основа для математичного моделювання структурно-мережних параметрів самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі:

- 1) реконфігурований сегмент повинен мати максимальну, при заданих обмеженнях, інформаційну ємність і зв'язність;
- 2) топологічна структура повинна бути ізотропною;
- 3) сегмент повинен використовувати мінімальну кількість буферних елементів черг, але достатній для оптимального узгодження параметрів трафіка з параметрами каналів.

Сформульовані принципи покладено в основу математичної постановки завдання оптимальної реконфігурації: розроблення такої структури S_t при доступних ресурсах $D_{дост}$, виділених на її реконфігурацію, при якій виконується умова:

$$S_t : \bar{T}_{затр}^{\min}(W_m) = \min \bar{T}_{затр}(W_m), \forall D \leq D_{дост},$$

де $\bar{T}_{затр}(W_m)$ – середнє значення часу затримки; W_m – обсяг інформації, що оброблюється. Для виконання цієї умови сегмент повинен мати продуктивність, значення якої визначається шириною смуги пропускання каналів зв'язку.

У другому розділі розглянуто третє завдання дослідження та доведено перший науковий результат: розроблено та досліджено комплекс моделей топологічної структури самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі та наведені результати моделювання процесу нарощування структури

сегмента при нестачі обчислювальних ресурсів. Для вирішення завдання побудови топологічної структури самовідновлювального сегмента необхідно знати кількість вузлів комутації, місця їх розташування, матрицю тяжіння між ними, а також вимоги до альтернативних маршрутів передачі даних при виникненні локальних відмов. Отримана локальна підмережа повинна обслуговувати потоки, що задаються матрицею тяжіння, а також мати мінімальну вартість, що складається з вартості каналів і вузлів комутації. На проектувану підмережу також накладаються обмеження щодо часу передачі даних, надійності, живучості, ємності вузлових і каналних ресурсів, а також умови щодо використання вже існуючих фрагментів автономного сегмента. Дана постановка завдання дозволяє отримати модель статичного розподілу потоків у автономному мережному сегменті, що реконфігурується, яка може бути покладена в основу статичних алгоритмів маршрутизації повідомлень.

На початковому етапі моделювання зобразимо топологічну структуру самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі у вигляді повнозв'язного графа G , що складається з k вузлів, два з котрих виділімо як джерело S і приймач t (рис. 1), а з інших $k-2$ вузлів виділімо множину транзитних вузлів B потужністю $\beta \leq k-2$.

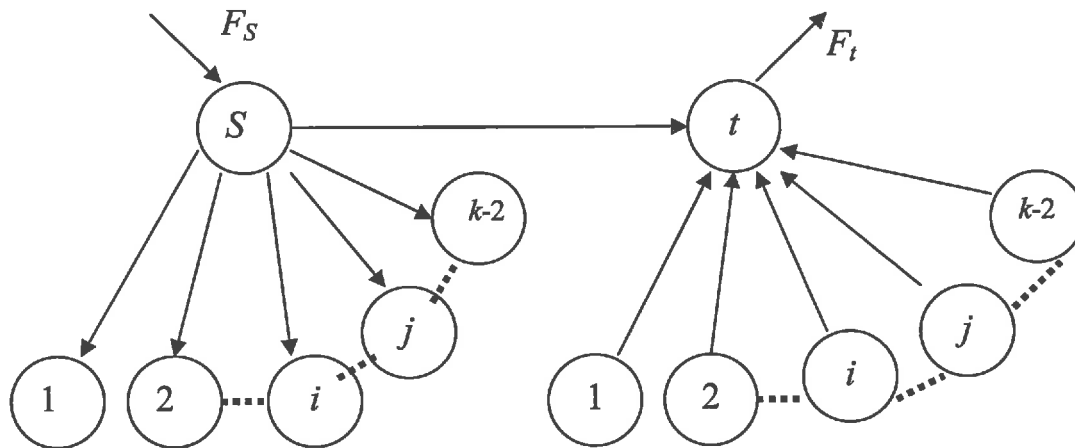


Рис. 1. Фрагмент топологічної структури

Якщо для розподілу γ підмножину всіх подорожніх потоків у довільній гілці (i, j) (для повнозв'язного графа – це ребро між довільно обраними вершинами i та j) позначимо як $\Gamma_{i,j}^{(\gamma)} \subset B$, то загальний потік F_{ij} , що проходить цією гілкою, дорівнює сумі всіх подорожніх потоків X_p , тобто

$$F_{ij} = \sum_{p \in \Gamma_{i,j}^{(\gamma)}} X_p, \quad i, j \in \overline{1, k}. \quad (1)$$

При цьому формування топологічної структури самовідновлювального сегмента мережі здійснюється в три етапи.

На першому етапі запропонована математична модель розподілу подорожніх потоків між кореспондуючими вузлами повнозв'язного сегмента.

Завдання розподілу подорожніх потоків X_p між парою кореспондуючих абонентів на вузлах S і t вирішується модифікованим симплекс-методом, при цьому максимальна кількість транзитних вузлів у поточному потоці не перевищує $\ell_{\max} \leq \beta$, тобто кількість потоків, які можуть бути задіяні для зв'язку розглянутих вузлів, визначається подвійним числом розміщень і складає

$$N_p(\ell_{\max}) = 1 + 2 \sum_{z=1}^{\ell_{\max}} A_{\beta}^z. \quad (2)$$

Для будь-якої пари кореспондуючих абонентів на вузлах S і t можна записати систему обмежень, що включають β транзитних вузлів, які виражають базисні змінні через вільні. З огляду на велику кількість подорожніх потоків та на необхідність для кожного потоку мати дубльований потік з іншою множиною транзитних вузлів, обмежимо передачу інформації тільки за маршрутами, що містять не більше двох транзитних вузлів. Тоді загальна кількість задіяних потоків є такою:

$$N_p(2) = 1 + 2(A_{\beta}^1 + A_{\beta}^2) = 1 + 2\beta + 2\beta \cdot (\beta - 1)/2 = 1 + 2\beta + \beta \cdot (\beta - 1),$$

а система обмежень (1) може бути представлена у такому вигляді:

$$\begin{cases} F_{si} = \sum_{j=1}^{\beta} X_{(i-1)\beta+j}; & i, j = \overline{1, \beta}; j > i; \\ F_{it} = \sum_{j=1}^{\beta} X_{[(j-1)\beta+i]}; \\ F_{ij} = X_{(i-1)\beta+j} - X_{(j-1)\beta+i}; \\ F_{st} = X_0, \end{cases} \quad (3)$$

де X_0 – загальний потік між заданими кореспондуючими вершинами, а із загальної кількості лінійних рівнянь є тільки β незалежних і відповідно стільки ж незалежних змінних, тобто інші є вільними.

Отже, можна виразити базисні змінні через вільні таким чином:

$$\begin{cases} X_{[(i-1)\beta+j]} = F_{i,j} + X_{[(j-1)\beta+i]}; \\ X_{[(i-1)\beta+i]} = F_{s,i} - \sum_{j=i+1}^{\beta} F_{i,j} - \left(\sum_{j=1}^{i-1} X_{[(i-1)\beta+j]} - \sum_{j=i+1}^{\beta} X_{[(j-1)\beta+i]} \right); & i, j = \overline{1, \beta}; j > i; \\ X_0 = F_{s,t}. \end{cases} \quad (4)$$

Результат розв'язання задачі (1) – (2) залежить від вибору цільової функції $L(x)$, вигляд якої визначається конкретними умовами загальної задачі проведення реконфігурації сегмента.

Якщо, наприклад, обмежитися умовою, що більшість інформації від вузла S до t передається по маршрутах, які містять не більше одного транзитного вузла, то

$$\begin{aligned} L(X) &= X_0 + \sum_{i=1}^{\beta} X_{[(i-1)\beta+i]} = \\ &= X_0 + \sum_{i=1}^{\beta} F_{si} - \sum_{i=1}^{\beta} \sum_{j=i+1}^{\beta} F_{ij} - \sum_{i=1}^{\beta} \left(\sum_{j=1}^{i-1} X_{[(i-1)\beta+j]} - \sum_{j=i+1}^{\beta} X_{[(j-1)\beta+i]} \right), \end{aligned}$$

а цільова функція для вирішення завдання оптимізації перетворюється до вигляду:

$$L^{\min}(x) = -L(x) = \sum_{i=1}^{\beta} \sum_{j=1}^{\beta} F_{ij} - F_0 - 2 \sum_{ij} (-X_{ij, \text{вільні}}) \rightarrow \min, \quad (5)$$

де

$$2 \sum_{ij} X_{ij, \text{вільні}} = \sum_{i=1}^{\beta} \left(\sum_{j=1}^{i-1} X_{[(i-1)\beta+j]} - \sum_{j=i+1}^{\beta} X_{[(j-1)\beta+i]} \right).$$

При виконанні умов

$$F_{si} - \sum_{j=i+1}^{\beta} F_{ij} > 0; \quad F_{ij} > 0, \quad (6)$$

завдання розподілу подорожніх потоків має хоча б одне допустиме рішення, а враховуючи те, що всі подорожні потоки орієнтовані в напрямку від S до t , знаходиться оптимальне рішення, при якому прирівнюються до нуля всі вільні змінні ($X_{ij, \text{вільні}} = 0$):

$$\begin{cases} X_{[(i-1)\beta+i]}^* = F_{si} - \sum_{j=i+1}^{\beta} F_{ij}; \\ X_{[(i-1)\beta+j]}^* = F_{ij}, \end{cases} \quad (7)$$

а цільова функція приймає такого вигляду:

$$L^{\min}(X) = \sum_{i=1}^{\beta} \sum_{j=1}^{\beta} F_{ij} - F_0.$$

Для отримання повної картини розподілу потоків в автономному сегменті мережі, що розглядається, необхідно аналогічне завдання вирішити для кожної пари виділених вузлів зі своїми початковими потоками F_0^k . Отримані значення F_{ij}^{kl} для кожного варіанта рішення задачі повинні бути підсумовані по всіх

варіантах рішення і розглядатися як результуючі навантаження на відповідну лінію зв'язку.

Якщо при цьому початкові потоки F_0^k генеруються кожним вузлом k , а не надходять ззовні, то їх значення повинні відповідати матриці тяжіння $\|\lambda_{ij}\|$, елементи якої, як правило, задаються в якості вихідних даних.

На другому етапі здійснюється перехід до регулярної структури графа сегмента мережі, що має зв'язність, не нижчу від заданої. При цьому слід враховувати, що для кожного подорожнього потоку існує альтернативний маршрут передачі даних, що містить один або два інших транзитних вузли.

Рівняння (1) методом упорядкованого винятку гілок перетворюються в регулярну структуру із заданою зв'язністю і задовольняють вимогу щодо надійності. Так, при виключенні зв'язків між усіма вузлами, що утворюють зовнішній гамільтонів цикл, зв'язність графа зменшується на дві одиниці. Рівняння (3) спростяться, тому що частина змінних X_j буде дорівнювати нулю.

На третьому етапі пропонується математична модель оптимальної топологічної структури. За допомогою запропонованого модифікованого методу Туега-Стейгліца вирішується завдання винятку гілок тих напрямків передачі, прокладка яких не може бути здійснена.

В якості критерію оптимізації обирається середній час затримки $\bar{T}_{затр}$, що визначається формулою Літтла:

$$\bar{T}_{затр} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i,j=1}^k N_{i,j}, \quad (8)$$

де γ – загальний трафік сегмента; $N_{i,j}$ – кількість повідомлень на вході гілки (i, j) .

Як обмеження використовуємо сумарну умовну вартість усіх гілок

$$D = \sum_{i,j} z_{i,j} (a_{i,j} + b_{i,j} F_{i,j}) \leq D_{номр}, \quad (9)$$

де $z_{i,j}$ – булева змінна, що визначає, завантажена ($z_{i,j} = 1$) чи ні ($z_{i,j} = 0$) гілка (i, j) , а $a_{i,j}, b_{i,j}$ – коефіцієнти пропорційності.

Запропонований метод дає можливість отримати оптимальні потоки в гілках

$$F_{i,j}^* = V_{i,j} + d \sqrt{V_{i,j}}, \quad (10)$$

$$\text{де } d = \left(D_{номр} - \sum_{i,j=1}^k (z_{i,j} a_{i,j} + b_{i,j} V_{i,j}) \right) / \left(\sqrt{b_{i,j}} \sum_{i,j=1}^k \sqrt{b_{i,j} V_{i,j}} \right).$$

Запропонований метод формування оптимальної топологічної структури за критерієм мінімізації середнього часу затримки при розробці відповідної моделі дозволяє встановити залежність ширини смуги пропускання гілок від навантаження і врахувати показник якості – середній час затримки. Отриманий регулярний граф є початковою структурою в роботі процедури. Надалі робота алгоритму Туега-Стейгліца не змінюється, і пошук допустимих Х-трансформацій здійснюється в тій же послідовності, поки не буде знайдена локально-оптимальна структура мережі. Поєднання умов (1) і (10) дозволяє шляхові потоки вважати наближеними до оптимальних, а отриманий статичний розподіл потоків розглядати як модель раціональної маршрутизації. Вимога до самовідновлювальності сегмента пред'являється у вигляді мінімально необхідного числа обхідних шляхів передачі інформації між кожною парою тяготиючих вузлів. Для задоволення вимоги масштабованості сегмента мережі, що розглядається, запропонована модель процесу нарощування структури при збільшенні розмірів мережі зв'язку на основі використання регулярних графів і отримання багаторівневої ієрархічної топологічної коміркової структури. Це звільняє канали нижчих рівнів від перенасичення транзитними потоками інформації шляхом використання їх для міжзонального обміну.

У третьому розділі розглянуто четверте та п'яте завдання дослідження й доведено другий і третій наукові результати: удосконалено та досліджено комплекс методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, а також набув подальшого розвитку метод перерозподілу ресурсів самовідновлювального сегмента при пульсуючому характері трафіка, розглянуті математичні методи дослідження можливостей підвищення ефективності використання ресурсів самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі шляхом цілеспрямованих перетворень трафіка з урахуванням впливу його статистичних і спектральних властивостей на параметри мережі. Для реконфігурації сегмента використані такі методи, що удосконалені за рахунок сумісного використання властивостей локальної самовідновлюваності та горизонтальної масштабованості: метод розрахунку мінімальної середньої затримки повідомлень; метод визначення ширини смуги пропускання; метод визначення згладжуючого впливу кількості буферних елементів черг на завантаження каналів.

Для визначення мінімальної середньої затримки повідомлень при реконфігурації самовідновлювального сегмента сформульовано оптимізаційну задачу із цільовою функцією мінімізації часу затримки при обмеженнях, що накладають вимоги як самовідновлення, так і якості обслуговування. Для її розв'язання використано метод невизначених множників Лагранжа. Отримані аналітичні вирази дозволили у випадку заданого значення вартості передачі інформаційної одиниці обрати необхідну кількість буферних елементів черги і оптимальне значення щільності інформаційного потоку, який забезпечує мінімум середньої затримки передачі повідомлень у самовідновлювальному сегменті телекомунікаційної мережі.

При розрахунку ширини смуги пропускання при обмежених обсягах буферної пам'яті в вузлах комутації сегмент мережі моделюється у вигляді системи масового обслуговування (СМО) типу $M/M/n$ з обмеженою чергою, на яку надходить пуассонівський потік заявок. Розглянемо кожний i -й із k вузлів сегмента як СМО, що має n_i каналів обслуговування, m_i місць у черзі на обслуговування та $\chi_i = \rho/n_i$ – ступінь завантаженості кожного з каналів обслуговування. Використання в якості опції умовної вартості ймовірності відмови в обслуговуванні $P_{\text{відм}} \leq P_{\text{відм}}^{\text{номп}}$, де

$$P_{\text{відм}}^{\text{номп}} = \frac{(n_i \chi_i)^{n_i + m_i}}{n_i! n_i^{m_i}} \left[\sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n_i \chi_i)^{n_i}}{n_i!} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi_i^\alpha \right]^{-1}, i = \overline{1, k} \quad (11)$$

дозволило значно спростити функціонал оптимізації (8):

$$\bar{T}_{\text{затр}} = \frac{1}{\gamma} \cdot \sum_{i=1}^k \left[P_{\text{відм}}^{\text{номп}} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \cdot \chi_i^{-(m_i - \alpha)} + n_i \cdot \chi_i (1 - P_{\text{відм}}^{\text{номп}}) \right] \quad (12)$$

і вирішити задачу безумовної оптимізації аналітично за складеним показником, що виражає ступінь завантаження каналів

$$\text{пр } \chi_i^{\text{опт}} = \frac{\lambda_i}{n_i \mu_i} = \frac{L \lambda_i}{n_i L \mu_i} = \frac{F_i}{V_i n_i}, \quad (13)$$

де L – фіксована довжина пакета; $F_i = L \cdot \lambda_i$ – сумарний потік на вході i -ої ланки; $V_i = L \cdot \mu_i$ – ширина смуги пропускання кожного з n_i каналів.

Оптимальні значення знаходяться з виразу

$$\frac{n_i!}{(n_i \chi_i)^n} \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^\alpha}{\alpha!} = \sum_{\alpha=1}^{m_i} \left[\frac{\alpha(m_i - \alpha)}{n_i} - \chi_i \right] \chi_i^{\alpha-1}, \quad i = \overline{1, k}. \quad (14)$$

Кожне із рівнянь системи (14) залежить тільки від однієї змінної χ_i та надає можливість окремо знайти прийнятне найкраще значення для ступеня завантаження каналу у кожному фрагменті самовідновлювального сегмента мережі, що розглядається. Однак всі рівняння є трансцендентними, тобто отримати точне аналітичне рішення не є можливим. Приблизний розв'язок рівнянь (14) можна отримати графічним методом (рис. 2), представивши їх у такому вигляді:

$$F_i(n, m, \chi) = \frac{n_i!}{(n_i \chi_i)^n} \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^\alpha}{\alpha!} - \sum_{\alpha=1}^{m_i} \left[\frac{\alpha(m_i - \alpha)}{n_i} - \chi_i \right] \chi_i^{\alpha-1} = 0, \quad i = \overline{1, k}.$$

Всі можливі оптимальні значення $\text{пр } \chi_i^{\text{опт}}$ на графіку знаходяться при перетині відповідних ліній з віссю χ . Бачимо існування трьох різних варіантів розв'язку, які залежать від співвідношення значень величин n і m . Коли функція

$F_i(n, m, \chi)$ знаходиться над віссю χ , тобто її не перетинає, в області допустимих рішень мінімальних значень функції не існує (наприклад, $n=14, m=10$). Якщо функція $F_i(n, m, \chi)$ є дотичною до горизонтальної осі, то є тільки один розв'язок. А у останньому, третьому випадку, маємо дві різних точки перетину. Однак при $\chi > 1$ (друга точка, більше значення) значення $\bar{T}_{затр}$ та $P_{відм}^{гран}$ швидко зростають, отже за умовами завдання прийнятним із двох отриманих є менше значення.

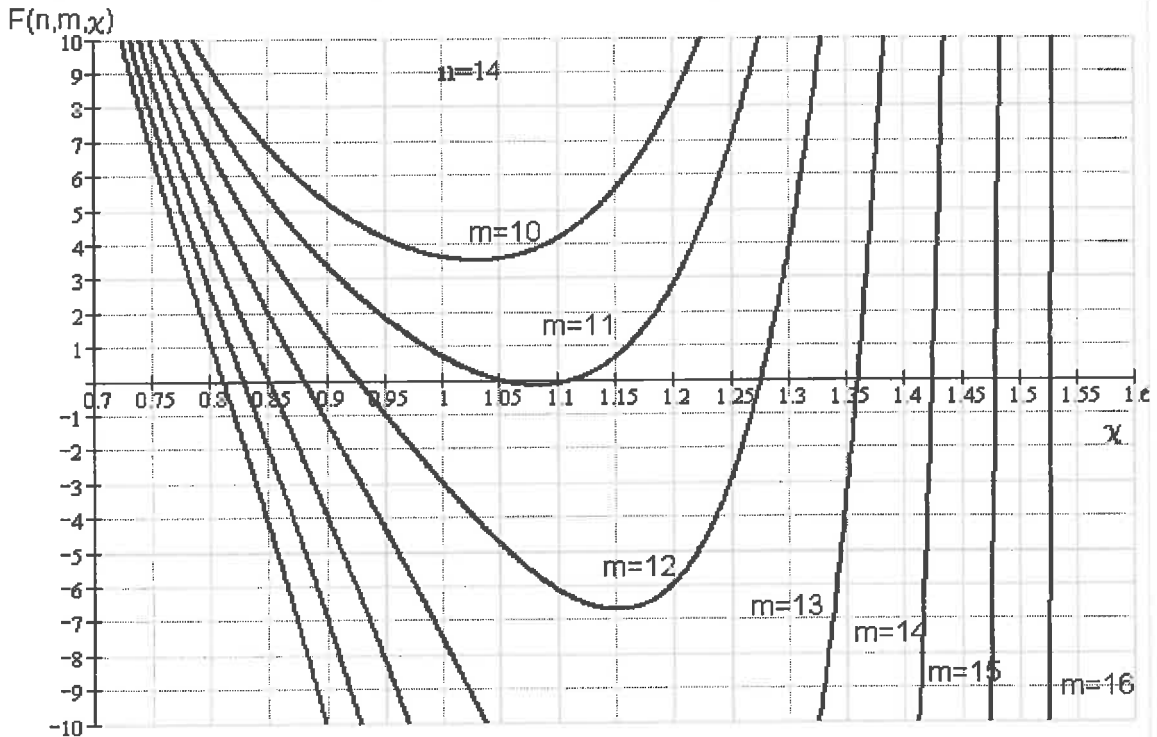


Рис. 2. Визначення ${}^{np} \chi_i^{opt}$ для самовідновлювального сегмента

Оптимізація по χ_i дозволяє варіювати величинами V_i в залежності від класу трафіка F_i , надаючи на вимогу користувача будь-яку сукупність каналів зі змінною шириною швидкостей передачі, формуючи кожного разу віртуальний канал зі змінною шириною смуги пропускання незалежно від необхідної $P_{відм}$, при цьому час доставки інформації залишатиметься мінімальним, що створює умови для здійснення процесів обміну обсягу буферної пам'яті на ширину смуги пропускання. Вибір в якості обмежуючої умови ймовірності відмови, що є об'єктивним показником, дає підставу для виконання вимог QoS.

У випадку нестачі обсягу пропускну здатності за рахунок наявності достатнього запасу обсягу пам'яті можна компенсувати недостатню ширину смуги бітових швидкостей передачі за умови дотримання часових вимог у сегменті мережі, які можуть порушуватися через додаткові затримки в буфері. Для цього був запропонований метод визначення згладжуючого впливу кількості буферних елементів черги на завантаження каналів самовідновлювального сегмента. Криві залежності ${}^{np} \chi_i^{opt} = \phi(V, F) = f(m, n)$

відповідно до виразів (13) і (14), побудовані на суміщених графіках рис. 3. Криві лінії на суміщених графіках рис. 3 показують, що збільшення поточної кількості буферів m на величину Δm еквівалентно збільшенню ширини смуги пропускання на ΔV . Наприклад, якщо поточну кількість буферів $m=18$ збільшити на $\Delta m=41$ при одній і тій же кількості каналів $n=10$, то для потоку $F=1014$ Ерл це буде еквівалентним збільшенню пропускної спроможності з 47 до 56 Мбіт/с. При цьому ступінь завантаження каналу χ зросте з 0,6 до 0,72. Таким чином, за рахунок наявності достатнього обсягу пам'яті можна компенсувати недостатню ширину смуги бітових швидкостей передачі за умови дотримання вимог часової прозорості сегмента мережі, які можуть порушуватися через додаткові затримки в буфері, обсяг якого не повинен порушувати оптимальності рішення.

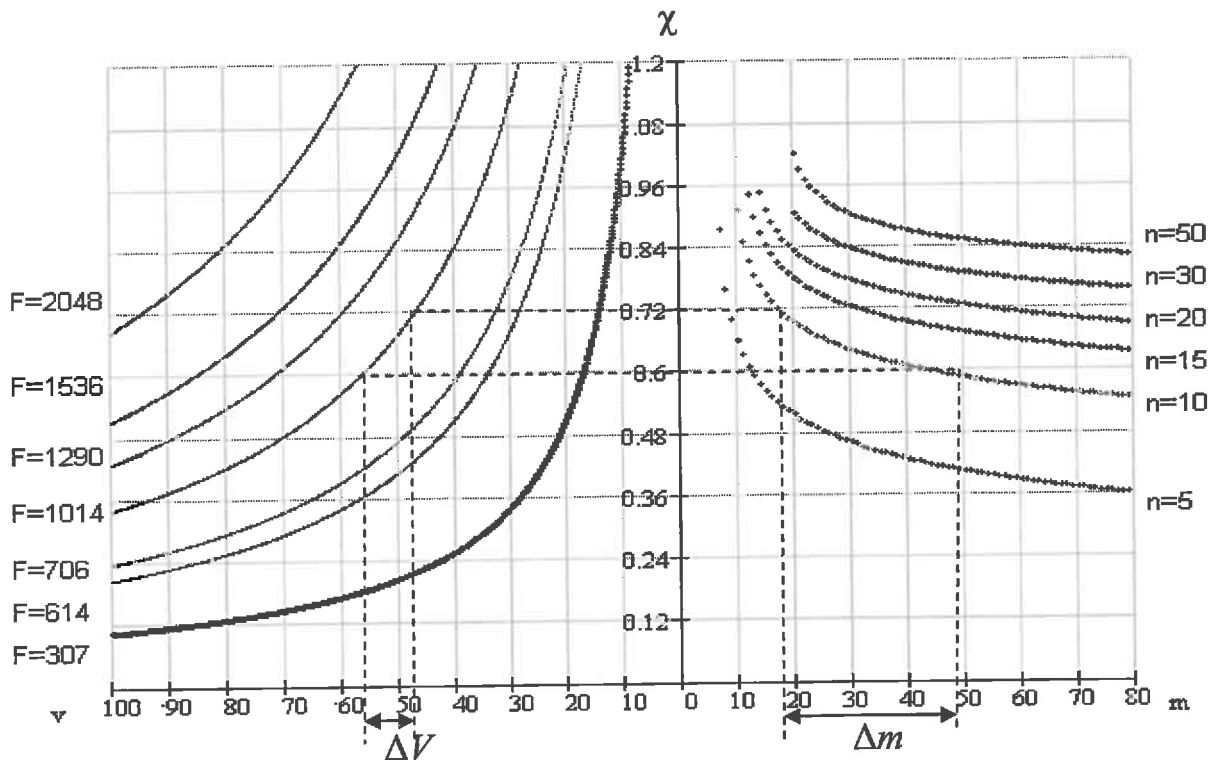


Рис. 3. Поєднані графіки залежності ступеня завантаження каналів від ширини смуги пропускання

У розділі 3 також досліджується зв'язок між спектральними властивостями трафіка і основними параметрами самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі. На основі теорії викидів випадкових процесів отримані основні розрахункові співвідношення для середньої кількості викидів в одиницю часу над рівнем C , що визначає доступну швидкість передачі інформації, середнє значення тривалості викиду $\tau_{сер}$ і площа викиду $S_{сер}$, з урахуванням ефективною смуги частотного спектра трафіка Δf_{eff} :

$$\tau_{сер} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\sigma}{C \cdot \Delta f_{eff}}; S_{сер} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot \tau_{сер}. \quad (15)$$

Якщо $S_{сер}$ ототожнити з необхідним об'ємом буферної пам'яті $S_{сер} = \bar{S}$, а $\tau_{сер}$ – із середнім часом піку $T_{пик_сер}$, то

$$\bar{S} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot T_{пик_сер} \quad (16)$$

Отримані співвідношення дозволяють оцінити припустимі межі часової та семантичної прозорості мережі, що призводить до ефективного використання ресурсів самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі.

У четвертому розділі розглянуто шосте завдання дослідження: проведено порівняльну оцінку розроблених та існуючих моделей і методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі. Запропонований алгоритм розрахунку значень основних показників реконфігурованого самовідновлювального сегмента. Згідно з даним алгоритмом розглянуті такі приклади на основі сегмента, що має шість вузлів комутації: проведення реконфігурації самовідновлювального сегмента з повною топологією зв'язків між комутаційними вузлами; проведення реконфігурації самовідновлювального сегмента з топологією, що має регулярну структуру заданої зв'язності; розрахунок значень основних показників, що характеризують QoS для реконфігурованого самовідновлювального сегмента. Також запропонований підхід до використання гібридної комутації у сегменті, що розглядається, та після цього на реконфігурованому сегменті була проведена порівняльна оцінка розроблених та існуючих моделей і методів.

На прикладі шестивузлового регулярного графа отримано такі результати:

- 1) план статичного розподілу потоків в мережі із зазначенням п'яти альтернативних маршрутів передачі інформації;
- 2) розподіл каналів автономного сегмента із самовідновлюванням (табл.) у вигляді матриці суміжності (основний інтерфейс організований на каналах H з використанням каналів типу D і B для передачі службової інформації);

Таблиця

Розподіл каналів

	S	1	2	3	4	t
S	-	0	31B+D	H12	H11	0
1		-	0	6B+D	6B+D	12B+D
2			-	0	14B+D	H11+H12
3				-	0	23B+D
4					-	0
t						-

3) розраховано основні якісні показники сегмента із самовідновлюванням (рис. 4, 5) з використанням реальних даних при проведенні відеоконференції.

4) визначено: середній час затримки $\bar{T}_{зад}^{\min} = 0,84\text{мс}$ для $\gamma = 28593$ Ерл; потрібне значення ймовірності відмови $P_{відм} = 1,7 \cdot 10^{-7}$, при коефіцієнті

завантаження каналів $\chi = 0.8$; кількість основних цифрових каналів $n = 30$; кількість буферних елементів черг $m = 50$;

5) розраховано допустимі значення джиттера затримки для трафіка реального часу (відео, аудіо) і показано, що реальний джиттер для зазначених служб не перевищує допустимих значень;

б) проведена оцінка вартості реконфігурації самовідновлювального сегмента і отримано відносне зниження її вартості (близько 3%) за рахунок використання процесів обміну обсягу буферної пам'яті на каналну ємність мережі.

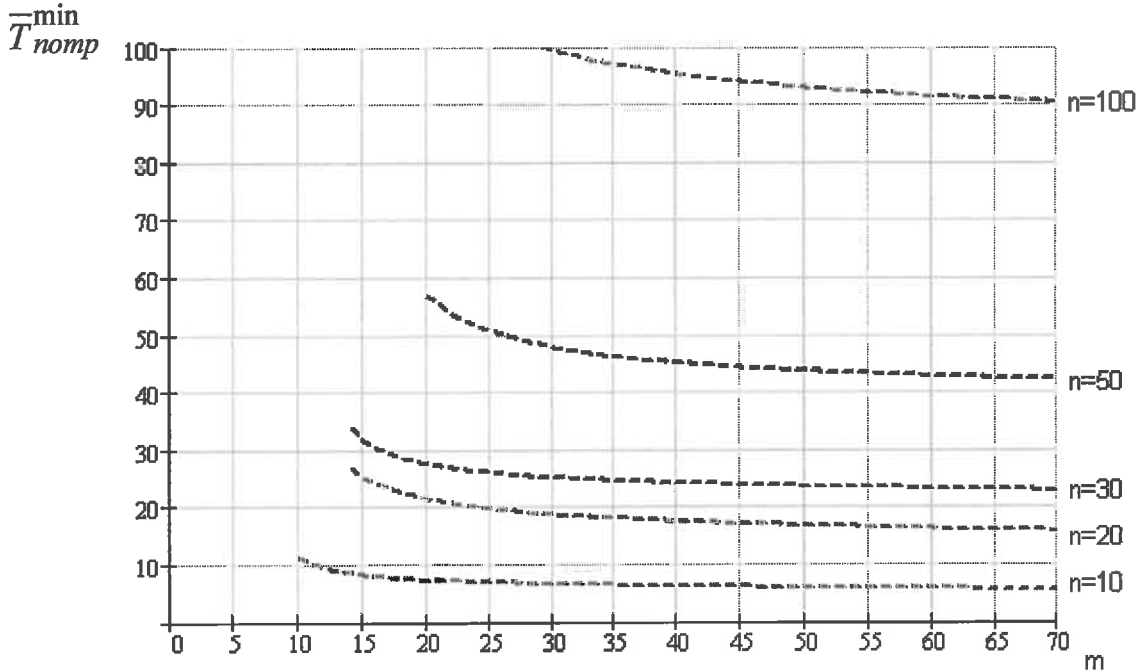


Рис. 4. Мінімальний середній час затримки

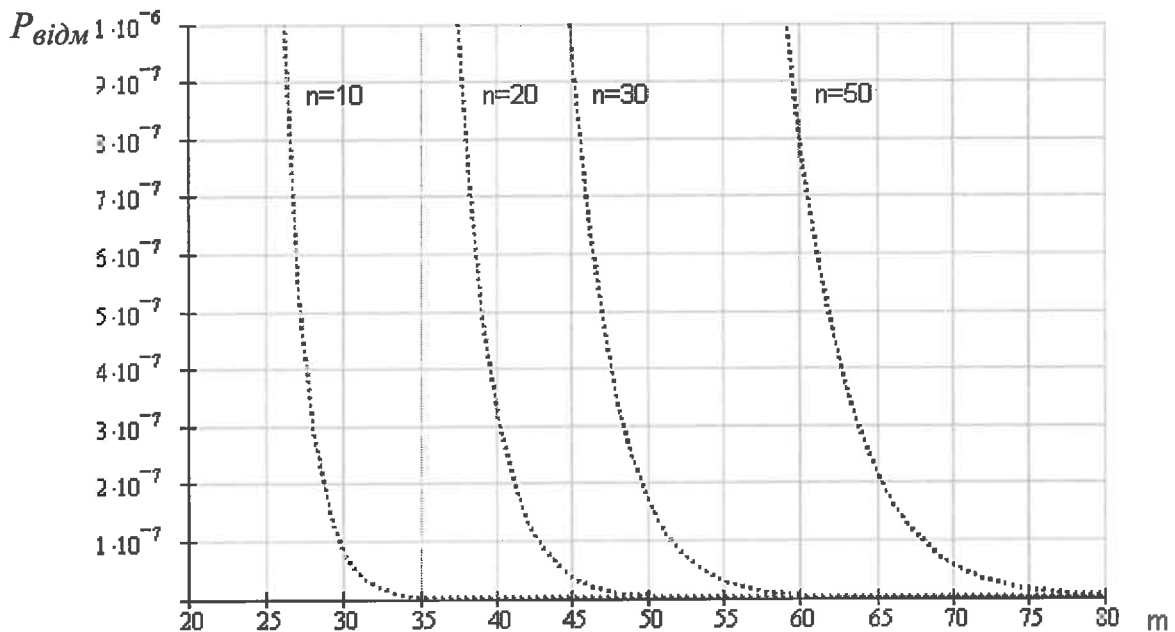


Рис. 5. Імовірність відмови

Базуючись на результатах попереднього розділу запропонований і обґрунтований метод гібридної комутації, що поєднує режими комутації з адаптивною перебудовою порогового значення L_p між режимами комутації в залежності від стану мережі. Розроблено варіант модульної структури, який реалізує запропонований метод. Порогове значення L_p визначається як:

$$L_p = L_{\text{крит}} \left(1 - \frac{m_z(t)}{m} \right) + \beta_1 \frac{dm_{\text{зайн}}(t)}{dt}, \quad (17)$$

де m – загальний обсяг пам'яті; $m_{\text{зайн}}(t)$ – поточне значення зайнятого об'єму пам'яті; β_1 – коефіцієнт пропорційності; $L_{\text{крит}}$ – критична довжина повідомлення з урахуванням завантаження мережі і допустимого значення ймовірності відмови $P_{\text{відм}}^{\text{нотр}}$, $L_{\text{крит}} = \frac{L}{\ln \rho} \ln \left(\frac{P_{\text{відм}}^{\text{нотр}}}{1 - \rho(1 - P_{\text{відм}}^{\text{нотр}})} \right)$.

Метод гібридної комутації забезпечує високу ефективність використання каналів зв'язку і збереження масштабу трафіка при передачі довгих повідомлень.

ВИСНОВКИ

Сукупність отриманих у дисертаційній роботі результатів вирішує актуальне науково-прикладне завдання, яке полягає в розробленні моделей та методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі з метою підвищення ефективності розподілу обчислювальних ресурсів для виконання вимог щодо якості обслуговування.

У дисертаційній роботі отримано такі наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку методів розподілу обчислювальних ресурсів у самовідновлювальних мережах та їх компонентах. Показано, що основним завданням залишається ефективне використання вузлових і каналних ресурсів сегмента при забезпеченні необхідної якості обслуговування користувачів. Його вирішення вимагає, в першу чергу, розроблення математичної моделі топологічної структури сегмента і методів підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів з урахуванням особливостей самовідновлення.

2. Обґрунтовано критерій оцінки якості розподілу ресурсів у самовідновлювальних мережах та їх компонентах. Для цього сформульовано й обґрунтовано основні принципи реконфігурації, що використовуються як основа для математичного моделювання структурно-мережних параметрів у таких мережах. Сформований критерій мінімізації середнього часу затримки дозволяє визначити потрібну продуктивність самовідновлювальної телекомунікаційної мережі або її складових, значення якої визначається, в першу чергу, пропускнуою здатністю засобів зв'язку.

3. Розроблено комплекс моделей топологічної структури самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, який, на відміну від існуючих, враховує особливості самовідновлювальних мережних компонент, дозволяє сформувати регулярну структуру сегмента заданої зв'язності та базується на використанні модифікованого метода Туега-Стейгліца. Це дозволяє виконати вимоги QoS щодо надійності та реалізувати процес нарощування структури при нестачі обчислювальних ресурсів.

4. Удосконалено комплекс методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, який складається із таких методів: розрахунку мінімальної середньої затримки повідомлень, визначення ширини смуги пропускання та згладжуючого впливу кількості буферних елементів черг на завантаження каналів. Даний комплекс відрізняється від відомих сумісним використанням властивостей локальної самовідновлюваності та горизонтальної масштабованості, що дозволяє виконати вимоги QoS щодо середнього часу затримки повідомлень та зменшити його у порівнянні з існуючими методами у середньому до 8%.

5. Розвинуто метод перерозподілу ресурсів самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при пульсуючому характері трафіка за рахунок використання спектральних властивостей процесу передачі даних, що дозволяє уникнути втрат пакетів при перевантаженні каналів зв'язку та зменшити ймовірність спотворення повідомлень на 5%.

6. Проведено порівняльну оцінку розроблених та існуючих моделей і методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, що дозволило показати ефективність роботи розроблених моделей та методів. Проведено оцінку вартості процесу реконфігурації й отримано її відносне зниження (близько 3%) за рахунок використання процесів обміну обсягу буферної пам'яті на каналну ємність мережі.

7. Практичні результати, які отримано, підтверджено актами впровадження та доводять коректність теоретичних положень дисертаційної роботи, високу ефективність розроблених моделей та методів; результати дисертаційної роботи впроваджено на Державному підприємстві «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості», на Державному підприємстві «Український державний інститут по проектуванню заводів важкого машинобудування» та у навчальному процесі Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Запропоновані моделі та методи реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі були застосовані при вдосконаленні існуючих телекомунікаційних мереж та в ході виконання науково-дослідних робіт у проектно-конструкторських та проектно-дослідних установах.

СПИСОК ОПУБЛКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України

1. Frhat Ali Alnaeri, Shefer O. V. Optimum flow distribution in the network with adaptive data transfer. *Electronics and Control Systems*. 2020. № 4(66). P. 45-50.

Здобувачеві належить розроблення математичної моделі топологічної структури повнозв'язної мережі.

2. Алнаері Фрхат Алі, Срібна І. М., Кучук Г. А., Лебедев О. Г. Синтез топологічної структури самовідновлюваного та масштабованого сегмента мережі передачі даних. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2020. № 4 (69). С. 95-106.

Здобувач розробив модель формування вторинної мережі зв'язку локального сегмента на основі існуючої первинної регулярної мережі.

3. Алнаері Фрхат Алі, Кучук Н. Г., Шефер О. В., Чернева Г. П. Визначення пропускних здатностей самовідновлювального сегмента мережі. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, № 2. С. 114-119.

Здобувачем удосконалено метод розрахунку ступеня завантаженості каналу телекомунікаційної мережі.

4. Алнаері Фрхат Алі, Коломійцев О. В., Петровська І. Ю. Метод розрахунку розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава: НУ «Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка», 2021. Випуск 2(64). С. 144-147.

Здобувач запропонував новий підхід щодо удосконалення методу розрахунку розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при обмежених мережних ресурсах, котрий реалізовано шляхом визначення мінімально необхідної кількості місць.

Стаття у періодичному науковому виданні Європейського Союзу

5. Alnaeri Frhat Ali, Oleksandr Shefer, Galina Cherneva, Self-recovering telecommunication network element topological structure optimization by cost criterion. *Mechanics, Transport, Communications*. The Republic of Bulgaria, Sofia: Todor Kableshkov University of Transport, article № 2071.

Здобувач розробив метод оптимізації самовідновлювальної ланки телекомунікаційної мережі, чим була забезпечена можливість отримання аналітичного рішення наукової задачі, котру можна технічно реалізувати.

Тези доповідей у збірниках наукових конференцій

6. Alnaeri Frhat Ali. Analytical solution of the problem of optimal distribution of flows. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: Тези доповідей Шостої міжнародної науково-технічної конференції, 9 – 10 квітня 2016 р.* С. 46.

Здобувачем розроблено мережеву модель, що має розширену потужність вузлів і ресурсів каналу, поєднує найнижчу можливу вартість каналів та комутаційних вузлів.

7. Алнаері Фрхат Алі, Шефер О. В. Метод побудови регулярної структури з заданою зв'язністю. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: Тези доповідей Сьомої міжнародної науково-технічної конференції*, 14 – 15 квітня 2017 р. С. 51.

Здобувач розробив метод формування структури мережі, що дозволяє провести перехід від повнозв'язної до регулярної структури графа мережі.

8. Алнаері Фрхат Алі, Шефер О. В., Головка Г. В., Лучко М. О., Чайка Є. А. Особливості початкової інформації для роботи з комп'ютерними мережами. *Електронні та мехатронні системи: теорія інновації, практика: Зб. наук. праць за матеріалами VI Всеукраїнської науково-практ. конф.*, 6 листопада 2020 р., Полтава: НУШ, 2020. С. 221-223.

Здобувач розробив модель розподілу навантаження інформаційних вузлів на основі сучасного математичного апарату.

9. Alnaeri Frhat Ali, Shefer O. Noise-immunity of the system with the non-stability of the frequency with the action of gausis noises. *Proceeding of the XVI International Scientific and Technical Conference*, 11-12.12.2020, Kyiv: NAU, 2020. P. 80.

Здобувач розробив структурну модель сегмента телекомунікаційної мережі в реальних умовах її експлуатації.

АНОТАЦІЯ

Алнаері Фрхат Алі. Моделі та методи реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Український державний університет залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертаційне дослідження присвячене розробленню моделей і методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, які дозволяють підвищити ефективність розподілу обчислювальних ресурсів сегмента для виконання вимог щодо якості обслуговування. Вперше розроблено математичну модель топологічної структури самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, яка дозволяє сформувати регулярну структуру сегмента заданої зв'язності, що дає змогу виконати вимоги QoS щодо надійності та реалізувати процес нарощування структури при нестачі обчислювальних ресурсів. Удосконалено комплекс методів реконфігурації сегмента телекомунікаційної мережі, який відрізняється від відомих сумісним використанням властивостей локальної самовідновлюваності та горизонтальної масштабованості, що дозволяє виконати вимоги QoS щодо середнього часу затримки повідомлень. Отримав подальший розвиток метод перерозподілу

ресурсів автономного самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при пульсуючому характері трафіка за рахунок використання спектральних властивостей процесу передачі даних, що дозволяє уникнути втрат пакетів при перевантаженні каналів зв'язку. Проведено порівняльну оцінку розроблених та існуючих моделей і методів реконфігурації самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, що дозволило показати ефективність роботи розроблених моделей та методів. Проведено оцінку вартості процесу реконфігурації й отримано її відносне зниження за рахунок використання процесів обміну об'єму буферної пам'яті на каналну ємність мережі.

Ключові слова: телекомунікаційна система, самовідновлення, автономний сегмент, якість обслуговування (QoS), перерозподіл ресурсів, пульсуючий трафік.

ABSTRACT

Alnaeri Frhat Ali. Reconfiguration self-healing system segment of the telecommunication network. – Qualifying scientific paper on the rights of the manuscript.

The dissertation submitted in fulfillment of the candidate of technical sciences degree on specialty 05.12.02 «Telecommunication systems and networks». – Ukrainian State University of Railway Transport of Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation research is devoted to the development of models and methods of reconfiguration of the self-healing segment of the telecommunication network, which enables to increase the efficiency of the allocation computing resources of the segment to meet the requirements for service quality. By providing early detection of system failures and recovery of the system or its components, self-healing systems can significantly reduce the average recovery time. However, with all the positive trends ShS assume redundancy Software and Hardware. In addition, the monitoring system requires a small but constant cost of computing resources. This leads to a decrease in QoS. Therefore, new models and methods of data processing focused on the specifics of ShS are needed. The object of research is the process of computing resources allocation of telecommunications network segment, which is self-covering. The subject of research is models and methods of synthesis of autonomous segments of telecommunication networks. The scientific novelty of the obtained results is due to the developed models and methods of reconfiguration of the self-healing segment of the telecommunication network, and within which new scientific results are obtained. For the first time, a mathematical model of the topological structure of the self-recovering segment of the telecommunications network was developed, which enables to form a regular structure of the segment of a given connectivity, which meets QoS requirements for reliability and implement the process of building structure in the absence of computing resources. An improved set of methods for reconfiguration of the telecommunications network segment, which differs from the known joint use of the properties of local self-healing and horizontal scalability, which helps to meet the QoS requirements for the average delay time of messages.

The method of resources redistribution the autonomous self-healing segment of the telecommunication network with pulsating nature of traffic due to spectral properties usage of the data transmission process has been further developed, which avoids packet loss when overloading communication channels. A comparative analysis of developed and existing models and methods for reconfiguration of the self-covering segment of the telecommunications network was investigated in the paper. For this purpose the plan of static distribution of flows in a network with indication of alternative routes of information transfer, distribution of channels of an autonomous segment with self-recovery is calculated, the basic qualitative indicators of a segment with self-healing are calculated and admissible values of jitter delay for real-time traffic are calculated. A comparative evaluation of the developed and existing models and methods of reconfiguration was carried out, which enabled to show developed models and methods efficiency. The cost of the reconfiguration process is estimated and a relative decrease in its cost is obtained due to processes usage of exchanging the amount of buffer memory for the channel capacity of the network. The proposed models and methods of reconfiguration of the self-healing segment of the telecommunications network in order to increase the efficiency of computing resources were used to improve existing telecommunications systems, and in the course of research in design and engineering institutions.

Keywords: telecommunication system, self-healing, autonomous segment, quality of service (QoS), resources redistribution, ripple traffic.

АЛНАЕРІ ФРХАТ АЛІ

УДК 621.39: 004.052-021.412.1(043.3)

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ РЕКОНФІГУРАЦІЇ
САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО СЕГМЕНТА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Поліграфічний центр
Національного університету «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»

36011, Полтава, проспект Першотравневий, 24

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції,

серія ДК, № 7019 від 19.12.2019 року.

Папір офсетний. Друк RISO.

Ум. друк. арк. 1,34. Наклад 100 прим.

Формат 60 x 90/16. Зам. № 118 від «11» серпня 2021 р.
