

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ШЕБАНОВА ЛЮДМИЛА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 621.395.7

**МЕТОД УДОСКОНАЛЕННЯ СТРУКТУРИ ТРАНСПОРТНОЇ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Донецькому національному технічному університеті. Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Турупалов Віктор Володимирович,
ДВНЗ "Донецький національний технічний університет", декан факультету "Комп'ютерні інформаційні технології та автоматика".

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Лістровий Сергій Володимирович,
Українська державна академія залізничного транспорту, професор кафедри "Спеціалізовані комп'ютерні системи".

кандидат технічних наук, доцент
Головін Юрій Олександрович,
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУУ "КПІ", професор спеціальної кафедри "Застосування засобів спеціальних телекомунікаційних систем".

Захист відбудеться "___" _____ 2011 року о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.01 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий "___" _____ 2011 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

К.А. Трубчанінова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Важливими особливостями для телекомунікаційних мереж (ТКМ), що проєктуються або підлягають модернізації, є розширення їх функціональних можливостей, ускладнення структури, зростання кількості об'єктів інформаційної взаємодії, необхідність адаптації до обставин, що швидко змінюються. На всіх етапах проєктування завдання аналізу й синтезу вирішуються як оптимізаційні. Удосконалення структури мережі та параметрична оптимізація зустрічає серйозні труднощі, що обумовлені: відсутністю достовірних даних для побудови математичних моделей, необхідних при вирішенні завдань оптимізації; високою вартістю і тривалістю проведення експериментальних досліджень для одержання достовірних даних; суб'єктивною думкою у виборі критеріїв та вагових коефіцієнтів; високою розмірністю розв'язуваних завдань.

Протягом останніх років ведуться інтенсивні розробки в напрямку синтезу оптимальної структури мережі та вибору оптимальної ТКМ за частинними критеріями. Серед авторів, які вирішували окремі завдання в цій області, можна зазначити наступних: Lieska K., Laitinen E., Jaffres-Runser K., Безрук В., Свід І., Корсун І., Рубалко Д., Чеботарьова Д., Стеклов В.К., Беркман Л.Н., Тимченко О.В., Климаш М.М., Альошин Г.В., Богданов Ю.А. та ін. Незважаючи на величезну кількість публікацій щодо методів багатокритеріальної оптимізації та методів пошуку оптимальної структури для ТКМ, на сьогоднішній день є потреба в ефективних методах визначення *оптимальної структури транспортної ТКМ* (з найбільш раціональною кількістю ліній зв'язку та їх розташуванням), які б враховували компромісне значення критеріїв функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат. Більшість методів оптимізації не дозволяють порівнювати реалізації побудови мереж з найбільш доцільними рішеннями при урахуванні отриманих вихідних параметрів та знаходити оптимальний шлях розвитку транспортної інфраструктури. На відміну від існуючих, запропонований метод удосконалення структури транспортної ТКМ дозволяє проводити дослідження мереж на етапі планування, експлуатації та модернізації, використовуючи обґрунтовані критерії оптимізації. Все викладене підкреслює важливість і актуальність даного питання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Питання і завдання, розглянуті в дисертаційній роботі, відповідають Державній програмі розвитку "Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природних, технічних і гуманітарних наук на 2009-2013 рр." позиція 1.2.5.2 "Науково-технічне забезпечення процесів конвергенції в телекомунікаційних мережах", що затверджено наказом МОН України, Національною Академією Наук України

від 26.11.09 № 1066/609. Виконання дисертаційної роботи пов'язане з планами науково-дослідницьких робіт ДВНЗ "Донецький національний технічний університет". Ряд положень дисертації є результатами науково-дослідної роботи, виконаної при особистій участі автора в якості виконавця в період 2007-2010 рр. (Н-15-05 "Сучасні методи дослідження динамічних процесів в системах контролю управління і телекомунікацій").

Окремі результати дослідження впроваджено на мережі операторів стільникового зв'язку ПрАТ "МТС Україна" і фіксованого зв'язку ВАТ "Промтелеком" та в навчальний процес з дисципліни "Проектування засобів та систем ТКМ" на кафедрі "Автоматика та телекомунікації" ДВНЗ "Донецький національний технічний університет", що підтверджено актами.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення якості функціонування мережі за рахунок удосконалення структури транспортної ТКМ за критеріями функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат.

Досягання поставленої мети здійснюється при вирішенні завдань:

- розробити математичні моделі функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат транспортної ТКМ для вирішення завдань планування нових мереж, модернізації та реконфігурації існуючих;

- на основі вихідних даних від моделей запропонувати метод багатокритеріальної оптимізації транспортної ТКМ за частинними критеріями функціональної надійності, пропускну здатності й капітальних витрат;

- розробити метод для формування множини структур транспортної мережі, який би враховував дані про відстань між парами вузлів та економічні показники;

- розробити метод удосконалення структури транспортної ТКМ з урахуванням значень критеріїв транспортної мережі, а також реалізувати на його основі програмний продукт для визначення найбільш доцільної зі структур в автоматичному режимі.

Об'єкт дослідження: процес визначення та удосконалення структури транспортної ТКМ за критеріями функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат.

Предмет дослідження: моделі та методи оптимізації для удосконалення структури транспортної ТКМ.

Методи дослідження: методи багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності або часткової невизначеності, теорії нечітких множин, методи математичної статистики, методи нелінійного програмування.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в запропонованому новому підході для процесу проектування транспортної мережі та нових можливостей керування структурою мережі на етапі експлуатації, що дозволяє забезпечити підвищити якість функціонування транспортної ТКМ та

полягає в наступному:

1. Здобули подальший розвиток математичні моделі функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат, які враховують властивості мережі SDH до самовідновлення за рахунок використання схем захисту трафіку та відрізняються тим, що дозволяють оцінити критерії якості функціонування (повну імовірність працездатності, коефіцієнт використання ємності та коефіцієнт використання капітальних витрат для транспортної ТКМ) на етапі планування та експлуатації мережі.

2. Удосконалений метод багатокритеріальної оптимізації для транспортних ТКМ, який комбінує у собі методи, що є дієвими для умов невизначеності або часткової невизначеності, та нечітко-можливісний підхід на основі міри Сугено. Представлена комбінація методів дозволяє обирати оптимальне рішення при наявності однакових пріоритетів серед критеріїв, більше звужувати область рішень при наявності великої кількості альтернатив, отримати максимальну ступінь близькості шуканого рішення до очікуваного і за рахунок чого є більш ефективним.

3. Вперше запропонований метод організації структури для транспортної ТКМ, що відрізняється правилом пошуку можливих вузлів-претендентів на об'єднання – дозволяє угрупувати в кільце вузли однієї ємності на основі даних про відстань між парами вузлів та економічні показники. Все це дозволить сформувати множину неідентичних структур для транспортної мережі, серед яких буде обрана найбільш доцільна з урахуванням узагальненого показника якості функціонування.

4. Вперше запропонований метод удосконалення структури транспортної ТКМ, що ґрунтується на основі моделей, методах багатокритеріальної оптимізації та організації структури мережі. На відміну від інших, представлений метод дозволяє визначити найбільш раціональну зі структур транспортної ТКМ з урахуванням альтернативних значень трьох різнопланових критеріїв – функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат, а отже забезпечити високу якість функціонування.

Практичне значення одержаних в дисертаційній роботі результатів для галузі телекомунікацій полягають в наступному:

– розроблений на базі методу удосконалення структури транспортної ТКМ програмний продукт базується на отриманих теоретичних дослідженнях удосконалених математичних моделях, методу багатокритеріальної оптимізації (акт про впровадження в навчальний процес від 14.03.2011р.) і запропонованому методі організації структури транспортної мережі;

– програмний продукт дозволяє автоматизувати процес пошуку раціонального рішення щодо структури транспортної ТКМ, а отже скоротити витрачений на це час (програмний продукт – 184 с, експерти – 36 годин);

– отримані вигоди у стійкості до пошкоджень 58%, вигоди у запасі

надійності 3%, виграш у коефіцієнті бітових помилок при відсутності елементів, що відмовили, $4 \cdot 10^{-11}$ (для мережі з 460 елементами) відображують ступінь поліпшення якості функціонування транспортної ТКМ за рахунок визначення найбільш доцільної структури транспортну мережі на основі розробленого методу удосконалення структури транспортної ТКМ;

– отримані результати досліджень використовуються на транспортних мережах оператора стільникового зв'язку ПрАТ "МТС Україна" (акт впровадження від 03.02.2011), оператора фіксованого зв'язку ВАТ "Промтелеком" (акт впровадження від 15.03.2011 р.).

Особистий внесок автора полягає в самостійному отриманні основних наукових результатів, експериментальних досліджень та апробації результатів. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, дисертантові належать: формування задач, удосконалення математичних моделей для транспортних ТКМ [1-4, 8-11], удосконалення методу багатокритеріальної оптимізації за критеріями функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат для транспортних ТКМ [5,6,12], розробка методу удосконалення структури транспортної мережі на основі методу організації структури мереж та багатокритеріальної оптимізації за частинними критеріями [7,12]. Одна робота представлена без співавторства.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень були представлені та обговорені на наступних конференціях:

1) науково-методичній конференції "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій", Львів, 2007 р.;

2) III Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування", Вінниця, 2007 р.;

3) III Міжнародній науково-технічній конференції і I студентській науково-технічній конференції "Проблеми телекомунікацій-2009", Київ: Національний університет України "КПІ", 2009 р.;

4) 22 Міжнародній науково-практичній конференції "Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины", Алушта, Крим, 2009 р.;

5) IV Міжнародному науково-технічному симпозиумі "Нові технології в телекомунікаціях" ДУИКТ-КАРПАТИ, Вишків, 2011 р.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковано в 12 наукових працях, з них 5 – доповіді на науково-технічних конференціях, 7 – у фахових виданнях згідно переліку ВАК України (5 робіт опубліковані у збірниках наукових праць, 2 – в наукових журналах).

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 177 сторінок, в тому числі 49 рисунків, 12

таблиць, 10 додатків на 24 сторінках і списку використаних джерел – 130 найменувань на 14 сторінках. Дисертація написана українською мовою.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкривається стан розглянутої науково-технічної проблеми в галузі телекомунікацій, формулюється мета, завдання дослідження, представлена наукова новизна і практична цінність дисертаційної роботи. Актуальність теми визначається науковими програмами, планами і темами, метою, завданнями, об'єктом, предметом і методами дослідження, наукової новизни одержаних результатів, їх практичного значення, відомості про публікації, апробацію та впровадження результатів роботи.

Перший розділ – "Аналіз транспортних ТКМ" – присвячений аналізу базових характеристик для транспортних ТКМ й основних типів несправностей, що впливають на якість функціонування транспортних мереж.

Транспортна ТКМ трактується як мережа, що забезпечує передавання знаків, сигналів, письмового тексту, зображень та звуків або повідомлень будь-якого роду між підключеними до неї ТКМ доступу. Базову концепцію побудови транспортних ТКМ України на сьогоднішній день представляє технологія SDH з використанням топології "кільце".

Під *елементами* транспортної ТКМ пропонується вважати вузол мережі (в даному випадку плату мультиплексора) і канал зв'язку (оптичне волокно, що з'єднує порти двох плат мультиплексорів в одному кільці).

Для транспортних ТКМ контроль якості функціонування є визначальним та концептуальним. Серед характеристик, що впливають на якість функціонування транспортних ТКМ є функціональна надійність, пропускна здатність та капітальні витрати. Для дослідження впливу перерахованих характеристик на якість функціонування транспортних ТКМ запропоновано розробити математичні моделі, які були б дієвими як на етапі планування транспортних ТКМ, так і на етапі експлуатації.

Слід зазначити, що від варіанту структури транспортної ТКМ буде залежати рівень якості функціонування. Тому кожен варіант мережі зі своєю структурою буде мати відповідні для нього значення за критеріями функціональної надійності, пропускної здатності та капітальних витрат. Обрання найбільш доцільної зі структур за представленими критеріями можливо при розв'язанні завдання багатокритеріальної оптимізації.

Досліджені евристичні методи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації є неефективними при великій кількості варіантів рішень, не дозволяють порівнювати рішення при наявності критеріїв з однаковою важливістю. Точні методи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації не можуть бути застосовані для оптимізації транспортних ТКМ, оскільки на

етапі планування мережі присутня невизначеність або часткова невизначеність (відомими є окремі характеристики альтернативних варіантів у різних ситуаціях, однак відомості про імовірності ситуацій відсутні). Тому є необхідність в формуванні ефективного евристичного методу багатокритеріальної оптимізації, який увійде в основу нового підходу щодо проектування транспортних ТКМ, реалізує нові можливості керування мережею на етапі експлуатації та дозволить визначити найбільш раціональну зі структур для транспортної ТКМ на основі значень критеріїв функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат, а отже забезпечити високу якість функціонування.

В **другому розділі** – "Математичні моделі для транспортної ТКМ" – здобули подальший розвиток математичні моделі функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат, що відображують вплив на якість функціонування і дозволяють описувати роботу транспортної ТКМ на етапі планування та експлуатації.

Модель функціональної надійності транспортної ТКМ на етапі планування мережі дозволяє визначити доступність вузлів, ліній зв'язку, а також доступність при використанні різних схем захисту трафіку для мереж з кільцевими структурами. Пропонується вважати, що імовірність працездатності маршруту M_{ab} (ейлерів шлях) відповідає імовірності працездатності всієї транспортної ТКМ, оскільки в результаті визначення даної імовірності, були задіяні всі канали й вузли мережі. Для стану транспортної ТКМ, коли кількість елементів, що відмовила, складає $k=0$ імовірність працездатності мережі дорівнює:

$$P_{(0)} = p_{ab} = \prod_{\substack{j=1, \\ i \neq j}}^s p_{node_i} \cdot p_{link_ij}. \quad (1)$$

де p_{link_ij} – імовірність стану працездатності каналу, що з'єднує i -ий і j -ий вузли; p_{node_i} – імовірність стану працездатності i -ого вузла.

Аналітично визначається імовірність відмови k елементів $P_{(k)}$, при відмові яких, система все ще залишається в стані працездатності:

$$P_{(k)} = C_n^k \cdot q^k \cdot p^{n-k}, \quad (2)$$

де p – імовірність стану працездатності маршруту M_{ab} при відмові k елементів системи ($q=1-p$); n – кількість елементів транспортної ТКМ (ліній та вузлів).

На основі статистичних випробувань оцінюється живучість мережі. Кількість елементів, для якого вперше в даній реалізації відбулася відмова системи k_z фіксується. Умовна імовірність зв'язності мережі $\Phi_{(k)}$ дорівнює:

$$\Phi_{(k)} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{z=1}^L \delta(k_z), \quad \delta(k_z) = \begin{cases} 1, & \text{при } k_z \leq k, \\ 0, & \text{при } k_z > k. \end{cases} \quad (3)$$

Повна імовірність працездатності визначається на основі аналітико-

статистичного методу та представлена вираженням:

$$P = P_{(0)} + \sum_{k=1}^K \Phi_{(k)} \cdot P_{(k)}. \quad (4)$$

Повна імовірність непрацездатності транспортної ТКМ дорівнює:

$$Q = 1 - P. \quad (5)$$

На етапі експлуатації мережі використовується модель процесу встановлення з'єднання. В даному випадку повна імовірність працездатності транспортної ТКМ визначається на основі математичного очікування зваженого часу проходження інформації ейлеровим шляхом:

$$\tilde{\tau}_{ab_node} = \sum_{i=1}^S t_{node_i} + t_{рест} \cdot n_{рест} \cdot P_{рест} + t_{відновл} \cdot P_{відновл}, \text{ мс}, \quad (6)$$

$$\tilde{\tau}_{ab_link} = \sum_{i \neq j}^S \sum_{i \neq j}^S t_{link_ij} + t_{рест} \cdot n_{рест} \cdot P_{рест} + t_{відновл} \cdot P_{відновл}, \text{ мс}, \quad (7)$$

$$\tilde{\tau}_{ab} = \tilde{\tau}_{ab_node} + \tilde{\tau}_{ab_link}, \text{ мс}, \quad (8)$$

де t_{node_i} – тривалість проходження сигналу через i -ий вузол; t_{link_ij} – тривалість проходження сигналу через канал, що з'єднує i -ий та j -ий вузли; $t_{рест}$ – тривалість рестартів; $n_{рест}$ – кількість рестартів; $P_{рест}$ – імовірність рестартів; $t_{відновл}$ – час відновлення системи; $P_{відновл}$ – імовірність відновлення системи.

Математичне очікування зваженого часу проходження інформації ейлеровим шляхом визначається наступним вираженням:

$$M\delta(\tilde{\tau}_{ab}) = \frac{\sum_{j=1}^{\chi} \tilde{\tau}_{ab_j}}{\chi}, \text{ мс}, \quad (9)$$

де χ – кількість реалізацій часу проходження сигналу за маршрутом M_{ab} .

Імовірність повної працездатності мережі обчислюється вираженням:

$$P = 1 - \frac{M\delta(\tilde{\tau}_{ab})}{\tau_{пруп}}, \quad (10)$$

де $M\delta(\tilde{\tau}_{ab})$ – математичне очікування зваженого часу проходження інформації мережею; $\tau_{пруп}$ – припустимий час проходження сигналу мережею.

Модель пропускної здатності заснована на декомпозиції мережі на кільця. Для кожного кільця реалізована таблиця задіяної ємності, що представлена наступним вираженням:

	1	2	3	...	m
1	v_{11}/v_{link_11}	v_{12}/v_{link_12}	v_{13}/v_{link_13}	...	v_{1m}/v_{link_1m}
2	v_{21}/v_{link_21}	v_{22}/v_{link_22}	v_{23}/v_{link_23}	...	v_{2m}/v_{link_2m}
3	v_{31}/v_{link_31}	v_{32}/v_{link_32}	v_{33}/v_{link_33}	...	v_{3m}/v_{link_3m}
...
m	v_{m1}/v_{link_m1}	v_{m2}/v_{link_m2}	v_{m3}/v_{link_m3}	...	v_{mm}/v_{link_mm}

(11)

де v_{ml} – задіяна канална ємність по 2 Мбіт/с (основні та резервні) за напрямком від m -ого мультиплектора до l -ого в масштабах розглянутого

кільця; v_{link_m1} – загальна (номінальна) канална ємність (основні та резервні) за вказаним напрямком в залежності від модулю STM; $v_{11}, v_{12} \dots v_{mm}$ – транзитна канална ємність за напрямками через відповідний вузол кільця.

Коефіцієнти використання ємності для каналів групових трактів представлені співвідношенням в (11) та обчислюються наступним виразом:

$$\mu_{link_ij} = v_{ij} / v_{link_ij} \cdot \quad (12)$$

В специфікації устаткування мультиплексорів ємність указано в кількості інтерфейсів, які підтримує комутаційна матриця, тому навантаження можна відобразити в каналах по 2 Мбіт/с, а коефіцієнт використання ємності мультиплексора дорівнює:

$$\mu_{MUX_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^S v_{ij} / v_{MUX_i}, \quad (13)$$

де v_{ij} – задіяна канална ємність за всіма напрямками для i -ого мультиплексора; v_{MUX_i} – номінальна канална ємність i -ого мультиплексора в залежності від модулю STM.

За аналогією визначаються коефіцієнти використання ємності кожного кільця μ_{ring_N} . У випадку рівномірно розподіленого трафіку у мережі, середній рівень використання ємності кілець визначає рівень використання ємності мережі $\mu_{network}$ що повинно перебувати у межах норми 0,7-0,8. Відносне відхилення коефіцієнту використання ємності транспортної ТКМ від норми відповідає величині $\Delta\mu_{network}$. У випадку нерівномірного розподілу трафіку необхідна процедура перерозподілу, що дозволяє ліквідувати перевантаження й простої у мережі.

Модель капітальних витрат дозволяє оцінити капітальні витрати на будівництво транспортної мережі *на етапі її планування*, що визначається наступним вираженням:

$$C_{NETWORK} = \sum_{t=1}^T (C_{MUX} + C_{FOL} + C_{INST}) \cdot \frac{1}{(1+r)^t}, \text{ грн.}, \quad (14)$$

де C_{MUX} – витрати на мультиплексори; C_{FOL} – витрати на волоконно-оптичні лінії; C_{INST} – витрати на монтаж; r – коефіцієнт дисконтування; t – період дисконтування.

На етапі модернізації капітальні витрати складають:

$$C_{MOD} = \sum_{t=1}^T (C_{NBL} + C_{NSE} + C_{NTE} + C_{LST} + C_{SSE}) \cdot \frac{1}{(1+r)^t}, \text{ грн.}, \quad (15)$$

де C_{NBL} – витрати на прокладку нових магістральних ліній; C_{NSE} – витрати на купівлю комутаційного обладнання; C_{NTE} – витрати на купівлю кінцевого устаткування; C_{LST} – витрати на оренду ліній і обслуговування діючих каналів; C_{SSE} – витрати на обслуговування комутаційних пристроїв.

На етапах планування та модернізації, доцільним є оцінювання *коефіцієнта використання капітальних засобів*. Даний показник

визначається вираженням:

$$K_{БКВ} = \frac{C_{NEWORK}}{C_{MAX_NEWORK}}, K_{БКЗ_М} = \frac{C_{MOD}}{C_{MAX_MOD}}, C_{MAX_NETWORK}, C_{MAX_MOD} \neq 0, \quad (16)$$

де $C_{MAX_NETWORK}$, C_{MAX_MOD} – максимально можливі інвестиційні вкладення на будівництво та модернізацію мережі відповідно.

Таким чином, вихідні дані математичних моделей сформулюють вхідні дані для подальшого етапу багатокритеріальної оптимізації.

В **третьому розділі** – "Дослідження методів багатокритеріальної оптимізації для транспортної мережі" – удосконалений метод вирішення завдань багатокритеріальної оптимізації, що дозволяє одержати оптимальне рішення для транспортної ТКМ, яке описується цільовою функцією та функцією корисності:

$$\min K_i = K(N_i(\bar{x}_N), V_i(\bar{x}_V)), C_i(\bar{x}_N, \bar{x}_V) \leq C_{npun}, \quad (17)$$

де K_i – вектор оптимального рішення для транспортної ТКМ; N_i – частинний критерій функціональної надійності мережі; V_i – частинний критерій, що характеризує пропускну здатність; C_i – частинний критерій вартості мережі; \bar{x}_N – вектор функціональної надійності; \bar{x}_V – вектор пропускну здатності; C_{npun} – припустиме значення вартості транспортної ТКМ.

Вектори функціональної надійності (на етапах планування та експлуатації мережі відповідно) і пропускну здатності мають вигляд:

$$\bar{x}_N = \begin{Bmatrix} P_{ab} \\ P_k \\ \Phi_k \end{Bmatrix}, \bar{x}_V = \begin{Bmatrix} \tilde{\tau}_{ab} \\ \chi \end{Bmatrix}, \bar{x}_V = \begin{Bmatrix} \mu_{link_ij} \\ \mu_{MUX_i} \\ \mu_{ring_N} \\ \mu_{network} \end{Bmatrix}. \quad (18)$$

Загальним обмеженням для трьох моделей є використання строго кільцевих структур при побудові транспортних ТКМ. Для моделі функціональної надійності обмеження накладаються на середній припустимий час проходження сигналу маршрутом (2-5 мкс/км), кількість рестартів для одного з'єднання ($n_{рест_ном.} \leq 3$), коефіцієнт бітових помилок $1 \cdot 10^{-9} \leq BER \leq 1 \cdot 10^{-11}$, а також час перемикання на резерв у разі відмови ($t_{перемик. SNCP} \leq 30$ мс, $t_{перемик. MSP, MS-SPRing} \leq 50$ мс). Серед обмежень, що накладаються на модель пропускну здатності виступає номінальна канална ємність у каналах по 2 Мбіт/с за напрямком між двома мультиплексорами в масштабах розглянутого кільця v_{link_ij} та значення коефіцієнтів μ_{link_ij} , μ_{MUX_i} , μ_{ring_N} та $\mu_{network}$, які повинні знаходитись в діапазоні 0,7-0,8. Для моделі капітальних витрат: $C_{MOD} \leq C_{MAX_MOD}$, $C_{NETWORK} \leq C_{MAX_NETWORK}$, коефіцієнт дисконтування $r=10-20\%$, період дисконтування для нових сегментів транспортних мереж – 3-5 років, а для нової транспортної ТКМ – 5-7 років.

Перший етап багатокритеріальної оптимізації характеризується

зменшенням міри невизначеності. Варіанти рішень і відповідні їм значення показників представлені в матриці G :

$$G = \begin{pmatrix} S_1 & S_2 & S_3 \\ v_1 & g_{11} = N_1, & g_{12} = V_1, & g_{13} = C_1, \\ v_2 & g_{21} = N_2, & g_{22} = V_2, & g_{23} = C_2, \\ v_3 & g_{31} = N_3, & g_{32} = V_3, & g_{33} = C_3, \\ v_4 & g_{41} = N_4, & g_{42} = V_4, & g_{43} = C_4, \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_l & g_{l1} = N_l, & g_{l2} = V_l, & g_{l3} = C_l. \end{pmatrix} \quad (19)$$

Застосуємо методи, що є доцільними в умовах невизначеності або часткової невизначеності, для варіантів рішень, що представлені в матриці G :

1. *Метод рівних імовірностей*. Оптимальним вважається варіант v_i , для якого узагальнений показник якості функціонування q_{pe} мінімальний:

$$v_{optim} = \arg_min_i \left\{ q_{pe}(v_i) = \bar{g}(v_i) = \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^k g_{ij}, i = \overline{1, l} \right\}, \quad (20)$$

де k – кількість показників (у нашому випадку $k=3$).

2. *Метод Гурвіца*. Оптимальним буде варіант v_i , для якого узагальнений показник якості функціонування q_G мінімальний:

$$v_{optim} = \arg_min_i \left\{ q_G(v_i) = c \cdot q_{i_min} + (1-c) \cdot q_{i_max}, i = \overline{1, l} \right\}, \\ q_{i_min} = \min_j \{g_{ij}, j = \overline{1, k}\}, q_{i_max} = \max_j \{g_{ij}, j = \overline{1, k}\} \quad (21)$$

де c – ваговий коефіцієнт, $c \in (0; 1)$.

3. *Метод Шанявського*. Метод використовує результати, одержані методом рівної ймовірності з деякою корекцією:

$$v_{optim} = \arg_min_i \left\{ q_{Ш}(v_i) = c \cdot q_{PB}(v_i) + (1-c) \cdot q_{i_max}, i = \overline{1, l} \right\} \quad (22)$$

4. *Мінімакський метод*. Для варіантів визначають максимальні значення серед показників. Надалі серед них визначається мінімальне значення узагальненого показника якості $q_{min/max}(v_i)$ і варіант v_i є оптимальним:

$$v_{optim} = \arg_min_i \{q_{min/max}(v_i)\}, q_{min/max}(v_i) = \max_j \{g_{ij}\} \quad (23)$$

5. *Метод Севіджа*. Для ситуацій знаходяться мінімальні значення:

$$g_{i1_min}, g_{i2_min}, \dots, g_{lk_min}. \quad (24)$$

Отримані в (24) значення віднімаються від кожного значення, що знаходиться у відповідному стовпці матриці (19), наприклад: $h_{11} = g_{11} - g_{i1_min}$.

Оптимальним є варіант, для якого характерна умова:

$$v_{optim} = \arg_min_i \{q_{сев}(v_i), i = \overline{1, l}\}, q_{сев}(v_i) = \max_j \{h_{ij}, j = \overline{1, k}\} \quad (25)$$

Варіанти, які співпадуть мінімум для трьох методів, сформулюють область Парето і будуть досліджені на другому етапі багатокритеріальної невизначеності, де використовується нечітко-можливісний підхід. В якості оцінної функції h для критеріїв будемо розглядати критерії ефективності у

безрозмірному вигляді з носієм нечіткої множини $F_i(w)$ ($i = 1, \dots, n; w \in W$) у інтервалі $[0,1;0,9]$ на основі наступного перетворення:

$$h(w) = (F_i : N_{(F_i)} \mapsto w_{1(F_i)}, V_{(F_i)} \mapsto w_{2(F_i)}, C_{(F_i)} \mapsto w_{3(F_i)}; \mu_{F_i}(w)), \quad (26)$$

де F_i – критерії, за якими проводиться оцінка рішень; $N_{(F_i)}$ – критерій надійності, $N_{(F_i)} \rightarrow N_{optim} = 0,999999$; $V_{(F_i)}$ – критерій пропускну здатності, $V_{(F_i)} \rightarrow V_{optim} = 0,75$; $C_{(F_i)}$ – критерій капітальних витрат, $C_{(F_i)} \rightarrow C_{optim} = 0,75$; $w_{1(F_i)}$, $w_{2(F_i)}$, $w_{3(F_i)}$ – значення ступеня приналежності множині оптимальних рішень для кожного із критеріїв; $\mu_{F_i}(w)$ – функція приналежності множині оптимальних рішень, $\mu_{F_i}(w) = [0,1;0,9]$.

Облік впливу сукупності показників на оцінку варіантів з множини варіантів пропонується здійснити шляхом побудови λ -нечіткої міри Сугено. Знайдемо корень з інтервалу $(-1; \infty)$ наступного полінома $(l-1)$ -ого порядку:

$$\frac{\prod_{i=1}^l (1 + \lambda \cdot g_i) - 1}{\lambda} = 1, \quad (27)$$

де g_i – коефіцієнт важливості; l – кількість частинних показників ($l=3$).

Далі обчислюється значення узагальненого показника якості функціонування на основі нечіткої згортки, що дозволяє враховувати нелінійний характер впливу частинних показників:

$$e(w_i) = [h \circ G_\lambda = \sup_{\alpha \in [0,1]} \min \{ \alpha, G_\lambda(F_\alpha(w_i)) \}], \quad G_\lambda(F_\alpha(w_i)) = \frac{\prod_{F_i \in F_\alpha(w_i)} (1 + \lambda \cdot g_i) - 1}{\lambda}, \quad (28)$$

де $F_\alpha(w_i) = F_i | h(F_i, w) \geq \alpha$ – множина показників, ступінь впливу яких на оцінку варіанта $w \in W$ перевищує поріг α ; $h: FxW \rightarrow [0,1;0,9]$ – оцінна функція. За оцінну функцію h приймемо значення частинних показників, зведених до безрозмірного виду з носієм нечіткої множини $F_i(w)$ в інтервалі $[0,1;0,9]$.

Варіант, для якого узагальнений показник якості $e(w_i)$ має максимальне значення, є кращою альтернативою в результаті вирішення завдання багатокритеріальної оптимізації: $w_{optim} = arg_max_i \{ e(w_i) \}$.

В четвертому розділі – "Реалізація методу управління структурою транспортної ТКМ" – під управлінням структурою мережі розуміється раціональне розташування зв'язків між вузлами та їх кількість. Запропоновано метод організації структури мережі, який формує множину неідентичних структур, з яких надалі буде обрана оптимальна. Метод організації структури складається з наступних етапів:

1. *Вибір зони покриття вузла та кільця.* Обирається базовий вузол мережі v_i , для якого формується зона можливого об'єднання S_n з радіусом r_n , у якій перебувають вузли-претенденти (рис.1). Додаткове обмеження – зона дії кільця однієї ємності S_r з радіусом R_r .

2. *Вибір претендента на об'єднання.* Відповідно до рис. 1 у зоні

покриття базового вузла v_i ; перебувають два вузла-претендента на об'єднання – v_p і v_q . Для них визначається вага w_{ip} та w_{iq} за формулою:

$$\min w_{ij} = r_{ij} \cdot d_{ij} \cdot \mu_{зк_ij} \cdot p_{link_ij}, \quad (29)$$

де r_{ij} – відстань між парою вузлів $(i;j)$; d_{ij} – вартість прокладки лінії e_{ij} для пари вузлів $(i;j)$, що належить одному з рівнів пропускної здатності STM-N для організації відповідного кільця, тобто $i,j \in C_{STM-N}$; $\mu_{зк_ij}$ – коефіцієнт завантаження каналу, що з'єднує i -ий та j -ий вузли; p_{link_ij} – імовірність працездатності лінії e_{ij} .

Якщо параметри вузла-претендента задовольняють умовам на об'єднання (8), (9), то між вузлами формується ребро кільця.

3. *Формування кільця мережі.* Аналогічно проводиться обрання вузлів-претендентів щодо вузла v_q і так до формування кільця (рис. 2), ознакою якого є повернення у базовий вузол.

4. *Формування структури мережі.* Після формування першого кільця, проводиться пошук претендентів на об'єднання щодо будь-якого вузла сформованого кільця, за винятком базового вузла першого кільця. Метод діє, поки всі вузли об'єднуються в кільцеві структури й утворюють транспортну ТКМ (рис.3). На даному етапі є можливість додавання резервних зв'язків між вузлами, які підвищує якість функціонування мережі.

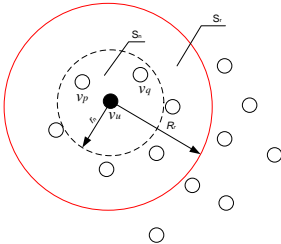


Рис. 1. Вибір зони покриття вузла й кільця

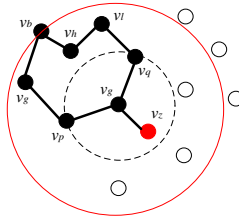


Рис. 2. Формування кільця мережі

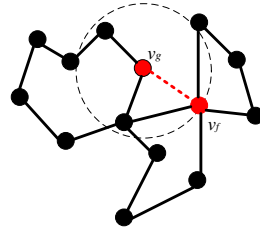


Рис.3. Формування структури мережі і додаткових зв'язків

Обираючи різні вузли базовими, аналогічно формується множина структур для транспортної ТКМ. Для виключення з множини структур ідентичних варіантів запропонований критерій неідентичності:

$$SM_{str} = \frac{1}{s \cdot l} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^l SM_{M_i \rightarrow M_j}^{sumroute}, \quad SM_{str} \in (0; 1], \quad (30)$$

де SM_{str} – ступінь подібності двох структур, що визначає середню подібність маршрутів між вузлом-джерелом і вузлом призначення порівнюваних структур; s – загальна кількість вузлів мережі; l – загальна кількість ліній;

$SM_{M_i \rightarrow M_j}^{sumroute}$ – сумарний ступінь відповідності маршрутів порівнюваних структур.

На основі математичних моделей, методу багатокритеріальної оптимізації та методу організації структури мережі запропонований метод удосконалення структури транспортної ТКМ і розроблений на його базі програмний продукт. Розглянемо ситуацію, коли кількість мультиплексорів в мережі дорівнює 100. Кількість отриманих рішень складає 63 (рис. 4-6).

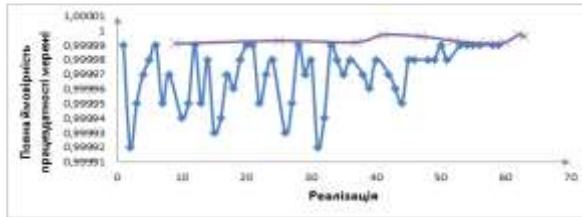


Рис. 4. Розподіл P від номера ітерації, визначення області Парето

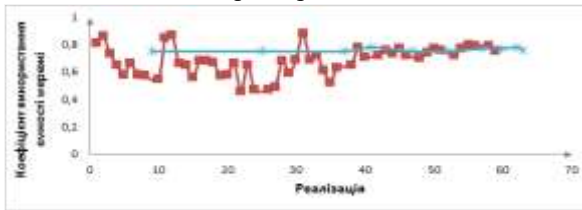


Рис. 5. Розподіл $\mu_{network}$ від номера ітерації, визначення області Парето

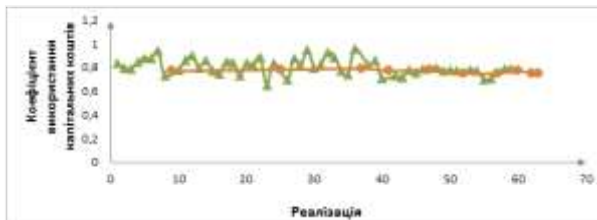


Рис. 6. Розподіл $K_{BKЗ}$ від номера ітерації, визначення області Парето

Для перевірки адекватності запропонованого методу оптимізації структури мережі, результати моделювання були порівняні з оцінками експертів. Сформовані в результаті структури транспортних ТКМ (рис.7,8) відрізняються за кількістю зв'язків між вузлами, за значеннями частинних критеріїв (які мають досить близький результат, таб.1) і також за варіантами угруповання вузлів у кільця. Витрачений час на пошук рішення для програмного продукту складає 184 с, для експертів – 36 годин.



Рис. 7. Оптимальна структура мережі, що сформована моделлю

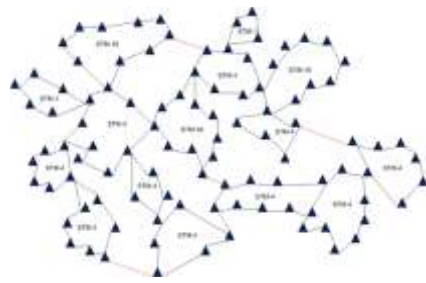


Рис. 8. Оптимальна структура мережі, що запропонована експертами

Таблиця 1. Параметри оптимальної транспортної ТКМ

Варіант	P	$\mu_{network}$	$K_{BKЗ}$
Експерти	0,999995	0,76	0,75
Модель	0,999996	0,56	0,76

Удосконалений метод багатокритеріальної оптимізації на відміну від інших формує більш вузьку область рішень (таблиця 2). Враховуючи факт, що переважна більшість методів не є дієвими при наявності критеріїв з однаковою вагою, розглядалася ситуація, коли перший пріоритет віддавався критерію функціональної надійності, другий – пропускній здатності, третій – капітальним витратам. Для кожного з методів була оцінена ступінь близькості отриманих варіантів кінцевого вектора змінних до очікуваних значень і в результаті максимальну ступінь близькості мають варіанти рішень, що отримані на основі запропонованого методу оптимізації (98,7%).

Таблиця 2. Порівняння методів багатокритеріальної оптимізації

Метод багатокритеріальної оптимізації	Кількість оптимальних рішень	Ступінь близькості варіантів вектора змінних до очікуваних значень, %
Справедливого компромісу	5	94,4
Епсілон-обмеження	7	91,1
Вагових множників	6	92,8
Наближення до ідеального рішення	8	91,3
Послідовних поступок	9	90,4
Запропонований метод	2	98,7

Для доведення переваги методу удосконалення структури транспортної ТКМ були досліджені та проаналізовані залежності BER від кількості елементів, що відмовили, для мереж з оптимізованою та неоптимізованою структурами. Швидкість зниження коефіцієнта бітових помилок є більшою для мережі, до якої не застосовували запропонований метод, а отже вона швидше вийде зі стану працездатності. Розглянемо кілька показників, що дозволять оцінити ступень поліпшення якості функціонування (за коефіцієнтом BER) для мережі з оптимізованою структурою.

Виграш у стійкості до пошкоджень відображує запас по BER, який дозволяє мережі, при відмові деякої кількості її елементів, не переходити у стан непрацездатності. Для оцінки даного показника скористаємось середнім значенням коефіцієнта бітових помилок, що знаходиться в діапазоні $1 \cdot 10^{-9} \leq \text{BER} \leq 1 \cdot 10^{-11}$. Виграш у стійкості до пошкоджень визначається на основі кількості елементів, що відмовили при середньому рівні $\text{BER} = 5 \cdot 10^{-10}$, для мереж з оптимізованою та не оптимізованою структурами.

Виграш у запасі надійності при $1 \cdot 10^{-9} \leq \text{BER} \leq 1 \cdot 10^{-11}$ відображує різницю в межовій кількості елементів, що можуть відмовити без значного впливу на якість функціонування, для мережі з оптимізованою структурою по відношенню до неоптимізованої, відносно загальної кількості елементів.

Виграш у коефіцієнті бітових помилок при відсутності елементів, що відмовили, дозволяє оцінити ступень переваги для мережі з оптимізованою структурою по відношенню до неоптимізованої на етапі відсутності збоїв.

Представлені показники характеризують ступень поліпшення якості обслуговування (за коефіцієнтом бітових помилок) для транспортної ТКМ з оптимізованою структурою в порівнянні з неоптимізованою, що чисельно складає: $\text{ВСП}_{\text{BER}=5 \cdot 10^{-10}} = 58\%$, $\text{ВНЗ}_{1 \cdot 10^{-9} \leq \text{BER} \leq 1 \cdot 10^{-11}} = 3\%$, $\text{ВКБП}_{k_1, k_2=0} = 4 \cdot 10^{-11}$. Значення параметрів вказують на перевагу методу удосконалення структури транспортної ТКМ на основі багатокритеріальної оптимізації.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В дисертаційній роботі на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена науково-прикладна задача – запропоновано новий підхід для процесу проектування транспортної мережі та нових можливостей керування структурою мережі на етапі експлуатації, що дозволяє підвищити якість функціонування транспортної ТКМ. При цьому одержані наступні наукові і технічні результати:

1. Здобули подальший розвиток математичні моделі функціональної надійності, пропускної здатності та капітальних витрат, які враховують властивості мережі SDH до самовідновлення за рахунок використання схем захисту трафіку та відрізняються тим, що дозволяють оцінити критерії якості

функціонування (повну імовірність працездатності, коефіцієнт використання ємності та коефіцієнт використання капітальних витрат для транспортної ТКМ) на етапі планування та експлуатації мережі.

2. Математична модель функціональної надійності транспортної ТКМ відрізняється тим, що на етапі планування повну імовірність працездатності мережі пропонується визначати на основі аналітико-статистичного методу, а саме, статистичними випробуваннями оцінюється живучість мережі, аналітично визначаються імовірності мережі в різних станах. *На етапі експлуатації* повну імовірність працездатності мережі пропонується оцінювати на підставі математичного очікування зваженого часу проходження інформації сйлеревим шляхом.

3. Математична модель пропускної здатності дозволяє оцінити коефіцієнти використання ємності кілець та мережі, а також відносні відхилення цих коефіцієнтів від норми, і в результаті визначити сегменти з нерівномірним завантаженням та, в разі необхідності, прийняти рішення про перерозподіл трафіку.

4. Математична модель капітальних витрат відрізняється тим, що дозволяє оцінити коефіцієнт використання капітальних витрат в період планування та модернізації транспортної ТКМ, враховуючи при цьому ємнісні характеристики устаткування та грошові потоки на всьому періоді окупності інвестицій.

5. Удосконалений метод багатокритеріальної оптимізації, що комбінує у собі методи, які є доцільними на етапі невизначеності або часткової невизначеності, і нечітко-можливісний підхід. Запропонований метод відрізняється від відомих тим, що має перевагу в ефективності, а саме значно звужує область рішень при наявності великої кількості альтернатив (до 2), має максимальну серед досліджених методів ступінь близькості отриманого рішення до очікуваних значень (98,7%), дозволяє обирати найбільш доцільні рішення при наявності однакових пріоритетів серед частинних критеріїв.

6. Розроблений метод організації структури транспортної ТКМ, що відрізняється правилом пошуку можливих вузлів-претендентів на об'єднання, а саме дозволяє угрупувати в кільце вузли однієї ємності на основі даних про відстань між парами вузлів та економічні показники. Для виключення з множини однакових структур введених критерій неідентичності. Все це дозволить сформувати множину неідентичних структур для транспортної ТКМ, серед яких буде обрана найбільш доцільна з урахуванням узагальненого показника якості функціонування.

7. Розроблений метод удосконалення структури транспортної ТКМ, що ґрунтується на основі математичних моделей, методу багатокритеріальної оптимізації, методу організації структури мережі та відрізняється тим, що найбільш раціональна зі структур обирається з урахуванням альтернативних

значень трьох різнопланових критеріїв – функціональної надійності, пропускної здатності та капітальних витрат, кожен з яких є важливим чинником при плануванні та експлуатації транспортних мереж. Для автоматизації процесу пошуку оптимальної зі структур та зменшення витраченого на це часу (до 184 с) запропонований програмний продукт, що базується на методі удосконалення структури транспортної ТКМ.

8. Визначена ступінь поліпшення якості функціонування за коефіцієнтом бітових помилок для мережі з оптимізованою на основі запропонованого методу структурою, по відношенню до неоптимізованої, яка складає: вигреш у стійкості до пошкоджень 58%, вигреш у запасі надійності 3%, вигреш у коефіцієнті бітових помилок $4 \cdot 10^{-11}$ при відсутності елементів, що відмовили (на прикладі мережі з 460 елементами).

9. Результати впроваджені в мережі операторів стільникового зв'язку ПрАТ "МТС Україна" і фіксованого зв'язку ВАТ "Промтелеком".

Обґрунтування отриманих результатів засноване на коректному застосуванні моделей функціональної надійності, пропускної здатності та капітальних витрат, методам багатокритеріальної оптимізації, організації структури мережі й методу удосконалення структури транспортної ТКМ.

Достовірність отриманих результатів підтверджується збіжністю теоретичних результатів і результатів по обробці експериментальних даних, отриманих у ході функціонування розробленого програмного продукту.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Прядко Л.О. Надійність в телекомунікаційних мережах. Телекомунікаційні системи, оптимальне резервування, багатофункціональні системи, надійність R-типу, надійність T-типу / Л.О. Прядко, В.В. Турупалов // Науковий журнал "Вісник" Вінницького національного технічного університету – Вінниця, 2007 р. – Випуск 5(74). – С. 147-151.

2. Прядко Л.О. Оптимізація показників якості телекомунікаційної мережі / Л.О. Прядко, В.В. Турупалов // Національна Академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. Збірник наукових праць "Моделювання та інформаційні технології". – Київ, 2007 р. – Випуск 44. – С. 55 – 58.

3. Прядко Л.О. Аналіз вимог до надійності телекомунікаційної системи / Л.О. Прядко, О.О. Шебанов, В.В. Турупалов // Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету серія "Обчислювальна техніка та автоматизація-2009." – Донецьк, 2009 р. – Випуск 17 (148). – С. 37-42.

4. Молоковський І.О. Повышение надежности передачи информации в сетях технологической связи / І.О. Молоковський, Л.О. Шебанова, В.В.

Турупалов // Національна Академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. Збірник наукових праць "Моделювання та інформаційні технології". – Київ 2009 р. – Випуск 54. – С. 109-112.

5. Шебанова Л.О. Аналіз критеріїв оптимальності функціонування транспортних телекомунікаційних мереж [Електронний ресурс] / Л.О. Шебанова, В.В. Турупалов // Науковий журнал "Проблеми телекомунікацій". – 2010. – № 2 (2). – С. 23-32. – Режим доступу до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102_shebanova_analysis.pdf.

6. Шебанова Л.О. Багатокритеріальна оптимізація критеріїв транспортної телекомунікаційної мережі / Л.О. Шебанова // Національна Академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. Збірник наукових праць "Моделювання та інформаційні технології". – Київ, 2010 р. – Випуск 56. – С. 162-167.

7. Шебанова Л.О. Метод удосконалення структури транспортної телекомунікаційної мережі на основі багатокритеріальної оптимізації / Л.О. Шебанова, І.О. Молоковський, В.В. Турупалов // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк, 2011 р. – Випуск 25. – С. 5-9.

8. Прядко Л.О. Надійність в телекомунікаційних мережах / Л.О. Прядко, В.В. Турупалов // Матеріали III Міжнародної конференції "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування-2007". – Вінниця, 2007 р. – С. 35-36.

9. Прядко Л.О. Дослідження алгоритму оптимального резервування для телекомунікаційних систем / Л.О. Прядко, В.В. Турупалов // Матеріали науково-методичної конференції "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій". – Львів, 2007 р. – С. 46-47.

10. Прядко Л.О. Дослідження ТКМ з комплексним показником надійності / Л.О. Прядко, О.О. Шебанов, В.В. Турупалов // Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції і I студентської науково-технічної конференції "Проблеми телекомунікацій-2009". Національний технічний університет України "КПІ". – Київ, 2009 р. – С. 77.

11. Надійність кільцевих структур для SDN-мереж / Л.О. Шебанова, О.О. Шебанов, В.В. Шевченко, В.В. Турупалов // Матеріали 22 Міжнародної науково-практичної конференції "Перспективные компьютерные, управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины". – Алушта, 2009 р. – С. 24-26.

12. Шебанова Л.О. Пошук оптимальної структури транспортної ТКМ / Л.О. Шебанова, В.В. Турупалов // Матеріали IV Міжнародного науково-технічного симпозиуму "Нові технології в телекомунікаціях" ДУІКТ-Карпати. – Карпати, Вишков, 2011 р. – С. 26-27.

АНОТАЦІЯ

Шебанова Л.О. Метод удосконалення структури транспортної телекомунікаційної мережі на основі багатокритеріальної оптимізації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. – Українська Державна академія залізничного транспорту, Харків, 2011.

Дисертацію присвячено розробці та дослідженню методу удосконалення структури транспортної ТКМ на основі багатокритеріальної оптимізації за критеріями функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат. Запропонований метод і розроблений на його базі програмний продукт дозволяють визначити найбільш раціональну зі структур транспортної ТКМ, в результаті чого скорочується час планування або модернізації транспортної мережі і відзначається підвищення якості функціонування мережі.

Ключові слова: транспортна телекомунікаційна мережа, функціональна надійність, пропускну здатність, капітальні витрати, багатокритеріальна оптимізація, структура транспортної ТКМ.

АННОТАЦИЯ

Шебанова Л.А. Метод усовершенствования структуры транспортной телекоммуникационной сети на основе многокритериальной оптимизации. – Рукопись.

Диссертация на получение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. – Украинская Государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2011.

Диссертация посвящена разработке и исследованию метода усовершенствования структуры транспортной ТКС на основе многокритериальной оптимизации. В процессе выполнения диссертационной работы усовершенствованы математические модели для транспортной ТКМ, которые применимы на этапах планирования и эксплуатации сети.

Математическая модель надежности на этапе планирования позволяет определить полную вероятность работоспособности транспортной ТКС на основе аналитико-статистического метода. При эксплуатации данная величина оценивается на основании матожидания времени прохождения информации по эйлеровому пути. На основе математической модели пропускной способности определяются сегменты с неравномерной загрузкой. Математическая модель капитальных затрат позволяет оценить коэффициент

использования капитальных затрат, учитывая при этом емкостные характеристики оборудования. Модели формируют входные данные для этапа многокритериальной оптимизации. Метод многокритериальной оптимизации базируется на нечетко-возможностном подходе, рационален при равной важности критериев и большого количества альтернативных решений. Разработанный метод организации структуры для транспортных ТКС позволяет сформировать множество неидентичных структур сети. Предложенный метод усовершенствования структуры транспортной ТКС и разработанный на его основе программный продукт позволяют определить рациональную структуру транспортной сети на основании значений частных критериев. Указанный метод и программный продукт применимы для отделов планирования и развития транспортной сети операторов телекоммуникаций, поскольку позволяют сократить время поиска рационального решения для структуры транспортной ТКС (программный продукт - 184 с, эксперты - 36 часов) и повысить качество функционирования сети: выигрыш в стойкости до повреждений 58%, выигрыш в запасе надежности 3%, выигрыш в коэффициенте битовых ошибок при отсутствии отказавших элементов $4 \cdot 10^{-11}$.

Ключевые слова: транспортная телекоммуникационная сеть, функциональная надежность, пропускная способность, капитальные затраты, многокритериальная оптимизация, структура транспортной ТКС.

ABSTRACT

Shebanova L.A. Structure improvement method for transport telecommunication networks by the multi-objective optimization. – Manuscript.

The dissertation is competing for the degree of Ph.D. on speciality 05.12.02 – telecommunication system and networks. – Ukrainian State Academy of Railway Transport, Khar'kov, 2011.

The thesis is devoted to the developing and researching method for designing of optimal telecommunication network structure by the multi-objective optimization. The multi-objective optimization method in this paper based on the criterion: networks dependability, capacity and installation costs. The proposed method and software based on the simulation and optimization methods enable to define the most efficient telecommunication network structure. Following the use of proposed method time for planning and modernization of transport telecommunication network is reduced and network performance is improved.

Keywords: transport telecommunication network, dependability, capacity, installation costs, multi-objective optimization, structure of transport telecommunication network.

Підписано до друку 02.07.2011 р.

Формат 60 × 84 1/16. Папір офсетний. Друк. різнограф.

Ум. друк. арк. 0,9. Обл. - вид. арк. 1,15. Безкоштовно.

Замовлення № 231. Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТу: 61050, м. Харків, майдан Фейсрбаха, 7