



АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНІКА, ЗВ'ЯЗОК

УДК 621.395.7

ТУРУПАЛОВ В.В., к.т.н. (ДонНТУ).
ШЕБАНОВА Л. О., аспірант (ДонНТУ).

Метод удосконалення структури транспортної телекомунікаційної мережі на основі багатокритеріальної оптимізації

Вступ

Розвиток телекомунікацій і стрімке зростання конкуренції на ринку телекомунікаційних послуг приводять до удосконалення існуючих систем зв'язку й створенню нових, на базі сучасних технологій.

Важливими особливостями для ТКМ, що проєктуються або підлягають модернізації, є розширення їх функціональних можливостей, ускладнення структури, зростання кількості об'єктів інформаційної взаємодії, необхідність адаптації до швидко мінливих обставин, а також перехід до складних і групових алгоритмів керування. На всіх етапах проєктування та експлуатації мереж завдання аналізу й синтезу вирішуються як оптимізаційні.

Удосконалення структури мережі та параметричної оптимізації, зустрічає серйозні труднощі, що обумовлені обставинами [1]:

- відсутність достовірних даних, для побудови математичних моделей, необхідних при вирішенні завдань оптимізації;
- висока вартість і тривалість проведення експериментальних досліджень для одержання достовірних даних;
- суб'єктивна думка у виборі критеріїв та вагових коефіцієнтів;
- висока розмірність розв'язуваних завдань;
- ведення проєкту значною кількістю груп фахівців різного профілю.

Актуальність проблеми

Протягом останніх років ведуться інтенсивні розробки в напрямку синтезу оптималь-

ної структури мережі, тобто знаходження відповідного розташування вузлів і з'єднувальних ліній, та вибору оптимальної ТКМ за частинними критеріями, якими вона характеризується. Серед закордонних та вітчизняних авторів, які вирішували окремі завдання в цій області, можна зазначити наступних: Lieska K., Laitinen E., Jaffres-Runser K., Gorce J.-M., Ubeda S., Collette Yann, Siarry Patrick, Безрук В., Свід І., Корсун І., Рубалко Д., Чеботарьова Д., Кирик М.І., Тимченко О.В., Беркман Л.Н. та інші.

Незважаючи на величезну кількість публікацій щодо методів багатокритеріальної оптимізації та методів пошуку оптимальної структури для ТКМ, на сьогоднішній день є потреба в методах визначення ефективної структури транспортної мережі (з оптимальною кількістю ліній зв'язку та їх розташуванням), який би враховував при цьому комплексне значення критеріїв функціональної надійності вузлів і каналів, пропускної здатності та капітальних витрат. Більшість розроблених методів оптимізації не дозволяють порівнювати реалізації побудови мереж з ефективними рішеннями при урахуванням отриманих віхідних параметрів ефективності та знаходити оптимальний шлях розвитку транспортної інфраструктури. На відміну від інших методів, запропонований метод удосконалення структури транспортної ТКМ дозволяє проводити дослідження мереж на етапі планування, експлуатації та модернізації, використовуючи обґрунтовані критерії оптимізації. Усе вище вказане підкреслює важливість і актуальність розглянутого питання.

Мета дослідження

Розробка та дослідження методу удосконалення структури транспортної ТКМ при оптимальних значеннях критеріїв функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат.

Реалізація методу удосконалення структури транспортної ТКМ

На початковому етапі реалізуються три математичні моделі для транспортної ТКМ [2,3,4]: функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат.

Математична модель функціональної надійності транспортної ТКМ відрізняється від інших 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 ейлеревим шляхом. Отже, вихідними параметрами для даної моделі виступають повна імовірність працездатності P та повна імовірність непрацездатності Q транспортної ТКМ.

Для математичної моделі пропускну здатності вихідними параметрами є коефіцієнти використання ємності кілець $\mu_{ring, N}$ та мережі в цілому $\mu_{network}$, а також відносні відхилення цих коефіцієнтів від норми $\Delta\mu_{ring, N}$, $\Delta\mu_{network}$ на основі оцінки яких можна визначити сегменти з нерівномірним завантаженням та прийняти рішення про перерозподіл трафіку.

Математична модель капітальних витрат, відрізняється тим, що дозволяє оцінити коефіцієнт використання капітальних витрат в період планування та модерізації K_{exp} транспортної ТКМ (які є вихідними параметрами

даної моделі), враховуючи при цьому ємнісні характеристики устаткування та грошові потоки на всьому періоді окупності інвестиції.

Таким чином, вихідні параметри моделі сформулюють критерії для етапу багатокритеріальної оптимізації. Багатокритеріальна оптимізація проводиться в два етапи. Після проведення нормування критеріїв, на першому етапі для можливих рішень використовуються п'ять методів, що є доцільними в умовах невизначеності або часткової невизначеності (методи Гурвіца, Шанявського, рівних імовірностей, Севіджа, мінімаксісний). Варіанти рішень, що співпадуть мінімум для трьох методів, будуть відібрані і сформулюють область Парето-оптимальних рішень. На другому етапі для рішень, що увійшли до області Парето, застосовується нечітко-можливісний підхід з використанням нечіткої міри Сугено. Запропонований метод багатокритеріальної оптимізації відрізняється від відомих тим, що має перевагу в ефективності, а саме значно звууже область оптимальних рішень при наявності великої кількості альтернатив (таблиця 1). Наявність вказаної переваги доводилась на прикладі, коли кількість рішень для транспортної ТКМ складало 63. Враховуючи факт, що переважна більшість досліджених методів не є дієвими при наявності критеріїв з однаковою вагою, розглядалася ситуація, коли перший пріоритет віддавався критерію функціональної надійності, другий – пропускну 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%). Значною перевагою запропонованого методу оптимізації є факт того, що він дозволяє обирати оптимальне рішення при наявності однакових пріоритетів серед критеріїв оптимальності.

На основі моделей функціональної надійності, пропускну здатності та капітальних витрат, запропонованого методу багатокритеріальної оптимізації та методу організації структури мережі (що дозволяє сформувати множину структур при базовому розміщенні

вузлів на етапі планування мережі) був запропонований метод удосконалення структури транспортної ТКМ та розроблений на його базі програмний продукт.

Таблиця 1. - Порівняння методів багатокритеріальної оптимізації за ефективністю

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

Розглянемо ситуацію, коли кількість мультиплексорів транспортної мережі дорівнює 100. Кількість отриманих рішень (ітерацій) складає 63. За результатами роботи програмного продукту всі варіанти рішень (та окремо

оптимальні по Парето) для кожного частинного критерію представлені на рисунках 1-3, а найбільш оптимальне рішення представлено в таблиці 2.

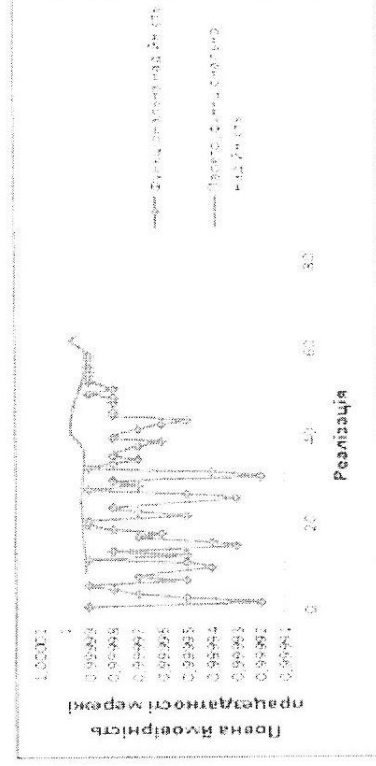


Рисунок 1. – Розподілення повної імовірності працездатності транспортної ТКМ, визначення області Парето.

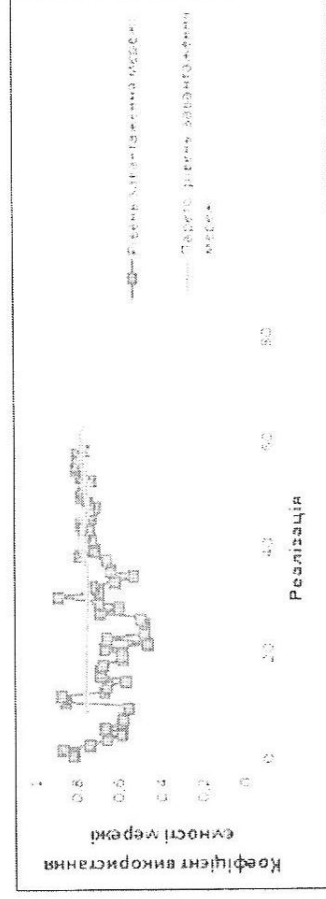


Рисунок 2. – Розподілення завантаження транспортної ТКМ, визначення області Парето.

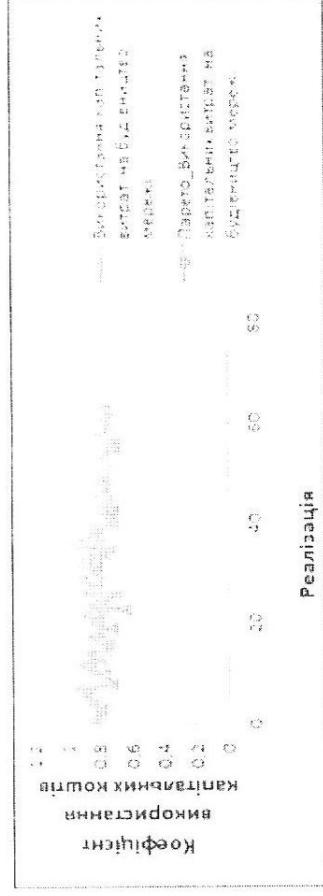


Рисунок 3. – Розподілення коефіцієнта використання капітальних коштів транспортної ТКМ, визначення області Парето.

Таблиця 2. - Параметри оптимальної транспортної ТКМ.

Варіант оцінювання	Надійність (P)	Навантаження $K(P)_{\text{навантаження}}$	Капітальні витрати $K(A)_{\text{вект}}$
Експерти	0,999995	0,76	0,75
Модель	0,999996	0,56	0,76

Для перевірки адекватності роботи запропонованого методу оптимізації структури мережі, результати моделювання були порівняні з оцінками експертів. Експертами виступали три інженери планування й розвитку транспортної мережі стільникового оператора зв'язку.

Порівнюючи отримані оптимальні структури мережі в результаті проведеного моделювання (рисунок 4) і роботи експертів (рисунок 5), слід зазначити, що структури транспортних ТКМ мають деяку подібність, оскільки організація вузлів у кільця обмежена індексами ємності вузлів, а, відповідно, і кільця. Відрізняються структури транспортних ТКМ за кількістю зв'язків між вузлами, за значеннями частинних критеріїв і також за варіантами утворення вузлів у кільця.

Значення оптимальних векторів, отриманих у результаті моделювання і роботи експертів, мають досить близький результат. Запропонований метод удосконалення структури транспортної ТКМ на основі частинних критеріїв є адекватним у своїй оцінці й дозволяє визначати оптимальні рішення не гірше роботи експертів та визначати на це менше

часу (програмний продукт – 184 с, експерти – 36 годин)

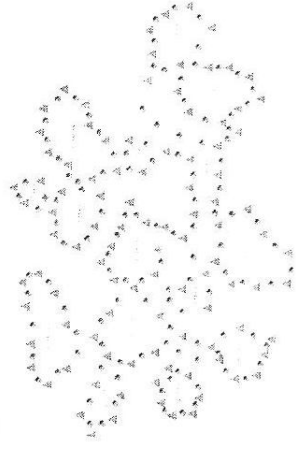


Рисунок 4. – Оптимальна структура мережі, що сформована моделлю.

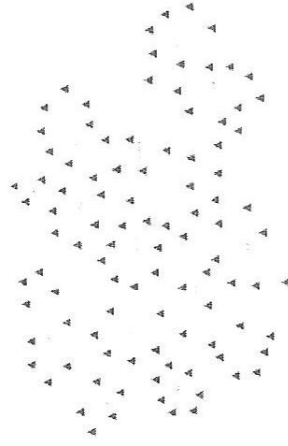


Рисунок 5. – Оптимальна структура мережі, що запропонована експертами.

Для оцінки переваги запропонованого методу удосконалення структури транспортної ТКМ були досліджені та проаналізовані залежності BER від кількості елементів, що відмовили, для удосконаленої та базової структур мережі (рисунк 6). Швидкість зниження коефіцієнта бітових помилок є більшою для мережі, до якої не застосовували запропонований метод, а отже вона швидше вийде зі стану працездатності. Проведемо оцінювання показників, які чисельно відобразять перевагу удосконалення структури транспортної ТКМ в порівнянні з базовою.

Виграш у стійкості до пошкоджень (ВСДП) відображує запас по BER, який дозволяє мережі, при відмові деякої кількості її елементів, не переходити у стан непрацездатності. Для оцінки даного критерію ефективно-

сті скористаємось середнім значенням коефіцієнта бітових помилок, що знаходиться в діапазоні $1 \cdot 10^{-9} \leq BER \leq 1 \cdot 10^{-11}$. Виграш у стійкості до пошкоджень визначається на основі кількості елементів для оптимізованої та неоптимізованої мережі, що відмовили при $BER = 5 \cdot 10^{-10}$.

Виграш у запасі надійності (ВЗН) для транспортних ТКМ при $1 \cdot 10^{-9} \leq BER \leq 1 \cdot 10^{-11}$ відображує відносне значення поліпшення оптимізованої системи по відношенню до неоптимізованої, відносно загальної кількості елементів.

Виграш у коефіцієнті бітових помилок (ВКБП) при 0 елементів, що відмовили, дозволяє оцінити перевагу оптимізованої мережі над неоптимізованою на етапі відсутності збоїв.

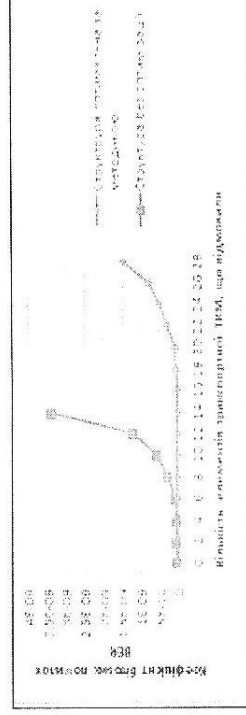


Рисунок 6. – Залежність BER від кількості елементів, що відмовили, для мережі до та після оптимізації.

Ступінь поліпшення для мережі з оптимізованою структурою відносно неоптимізо-

$$\begin{aligned} \text{ВСДП}_{\text{BER}} &= 5 \cdot 10^{-10} = \\ &= 58\%, \text{ВЗН}_{1 \cdot 10^{-9} \leq \text{BER} < 10^{-11}} = \\ &= 3\%, \text{ВКБП}_{\text{ККБ}} = 4 \cdot 10^{-11} \end{aligned}$$

Висновки

Розроблений метод удосконалення структури транспортних ТКМ, а також розроблений на його основі програмний продукт, дозволяють спростити процес прийняття суб'єктивних рішень інженерами планування, на основі яких, на сьогоднішній день, відбувається оптимізація та планування транспортних ТКМ, вибір розташування зв'язків між вузлами, що пов'язане з проведенням численних експериментів і досліджень на існуючому

ваної для варіанту мережі, що досліджувався в даній роботі, чисельно складає: встаткуванні мереж та істотно підвищує надійність і вартість процесу розгортання або модернізації мереж.

Отримані параметри ефективності, вказують на перевагу оптимізованої структури мережі, а отже і підкреслюють адекватність і ефективність запропонованого методу оптимізації структури транспортної ТКМ.