

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

ГРИЩЕНКО ІННА ВОЛОДИМИРІВНА



УДК 621.391:004.056.3

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ЖИВУЧОСТІ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій, Навчально-науковому інституті холоду, кріотехнологій та екоенергетики імені Мартиновського В.С.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Князєва Ніна Олексіївна,
Одеська національна академія харчових технологій,
завідувач кафедри інформаційних систем та мереж.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Семенко Анатолій Іларіонович,
Державний університет телекомунікацій,
професор кафедри телекомунікаційних систем;

доктор технічних наук, професор,
Кучук Георгій Анатолійович,
Харківський університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
провідний науковий співробітник наукового центру
Повітряних Сил.

Захист відбудеться «23» жовтня 2015р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 в Українському державному університеті залізничного транспорту, 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту, 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха 7.

Автореферат розісланий «15» _09_2015р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради



К.А. Трубчанінова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток телекомунікацій обумовлює необхідність створення і надійного функціонування мереж, що забезпечують ефективну роботу користувача з різноманітною інформацією в телекомунікаційних мережах (ТКМ). Однією з основних характеристик ТКМ є надання можливості отримання необхідної інформації для задоволення особистих потреб користувачів. Ефективність функціонування ТКМ залежить від багатьох властивостей, серед яких однією з найважливіших є живучість. Забезпечення живучості ТКМ стає все більш актуальним в зв'язку з інтенсивним розвитком телекомунікацій технологій. Живучість забезпечує визначальну можливість системи своєчасно виконувати свою місію, а саме забезпечувати прийнятний рівень обслуговування, навіть якщо нормальна експлуатація мережі ускладнюється різними проблемами.

Аналіз науково-технічної літератури показує, що дослідження живучості безпосередньо пов'язане з аналізом та оцінкою живучості на різних рівнях проектування, моделювання і функціонування систем та мереж. Подібними питаннями займалися та займаються як українські, так і іноземні вчені. Слід визначити роботи наступних авторів: Б. М. Стрихалюк, М. М. Климаш, М. В. Кайдан, А. Д. Іванніков, Н. О. Князева, А. П. Пятибратов, А.М. Юрков, Л. А. Крукиєр, Н. С. Рузанова, О. Ю. Насадкіна, В. И. Комашинський, та інші. Слід відмітити також праці вчених далекого зарубіжжя: E. Auer, D. Helmstädt, C. Hoogendoorn, G. Ohlendorf, S. V. Ahamed., V. B. Lawrence, Y. Shprungin, R. Vaisman та ін.; у розвиток методів і моделей оцінки та аналізу живучості ТКМ істотний внесок зробили такі вчені: А. К. Скуратов Г. Н. Черкесов, Ю. Ю. Громов, В. О. Драчов, К. А. Набатов, О. Г. Іванова, А. Г. Додонов, М. Г. Кузнєцова, Ю. І. Стекольніков, В. П. Блукке, Д. Е. Вінокуров, Ю. Е. Малашенко, М. Б. Ахмаді, Н. М. Новікова, Ю. П. Зайченко, В. К. Попков та інші.

Незважаючи на те, що у даний час існують різні аналітичні моделі і методи оцінки та підвищення живучості мереж, що засновані на різноманітних підходах, сьогодні існує чимало проблем аналізу живучості ТКМ, які залишаються все ще недостатньо дослідженими. Особливо актуальними залишаються питання забезпечення необхідного рівня структурної живучості телекомунікаційної мережі, адже підтримка структурної живучості забезпечує безпосередню працездатність мережі зв'язку під впливом різних зовнішніх несприятливих впливів (НВ), здатних виводити з ладу окремі ділянки мережі на досить тривалий термін. Актуальність дослідження зумовлена ще й тим, що в даний час наростає необхідність у вдосконаленні методів, які нейтралізують силу негативних впливів на телекомунікаційну мережу. Особливої уваги потребує вирішення наступних задач: оцінка працездатності ТКМ та аналіз живучості під час впливу негативних дій, забезпечення функціонування ліній та вузлів зв'язку не зважаючи на НВ на мережу, що приводять до зміни показників живучості.

Таким чином, забезпечення структурної живучості мереж зв'язку сьогодні стає невід'ємною умовою для безвідмовного надання користувачам широкого спектру телекомунікаційних послуг.

Науково-технічна задача дисертації – розробка і удосконалення методів оцінки та підвищення структурної живучості телекомунікаційних мереж.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження в дисертаційній роботі проводились згідно наступним нормативним актам:

1. Концепція національної програми інформатизації, схвалена Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого 1998 р., № 75/98-ВР.

2. Концепція розвитку зв'язку України до 2010 року, затверджена постановою Кабінету Міністрів України «Про Концепцію розвитку зв'язку України до 2010 року» від 9 грудня 1999 р., № 2238.

3. Державна науково-технічна програма «Створення перспективних телекомунікаційних систем та технологій».

4. Концепція створення Державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення керування рухливими об'єктами, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 17 липня 2003 р., № 410-р.

5. Концепція розвитку науки і техніки, наведеними в «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на 2011-2015 роки», затвердженому Постановою Кабінету міністрів України № 942 від 7.09.2011.

6. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 червня 2006 р. № 316-р.

Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводились згідно з державними планами НДР, програмами та договорами, які виконуються на кафедрі Інформаційних систем та мереж Одеської національної академії харчових технологій, а також в інших організаціях:

– «Принципи створення інтелектуальної надбудови в мережах наступного покоління» (Одеська національна академія харчових технологій, №ДР 0115U000286) від 14.01.2015р, ИК 15/05;

– «Підвищення ефективності функціонування мереж наступного покоління» (Одеська національна академія харчових технологій, №ДР 0115U004197) від 10.04.2015р, МК 15/07-ИСМ;

– «Розробка методів синтезу інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у складних об'єктах управління» (Одеська національна академія харчових технологій).

Участь автора у зазначених науково-дослідних темах та проектах, в яких дисертант був безпосереднім виконавцем, полягає в розробці методів оцінки та підвищення живучості телекомунікаційної мережі.

Мета та задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення структурної живучості телекомунікаційних мереж для забезпечення їх безвідмовного функціонування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити сформульовану в роботі загальну науково-технічну задачу дисертації. У свою чергу, для вирішення загальної науково-технічної задачі дисертації необхідно вирішити наступні частинні наукові задачі досліджень:

1. Дослідити ролі процесів оцінювання структурної живучості ТКМ.
2. Проаналізувати існуючі методи оцінки та підвищення живучості ТКМ.
3. Удосконалити метод оптимального структурного резервування гілок для підвищення структурної живучості ТКМ.
4. Удосконалити метод визначення та підтримки параметру «посередництво» для підвищення структурної живучості ТКМ.
5. Удосконалити метод перерозподілу інформаційних потоків мережі для підвищення структурної живучості ТКМ.
6. Розробити кількісну оцінку живучості ТКМ.
7. Надати подальший розвиток методам реалізації систем прийняття рішень в управлінні структурною живучістю ТКМ.
8. Надати подальший розвиток системам управління структурною живучістю ТКМ на підставі застосування удосконалених методів оцінки та підвищення структурної живучості.

Об'єкт досліджень – процес управління структурною живучістю телекомунікаційних мереж.

Предмет досліджень – методи підвищення структурної живучості телекомунікаційних мереж.

Методи досліджень. Під час вирішення частинних задач дисертації використовувались методи системного підходу, теорії живучості, теорії графів, методи імітаційного моделювання та аналізу, методи дослідження операцій. Так, при розробці системи оцінки живучості при НВ та системи підвищення живучості телекомунікаційних мереж використовувались елементи системного підходу. При вдосконаленні методів оптимального резервування та перерозподілу інформаційних потоків використовувались елементи методів дослідження операцій. В процесі аналізу комплекс задач про закономірності збереження мережею відповідної якості у разі пошкодження її елементів та засоби забезпечення даної властивості використовувались елементи теорії живучості. Для відображення структурної схеми мережі, а також при розрахунку середньозважених величин максимального потоку в мережі використовувались елементи теорії графів. При розробці програмного забезпечення системи підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю використовувались елементи імітаційного моделювання та аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. **Удосконалено** метод підвищення структурної живучості ТКМ на основі структурного резервування гілок мережі з максимальною «вагою», яка формується з урахуванням пріоритетності потоків, шляхи розподілення яких використовують ці гілки, що забезпечує стійке функціонування ТКМ та надає можливість оцінювати ймовірність неуразнення функціонування довільної пари вузлів ТКМ.

2. **Удосконалено** метод підвищення структурної живучості елементів ТКМ шляхом підтримки параметру «посередництво», який, на відміну від існуючих, надає можливість враховувати загальну кількість використовуваних шляхів, що проходять через певний вузол з урахуванням протоколів маршрутизації OSPF, IGRP,

EIGRP, що сприятиме отриманню більш точного значення цього параметру для забезпечення необхідного рівня структурної живучості мережі.

3. **Удосконалено** метод підвищення структурної живучості ТКМ шляхом перерозподілу інформаційних потоків вимог, який, на відміну від існуючих, дозволяє виконати кількісну оцінку працездатності мережі.

4. **Уперше розроблено** кількісну оцінку живучості ТКМ, значенню якої (рівному «1») відповідає зважена за пріоритетами вимог сума пропускових спроможностей маршрутів обслуговування вимог в умовах нормального (без НВ) функціонування ТКМ, зміна значення якої в умовах НВ надає можливість визначити міру працездатності ТКМ.

5. **Отримали подальший розвиток** методи реалізації системи прийняття рішень в управлінні структурною живучістю ТКМ, використання яких надає можливість керувати процесом прийняття рішень з метою безвідмовного функціонування ТКМ в умовах НВ.

6. **Отримали подальший розвиток** системи управління структурною живучістю ТКМ на підставі застосування удосконалених методів оцінки та підвищення структурної живучості.

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає в наступному.

1. Результати розрахунків показали, що застосування удосконаленого методу підвищення структурної живучості ТКМ на основі оптимального структурного резервування гілок мережі забезпечує зменшення трудомісткості процесу на 10%-12% у порівнянні з існуючими методами.

2. Результати розрахунків показали, що застосування удосконаленого методу підвищення структурної живучості ТКМ шляхом підтримки параметру «посередництво» забезпечує зменшення трудомісткості процесу на 8%-10% у порівнянні з існуючими методами.

3. Результати розрахунків показали, що застосування удосконаленого методу забезпечення структурної живучості ТКМ шляхом оптимального перерозподілу інформаційних потоків з використанням розробленої кількісної оцінки структурної живучості забезпечує підвищення працездатності мережі в умовах НВ на 9%-12% у порівнянні з існуючими методами.

4. У інтегрованому середовищі розробки Visual C++ розроблено програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю, що реалізує удосконалені методи підвищення структурної живучості.

5. Вірогідність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених в дисертаційній роботі, обґрунтована коректним використанням математичного апарату та моделюванням на ЕОМ.

Результати наукових досліджень знайшли практичне застосування в науково-дослідній та навчальній роботі Навчально-наукового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій, у проектній роботі Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення» (УНДІРТ), що є головним галузевим інститутом, який відповідає за науково-технічне забезпечення

галузі та координує проведення системних досліджень науково-дослідних організацій та підприємств Держспецзв'язку та захисту інформації України, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Особистий вклад автора полягає в розробці та удосконаленні методів підвищення живучості телекомунікаційних мереж. Отримані наукові результати забезпечують вирішення поставлених у дисертації частинних задач досліджень. Усі основні наукові та практичні результати дисертації отримані особисто автором. Роботи [1, 3, 5-10, 13-17], опубліковані без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: обґрунтування важливого значення живучості NGN та застосування резервування для забезпечення працездатності мереж у випадку відмови окремих її частин [2], удосконалено метод забезпечення живучості ТКМ шляхом структурного резервування [4], розроблено кількісну оцінку стану працездатності ТКМ [11]; удосконалено оцінювання якості мереж наступного покоління показниками структурної живучості [12].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і практичні результати дисертаційного дослідження доповідались і обговорювались на XV Всеукраїнській НТК молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (м. Одеса, 29 квітня 2015р.); XIV Всеукраїнській НТК молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (м. Одеса, 17-18 квітня 2014р.); XII Всеукраїнській НТК «Математичне моделювання та ІТ» (м. Одеса, 11-12 листопада 2014р.); Міжвузівській науково-технічній студентській конференції «ІТ та кібербезпека» (м. Одеса, 14-18 квітня 2014р.); XVIII Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь ХХІ століття» (м. Харків, 14-16 квітня 2014р.); Всеукраїнській НПК аспірантів, молодих учених і студентів «ІТ в освіті, техніці та промисловості, ІТОТП - 2013» (м. Івано-Франківськ, 8-11 жовтня 2013р.); Міжнародній дистанційній науковій конференції Science and Education a new Dimension, Natural and Technical Science, Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe, Budapest, 2013р.; X Всеукраїнській конференції студентів і молодих науковців «Інформатика, інформаційні системи та технології» (м. Одеса, 29 березня 2013г.); XVII-му Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь ХХІ століття» (м. Харків, 22-24 квітня 2013р.); XIII Всеукраїнській НТК молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (м. Одеса, 18-19 квітня 2013р.); XI Всеукраїнській НТК «Математичне моделювання та ІТ» (м. Одеса, 21-23 листопада 2012р.); XII Всеукраїнській НТК молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (м. Одеса, 11-12 квітня 2012р.); X Всеукраїнській НТК «Математичне моделювання та ІТ» (м. Одеса, 23-25 листопада 2011р.).

Публікації. На тему дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць, в тому числі 4 статті у фахових журналах [6, 11] і збірниках наукових праць [4, 12], одна у зарубіжному журналі «Science and Education a new Dimension, Natural and Technical Science» [5] та 12 матеріалів доповідей на науково-технічних конференціях [1-3, 7-10, 13-17].

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків по дисертації, списку використаної літератури та одинадцяти додатків. Повний обсяг дисертації складає 192 сторінки, у тому числі: 146 сторінок основного тексту, бібліографія зі 112 найменувань на 12 сторінках, 12 додатків на 33 сторінках. Дисертація написана українською мовою.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Вступ дисертаційної роботи містить: сутність і стан наукової задачі, обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету і завдання дослідження, сформульовано об'єкт, предмет дослідження, представлені методи дослідження, визначено основні елементи наукової новизни особисто одержаних автором результатів, зазначено зв'язок роботи з науковими планами, темами.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану питань оцінки та підвищення структурної живучості ТКМ. Визначено етапи розвитку, а також фактори, які впливають на рух і формування інформаційного суспільства. Показано, що активний розвиток телекомунікаційних та інформаційних технологій чинять вирішальний вплив на розвиток телекомунікацій. Показано важливість задач оцінки та підвищення структурної живучості ТКМ. Визначено, що ці задачі виникають у зв'язку з необхідністю підтримки працездатності елементів мережі та безвідмовного функціонування мережі при відмовах, що виникають у разі НВ на мережу. Розглянуто основні причини та фактори, що викликають пошкодження або руйнування елементів ТКМ. Визначено складові властивості живучості та види живучості, критерії та показники живучості телекомунікаційних мереж. Показано, що підвищення структурної живучості є одним з найбільш важливих напрямків забезпечення ефективного функціонування та працездатності ТКМ.

На основі проведеного дослідження питань забезпечення живучості ТКМ виявлені основні задачі, що пов'язані з оцінкою зв'язності топологічної структури мережі, підтримкою та управлінням структурною живучістю. Показана необхідність вдосконалення існуючих та розробки нових методів підвищення структурної живучості, які мають урахувати фактори, що впливають на процеси розподілення потоків вимог у ТКМ.

У другому розділі удосконалено методи оцінки та підвищення структурної живучості телекомунікаційних мереж. На основі вирішення завдання оцінки та підвищення живучості та на основі аналізу досліджуваних робіт, а також з доведенням провідних вчених та інженерів зроблено висновок про те, що основними методами підвищення живучості є резервування та перерозподіл інформаційних потоків мережі при НВ на мережу.

Удосконалено метод підвищення структурної живучості ТКМ на основі структурного резервування гілок мережі з максимальною «вагою», яка формується з урахуванням пріоритетності потоків, шляхи розподілення яких використовують ці гілки, що забезпечує стійке функціонування ТКМ та надає можливість оцінювати ймовірність неураження функціонування довільної пари вузлів ТКМ.

При застосуванні методу підвищення структурної живучості (стійкості мережі до НВ), запропоновано використовувати оптимальне структурне резервування ділянок мережі (гілок) з урахуванням отриманих вагових характеристик гілок W_{xy} .

На основі цього здійснюється ранжування гілок. Розрахунок P_{ij} – ймовірності неуразення зв'язку (живучості) m_{ij} , як ймовірності неуразення хоча б одного k -го шляху $\mu_{ij}^k \in m_{ij}$.

$$P_{ij} = (1 - \prod_{\mu_{ij}^k \in m_{ij}} (1 - \prod_{b_{xy} \in \mu_{ij}^k} p_{xy})), \quad (1)$$

де p_{xy} – ймовірність неуразення гілки $b_{xy} \in \mu_{ij}^k$, k – номер чергового шляху μ_{ij}^k .

Резервування здійснюється в послідовності кроків, яка визначається значимістю, або пріоритетністю d_{ij} потоків ϕ_{ij} , що використовують шляхи $\mu_{ij}^k \in m_{ij}$, в порядку, що визначається номером гілок (рангом).

На кожному наступному кроці резервування значення P_{ij} для чергових зв'язків, що включають чергову резервовану гілку, визначаються з урахуванням показників живучості досягнутих в результаті їх резервування на попередніх кроках. Показник структурної живучості мережі розраховується як середньозважене значення ймовірності неуразення всіх зв'язків:

$$P_{\text{мережі}} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d_{ij} P_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d_{ij}}. \quad (2)$$

Оптимальне резервування дає можливість отримати структуру резерву гілок мережі та вартість резервного обладнання, що забезпечує стійке функціонування мережі відповідно з необхідними характеристиками структурної живучості мережі.

Задачу оптимального резервування гілок мережі сформульовано в термінах математичного програмування, як мінімізацію витрат на резервування, що забезпечується за рахунок запропонованої послідовності вибору потоків відповідно до їх пріоритетності, а також резервування гілок мережі у відповідності з послідовністю, яка визначається їх рангами. Рішення задачі оптимального резервування може здійснюватися у формі зворотного завдання (при обмежених ресурсах) – максимізація показника структурної живучості мережі.

Метод підвищення структурної живучості шляхом оптимального структурного резервування гілок, представлений автором у вигляді блок-схеми на рис. 1, включає: визначення основних «контрольованих ознак», що характеризують режим нормального функціонування та відіграють значну роль в управлінні структурним резервуванням, а саме: ознака відповідності (*C-ознака*) та ознака достатності (*D-*

ознака); отримання вагових оцінок всіх гілок мережі, що характеризують ступінь впливу виходу з ладу гілок на структурну живучість мережі; визначення пріоритетів вимог, які використовуються для врахування важливості потоків.

У якості порівняльного аналізу було проведено експериментальне порівняння існуючих підходів до структурного резервування гілок та удосконаленого, в рамках даної роботи, методу оптимального структурного резервування гілок мережі.

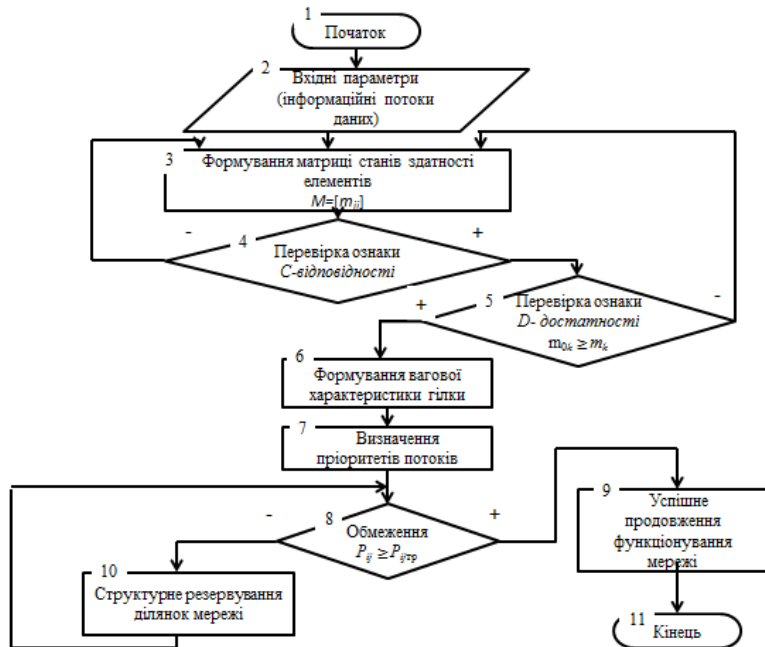


Рис. 1. Блок-схема реалізації методу структурного резервування

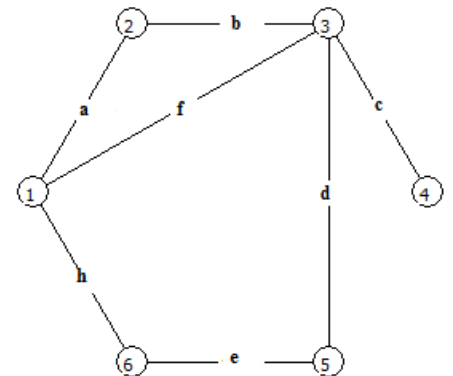


Рис. 2. Граф мережі

За даним методом пряма задача оптимального структурного резервування була вирішена на прикладі мережі, наданої на рис. 2, з даними, наведеними в табл. 1.

Задані характеристики мережі

Таблиця 1

Гілка	a	b	c	d	e	f	h
Вартість (у.о)	1	2	3	5	6	1	3
Ймовірність неураження	0,9	0,85	0,9	0,75	0,9	0,8	0,9
Пропускна спроможність	50	35	15	70	45	50	65

У таблиці 2 представлені результати оптимального структурного резервування гілок мережі без формування вагових характеристик гілок та задавання коефіцієнта, що враховує пріоритетність потоків.

Структура резерву гілок мережі матиме наступний вигляд: $M = (m_a, m_b, m_c, m_d, m_e, m_f, m_h) = (2, 2, 0, 2, 2, 3, 1)$. При цьому мінімальна можлива вартість резервного обладнання мережі складатиме 31 у.о. при заданому показнику живучості мережі $P_{мережі} \geq 0,99999$.

Таблиця 2

**Результати розрахунків показника структурної живучості без урахування
пріоритетності потоків**

№	m_a	P_a	m_b	P_b	m_d	P_d	m_e	P_e	m_f	P_f	m_h	P_h	$R_{мережі}$	C
0	0	0,900	0	0,850	0	0,750	0	0,900	0	0,800	0	0,900	0,96460	0
1	0	0,900	0	0,850	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,97633	1
2	1	0,990	0	0,850	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,98290	2
3	1	0,990	1	0,970	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,98783	4
4	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,99523	9
5	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	1	0,960	1	0,990	0,99743	12
6	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	2	0,990	1	0,990	0,99879	13
7	1	0,990	1	0,970	1	0,930	1	0,990	2	0,990	1	0,990	0,99974	19
8	1	0,990	1	0,970	2	0,980	1	0,990	2	0,990	1	0,990	0,99995	24
9	1	0,990	2	0,990	2	0,980	1	0,990	2	0,990	1	0,990	0,99997	26
10	2	0,999	2	0,990	2	0,980	1	0,990	2	0,990	1	0,990	0,99998	27
11	2	0,999	2	0,990	2	0,980	2	0,999	3	0,998	1	0,990	0,99998	28
12	2	0,999	2	0,990	2	0,980	2	0,999	3	0,998	1	0,990	0,99999	31

У таблиці 3 представлено результати вдосконаленого методу забезпечення структурної живучості ТКМ, шляхом структурного резервування гілок мережі з заданням вагових характеристик гілок та коефіцієнтів, що враховують важливість, або пріоритет потоків.

Таблиця 3

**Результати розрахунків показника структурної живучості удосконаленим
методом**

№	m_a	P_a	m_b	P_b	m_d	P_d	m_e	P_e	m_f	P_f	m_h	P_h	$R_{мережі}$	C
0	0	0,900	0	0,850	0	0,750	0	0,900	0	0,800	0	0,900	0,96536	0
1	0	0,900	0	0,850	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,97781	1
2	1	0,990	0	0,850	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,98443	2
3	1	0,990	1	0,970	0	0,750	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,98931	4
4	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	1	0,960	0	0,900	0,99567	9
5	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	1	0,960	1	0,990	0,99779	11
6	1	0,990	1	0,970	1	0,930	0	0,900	2	0,992	1	0,990	0,99916	12
7	1	0,990	1	0,970	2	0,985	0	0,900	2	0,992	1	0,990	0,99933	17
8	1	0,990	2	0,997	2	0,985	0	0,900	2	0,992	1	0,990	0,99993	19
9	2	0,999	2	0,997	2	0,985	0	0,900	2	0,992	1	0,990	0,99995	20
10	2	0,999	2	0,997	2	0,985	1	0,990	2	0,992	1	0,990	0,99999	26

Структура резерву використуваних гілок мережі матиме наступний вигляд:
 $M = (m_a, m_b, m_d, m_e, m_f, m_h) = (2, 2, 2, 1, 2, 1)$. При цьому мінімальна можлива вартість резервного обладнання мережі складатиме 26 у.о. при заданому показнику живучості мережі $R_{мережі} \geq 0,99999$.

Таким чином, удосконалений метод підвищення структурної живучості шляхом оптимального структурного резервування гілок, забезпечує зменшення трудомісткості на 10%-12% у порівнянні з існуючими методами.

За допомогою визначення показника, що характеризує рівень посередництва вузла з урахуванням загальної кількості використовуваних шляхів, що проходять через цей вузол та урахуванням протоколів маршрутизації OSPF, IGRP, EIGRP, що дозволяє отримати більш точне значення цього параметру для забезпечення необхідного рівня структурної живучості мережі сформульована задача оптимального резервування вузлового обладнання та удосконалено метод підвищення структурної живучості ТКМ шляхом підтримки параметру «посередництво». «Посередництво» вузла $q - N_q$ визначається відношенням кількості шляхів P_{ij}^q із вузла i в вузол j , що проходять через вузол q , до загальної кількості шляхів з вузла i у вузол $j - P_{ij}$ ($i, j = \overline{1, n}, i \neq j$; n – кількість вузлів мережі) та з введенням вагових характеристик:

$$N_q = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{k_{ij}^q} V_{ij}^k P_{ij}^q}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^n \sum_{k=1}^{k_{ij}^q} V_{ij}^k P_{ij}} \quad (3)$$

тут P_{ij}^q – кількість шляхів μ_{ij}^k , що проходять через вузол q , V_{ij}^k – вагова характеристика шляху μ_{ij}^k мережі. В якості вагової характеристики шляхів можна використовувати пріоритет вимог ϕ_{ij} .

Задачу оптимального резервування вузлів мережі сформульовано як задачу лінійного програмування, що забезпечує мінімальні сумарні витрати на елементи резерву обладнання вузлів з метою підтримки параметру «посередництво» на необхідному рівні. Рішення задачі оптимального резервування дає можливість визначати структуру резерву вузлів мережі, що забезпечує стійке функціонування мережі відповідно до вимог та забезпечення заданого рівня параметра «посередництво» вузлів мережі. Розроблений метод підвищення структурної живучості шляхом оптимального резервування вузлового обладнання, з урахуванням параметру «посередництво», представлений у вигляді блок-схеми на рис. 3. За даним методом задача оптимального резервування вузлів була вирішена на прикладі мережі, наданої на рис.2, та за вихідними даними, наведеними в табл. 4.

Таблиця 4

Вихідні дані

Гілка	a	b	c	d	e	f	h
Ймовірність неураження	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Вузол	1	2	3	4	5	6	
Вартість (у.о)	2	6	4	1	5	3	
Ймовірність неураження	0,8	0,9	0,85	0,9	0,75	0,9	

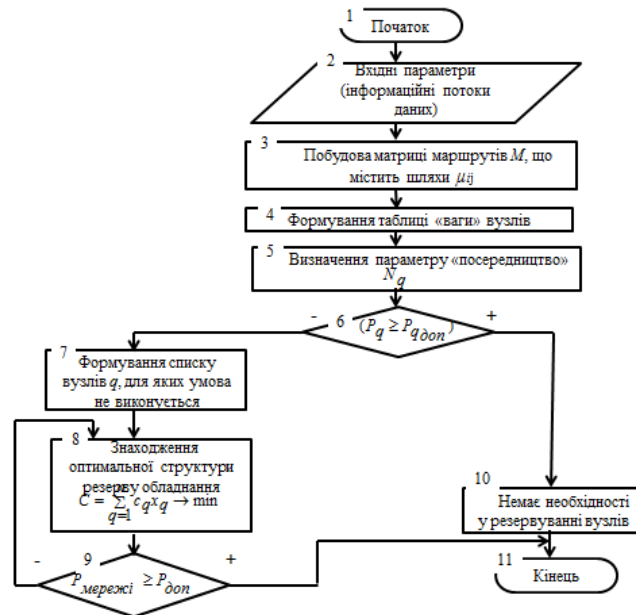


Рис. 3. Блок-схема реалізації методу оптимального резервування вузлового обладнання

У якості порівняльного аналізу було проведено експериментальне порівняння існуючих підходів до резервування вузлового обладнання з метою підтримки параметру посередництво та удосконаленого, в рамках даної роботи, методу підтримки параметру «посередництво». У таблиці 5 представлені результати розрахунків резервування «вузлів-посередників» мережі без формування вагових характеристик та задавання коефіцієнта, що враховує пріоритетність потоків.

Структура резерву вузлів мережі, матиме наступний вигляд: $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (3, 2, 2, 0, 2, 2)$, при цьому мінімальна можлива вартість резервного обладнання мережі складатиме 42 у.о. при допустимому показнику посередництва $P_{доп} = 0,9880$.

Таблиця 5

Результати розрахунків резервування «вузлів-посередників» без урахування пріоритетності потоків

	N_{q1}	a	N_{q2}	b	N_{q3}	d	N_{q5}	e	N_{q6}	f	h	$P_{мережі}$	C
1	0,960	0,900	0,900	0,900	0,850	0,900	0,750	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9611	2
2	0,960	0,900	0,900	0,900	0,850	0,900	0,930	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9653	7
3	0,960	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9784	11
4	0,960	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9817	14
5	0,960	0,990	0,990	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9837	20
6	0,990	0,900	0,990	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9856	22
7	0,990	0,900	0,990	0,900	0,970	0,900	0,980	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9863	27
8	0,990	0,900	0,990	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9875	31
9	0,990	0,900	0,990	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,992	0,900	0,900	0,9877	34
10	0,998	0,900	0,990	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,992	0,900	0,9	0,9879	36

11	0,998	0,900	0,999	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,992	0,900	0,900	0,9880	42
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	----

У таблиці 6 представлені результати вдосконаленого методу забезпечення структурної живучості ТКМ шляхом підтримки параметру «посередництво», з заданням вагових характеристик та коефіцієнтів, що враховують важливість, або пріоритет потоків мережі.

Структура резерву вузлів мережі, що забезпечуватиме стійке функціонування мережі відповідно до вимог та забезпечуватиме заданий рівень параметру «посередництво» матиме наступний вигляд: $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (3, 1, 2, 0, 2, 2)$, при цьому мінімальна можлива вартість резервного обладнання мережі складатиме 36 у.о. при допустимому показнику посередництва $P_{дон} = 0,9880$.

Таблиця 6

Результати розрахунків резервування «вузлів-посередників» удосконаленим методом

	N_{q1}	a	N_{q2}	b	N_{q3}	d	N_{q5}	e	N_{q6}	f	h	$P_{мережі}$	C
0	0,800	0,900	0,900	0,900	0,850	0,900	0,750	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9360	0
1	0,960	0,900	0,900	0,900	0,850	0,900	0,750	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9620	2
2	0,960	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,750	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9723	6
3	0,960	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9785	11
4	0,990	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,900	0,900	0,900	0,9812	13
5	0,990	0,900	0,900	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9836	16
6	0,990	0,900	0,990	0,900	0,970	0,900	0,930	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9854	22
7	0,990	0,900	0,990	0,900	0,970	0,900	0,980	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9865	27
8	0,998	0,900	0,990	0,900	0,970	0,900	0,980	0,900	0,990	0,90	0,900	0,9869	29
9	0,998	0,900	0,990	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,990	0,900	0,900	0,9878	33
10	0,998	0,900	0,990	0,900	0,990	0,900	0,980	0,900	0,999	0,900	0,900	0,9880	36

Таким чином, удосконалений метод забезпечує зменшення трудомісткості процесу на 8%-10% у порівнянні з існуючими методами.

Для оцінки структурної живучості розроблений критерій, який, на відміну від існуючих критеріїв, визначається пропускною спроможністю мережі (сумарною пропускною спроможністю всіх маршрутів) з урахуванням пріоритету вимог, що надає можливість виконувати кількісну оцінку працездатності мережі у разі здійснення НВ на елементи мережі. На підставі розробленої кількісної оцінки структурної живучості розроблено метод забезпечення живучості на основі оптимального перерозподілу інформаційних потоків мережі з урахуванням класу вимог з метою максимізації сумарної пропускної спроможності мережі.

$$C_0 = \sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n \sum_{k=1}^{K_{st}} f_{st} c_{st}^k, \quad (4)$$

де $s, t = \overline{1, n}$; $s \neq t$; n – кількість пунктів мережі; k – k -й маршрут, який використовується для обслуговування вимоги φ_{st} ; K_{st} – кількість використаних маршрутів для обслуговування вимоги φ_{st} ; c_{st}^k – пропускна спроможність k -го маршруту; f_{st} – коефіцієнт, що урахує вагу, тобто пріоритетність вимог φ_{st} .

У початковому стані, за відсутності НВ на мережу, приймається, що мережа є

повністю працездатною. Її стану працездатності S_0 ставиться у відповідність кількісна оцінка працездатності $OP_0 = 1$ (чи $OP_0 = 100\%$), тобто значення $OP_0 = 1$ відповідає сумарній пропускній спроможності C_0 всіх маршрутів μ_{st}^k , які використовуються для обслуговування в ТКМ вимог φ_{st} з урахуванням пріоритетності вимог $f_{st} \geq 1$.

Задачу перерозподілу інформаційних потоків мережі сформульовано наступним чином: отримати оптимальну організацію маршрутів між вузлами мережі, максимізуючи зважену цільову функцію – сумарну ємність маршрутів:

$$F = \sum_{\mu_i \in M} f_i c_i \rightarrow \max, \quad (5)$$

при наступних обмеженнях:

1) ємності маршрутів не можуть набувати негативних значень, тобто $c_i \geq 0$ для усіх $\mu_i \in M$;

2) сумарна ємність сукупності маршрутів між довільною парою пунктів ТКМ має дорівнювати (якщо це можливо) величині вимог, що підходять в мережу на обслуговування.

3) для будь-якої гілки b_{xy} мережі сумарна пропускна спроможність $c_i(s, t)$ усіх маршрутів μ_i , що проходять по цій гілці, не може перевищити її пропускної спроможності $c(x, y)$:

$$\sum_{\forall \mu_i \ni b_{xy}} c_i(s, t) \leq c(x, y), \quad (6)$$

($x, y = \overline{1, n}$; $s, t = \overline{1, n}$; n – кількість пунктів ТКМ).

Сутність запропонованого підходу полягає в наступному: визначаються маршрути μ_{st}^k вимог φ_{st} , які у стані S_i не в змозі реалізуватись, тобто ті, які включають мережеві елементи, на які було зроблено НВ.

Розроблений метод забезпечення структурної живучості шляхом перерозподілу інформаційних потоків у мережі, представлений у вигляді блок-схеми на рис. 4.

Визначається сумарна пропускна спроможність мережі у S_i стані (S_i – стан мережі в результаті i -го НВ). Після чого отримується оцінка працездатності OP_i ТКМ у стані S_i :

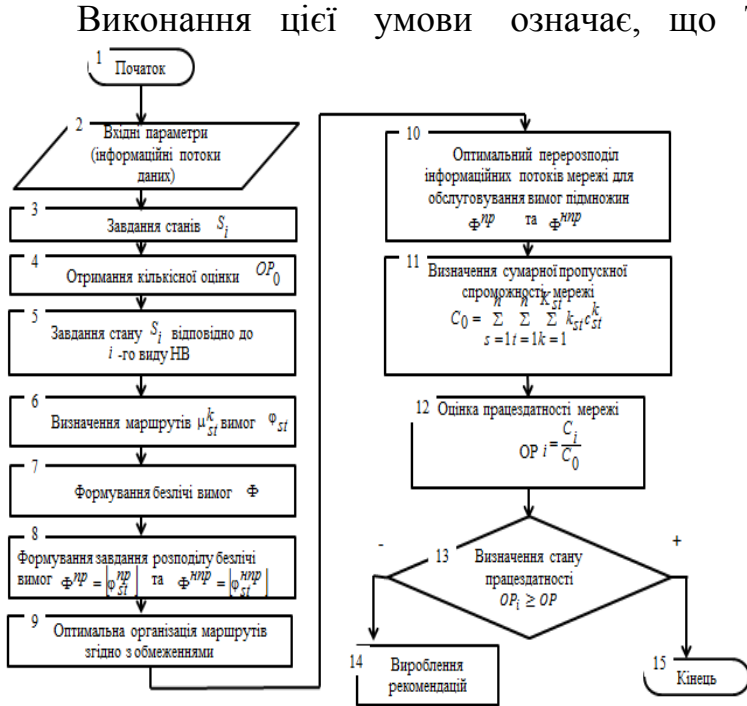
$$OP_i = \frac{C_i}{C_0} \quad \text{чи} \quad (OP_i = \frac{C_i}{C_0} * 100\%), \quad (7)$$

де C_0 – сумарна пропускна спроможність ТКМ у стані S_0 , що визначена на основі (4).

Відбувається порівняння відповідного стану працездатності OP_i ТКМ з

граничним допустимим значенням показника працездатності:

$$OP_{don}: OP_i \geq OP_{don}. \quad (8)$$



Порівняльна оцінка існуючих підходів щодо перерозподілу інформаційних потоків мережі та удосконаленого методу, з використанням розробленої кількісної оцінки працездатності мережі у разі виникнення НВ на елементи мережі показала, що застосування удосконаленого методу забезпечує підвищення працездатності мережі в умовах НВ на 9%-12% у порівнянні з існуючими методами.

Рис. 4. Блок-схема реалізації методу перерозподілу інформаційних потоків мережі

У третьому розділі розроблена система підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю.

На основі аналізу існуючих методів та моделей оцінки живучості автором розроблено систему оцінки живучості при НВ на ТКМ рис.6.

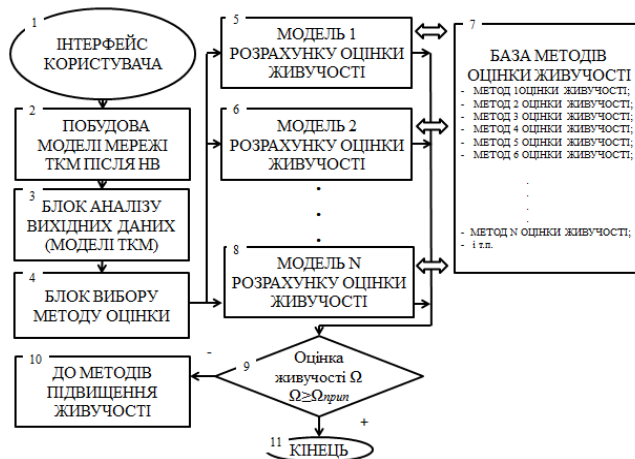


Рис. 6. Блок-схема системи оцінки живучості при несприятливих впливах на ТКМ

Використання розробленої системи надає можливість оцінювати стан живучості мережі різними методами оцінки живучості, що представлені в базі методів оцінки живучості, що сприятиме підвищенню ефективного та безвідмовного функціонування мережі.

На основі аналізу існуючих методів підвищення живучості автором розроблена система підвищення живучості ТКМ рис.7. Проектування системи підвищення живучості пов'язане з проблематикою прийняття рішень з використання наявних методів підвищення живучості.

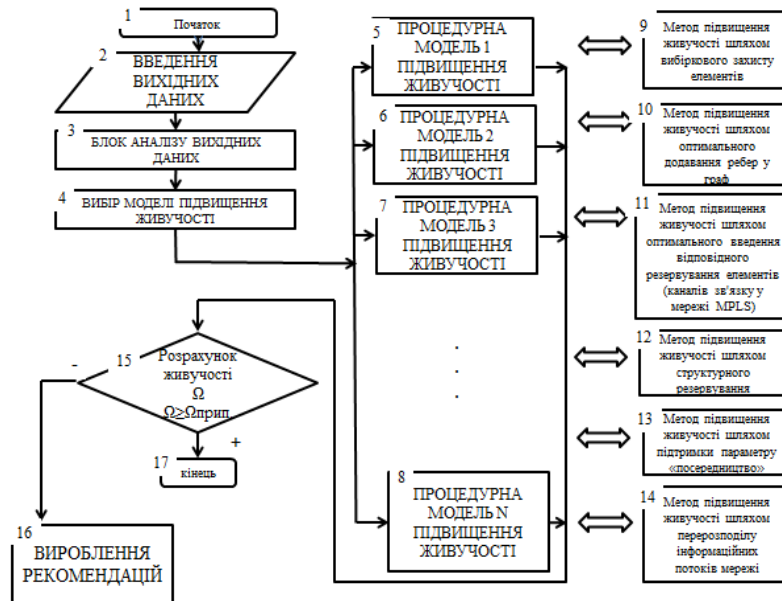


Рис.7. Блок-схема системи підвищення живучості ТКМ

Розроблено систему підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю (СППРУСЖ) ТКМ рис.8, яка шляхом аналізу безлічі інформації керує процесом прийняття рішень з метою безвідмовного функціонування мережі та призначена для підтримки функціонування мережі.

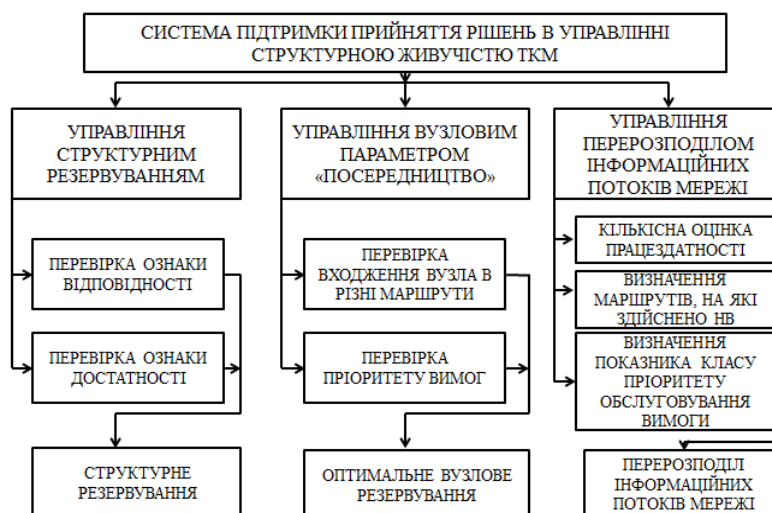


Рис.8. Система підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю ТКМ

Розроблені у другому розділі методи підвищення структурної живучості ТКМ, що входять до СППРУСЖ (рис.9), забезпечуючи зниження наслідків НВ на ТКМ, що негативно відображаються на функціонуванні ТКМ, знижуючи її живучість, руйнуючи мережу в цілому або окремі її елементи.

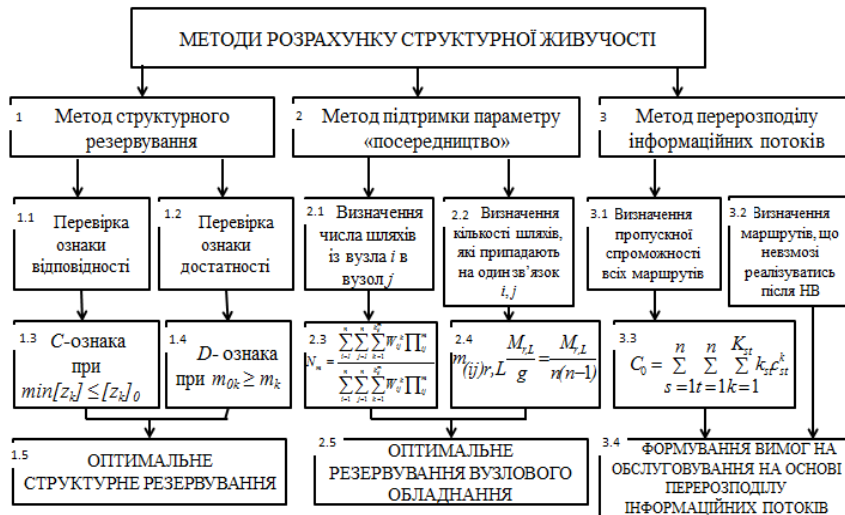


Рис.9. Методи розрахунку структурної живучості СППРУСЖ

Систему СППРУСЖ призначена для підтримки та упорядкування рішень в ситуаціях, що можуть виникати при несприятливому зовнішньому впливі на ТКМ, а також керувати процесом прийняття рішень з метою безвідмовного функціонування мережі. Функціонування СППРУСЖ можна представити у вигляді схеми, наданої на рис.10. Схема складається з трьох основних функціональних частин:

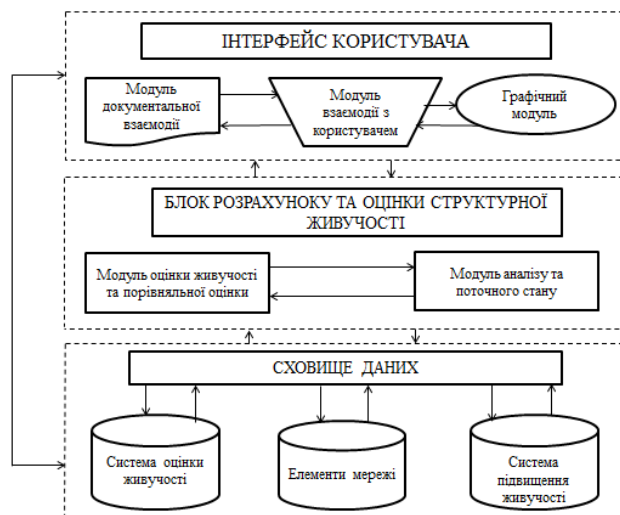


Рис.10. Схема системи СППРУСЖ

– користувальницького інтерфейсу, де відбувається завантаження параметрів моделі мережі (кількість вузлів, кількість гілок та пропускна спроможність

елементів) з відповідної бази даних та введення допустимої межі структурної живучості;

– блоку розрахунку та оцінки живучості. Оцінка здійснюється на підставі методів, представлених у системі оцінки живучості ТКМ, що відображено на рис.6. Якщо показник живучості мережі не відповідає припустимим значенням, відбувається звернення до бази системи методів підвищення живучості ТКМ, наданої на рис.7;

– блоку моделей та методів, до яких відбувається звернення для прийняття рішень щодо підвищення структурної живучості ТКМ (метод структурного резервування, метод підтримки параметру «посередництво» та метод перерозподілу інформаційних потоків мережі).

Багатофункціональна СППРУСЖ з комп'ютерним управлінням має можливість простого поетапного «нарощування», яке реалізується шляхом підключення нових модулів та нових удосконалених можливостей підтримки структурної живучості ТКМ.

Розроблено програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю. На рис.11 представлено зовнішній вигляд інтерфейсу користувача. Дані мережі, що відображаються у відповідному вікні, завантажуються з відповідної бази даних. Адміністратор мережі або користувач, що має відповідні права та доступ до бази даних, має можливість змінювати дані мережі, наприклад, пропускну здатність вузла чи гілки або при необхідності дані, щодо кількості елементів, що включає мережа.

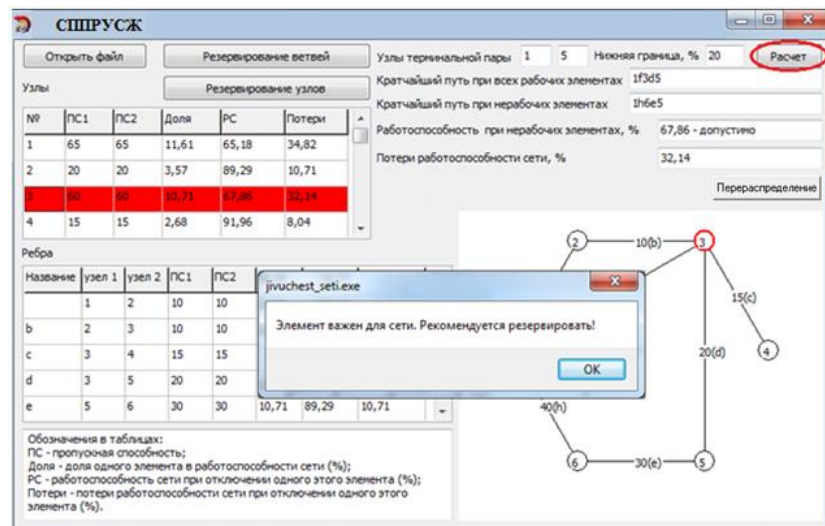
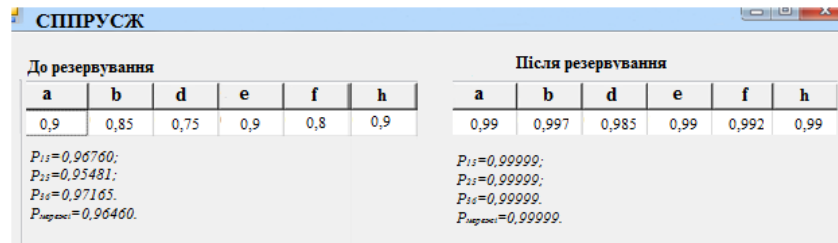


Рис.11. Зовнішній вигляд форми, яка містить елементи завантаженої мережі

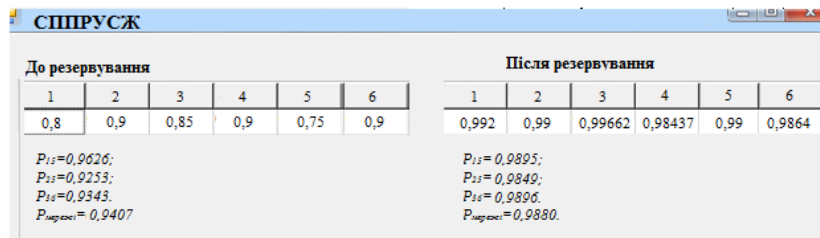
З використанням методу підвищення живучості шляхом оптимального структурного резервування були отримані значення показника живучості мережі до резервування та після резервування для різних маршрутів та для мережі в цілому, що представлено на рис.12.



До резервування						Після резервування					
a	b	d	e	f	h	a	b	d	e	f	h
0,9	0,85	0,75	0,9	0,8	0,9	0,99	0,997	0,985	0,99	0,992	0,99
<i>P₁₂</i> =0,96760; <i>P₂₃</i> =0,95481; <i>P₃₄</i> =0,97165. <i>P_{average}</i> =0,96460.						<i>P₁₂</i> =0,99999; <i>P₂₃</i> =0,99999; <i>P₃₄</i> =0,99999. <i>P_{average}</i> =0,99999.					

Рис.12. Зовнішній вигляд вікна порівняльного аналізу результату виконання оптимального резервування гілок

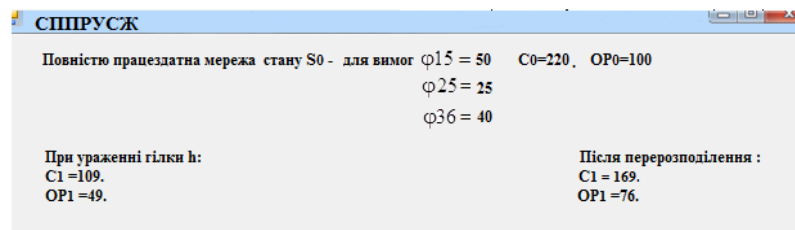
За допомогою використання методу підвищення живучості шляхом підтримки параметру «посередництво» були отримані значення, результати яких зведені у звітну форму та відображають порівняльний аналіз живучості до виконання резервування та після виконання резервування різних вузлів та для мережі в цілому, що представлені на рис.13.



До резервування						Після резервування					
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0,8	0,9	0,85	0,9	0,75	0,9	0,992	0,99	0,99662	0,98437	0,99	0,9864
<i>P₁₂</i> =0,9626; <i>P₂₃</i> =0,9253; <i>P₃₄</i> =0,9343. <i>P_{average}</i> =0,9407						<i>P₁₂</i> =0,9895; <i>P₂₃</i> =0,9849; <i>P₃₄</i> =0,9896. <i>P_{average}</i> =0,9880.					

Рис.13. Зовнішній вигляд вікна порівняльного аналізу результату виконання оптимального резервування вузлів

За допомогою використання методу підвищення живучості шляхом перерозподілу інформаційних потоків мережі, були отримані значення, результати яких зведені у звітну форму та відображають порівняльний аналіз живучості до та після перерозподілу інформаційних потоків мережі, що представлені на рис.14.



Повністю працездатна мережа стану S0 - для вимог		$\phi_{15} = 50$	$C_0 = 220$	$OP_0 = 100$
		$\phi_{25} = 25$		
		$\phi_{36} = 40$		
При ураженні гілки h:		Після перерозподілення :		
$C_1 = 109$		$C_1 = 169$		
$OP_1 = 49$		$OP_1 = 76$		

Рис.14. Зовнішній вигляд вікна порівняльного аналізу результату виконання перерозподілу інформаційних потоків мережі

Практична реалізація використання системи підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю показала ідентичність отриманих результатів з результатами розрахунків, наведеними у другому розділі даної роботи, що підтверджує працездатність розробленої системи.

Аналіз результатів роботи системи СППРУСЖ дозволив зробити висновок: використання розроблених методів підвищення структурної живучості надає можливість безвідмовного функціонування ТКМ в несприятливих для мережі умовах, при пошкодженні мережі або відмові окремих елементів.

Результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування в науково-дослідній роботі Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій, а також в навчальному процесі Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики, що підтверджуються відповідними актами впровадження.

ВИСНОВКИ

Науковий результат дисертаційної роботи знайшов свою конструктивну реалізацію в наступному комплексі положень, методичних рішень і практичних рекомендацій щодо оцінки та підвищення структурної живучості телекомунікаційних мереж:

1. Досліджено та визначено, що задачі оцінки та підвищення живучості ТКМ виникають у зв'язку з необхідністю підтримки працездатності елементів мережі та її функціонування в умовах НВ на мережу. Визначено, що підвищення структурної живучості є одним з найбільш важливих напрямків забезпечення ефективного функціонування та працездатності ТКМ.

2. На основі аналізу існуючих методів оцінки та підвищення живучості ТКМ показана необхідність удосконалення існуючих та розробки нових методів та підходів щодо підвищення структурної живучості, які мають урахувувати фактори, що впливають на процеси розподілення потоків вимог у ТКМ.

3. Удосконалено метод підвищення структурної живучості ТКМ на основі оптимального структурного резервування гілок мережі, який, на відміну від існуючих, враховує вагові характеристики гілок мережі та пріоритетність потоків, що забезпечує стійке функціонування ТКМ та надає можливість оцінювати ймовірність неураження функціонування довільної пари вузлів ТКМ. Удосконалений метод забезпечує зменшення трудомісткості процесу на 10%-12% у порівнянні з існуючими методами.

4. Удосконалено метод підвищення структурної живучості елементів ТКМ шляхом підтримки параметру «посередництво», який, на відміну від існуючих, надає можливість враховувати загальну кількість використовуваних шляхів, що проходять через певний вузол з урахуванням протоколів маршрутизації OSPF, IGRP, EIGRP, що дозволяє отримати більш точне значення цього параметру для забезпечення необхідного рівня структурної живучості мережі. Удосконалений метод забезпечує зменшення трудомісткості процесу на 8%-10% у порівнянні з існуючими методами.

5. Уперше розроблено кількісну оцінку живучості ТКМ, значенню якої (рівному «1») відповідає зважена за пріоритетами вимог сума пропускнув спроможностей маршрутів обслуговування вимог в умовах нормального (без НВ) функціонування ТКМ, зміна значення якої в умовах НВ надає можливість визначити міру працездатності ТКМ.

6. На підставі розробленої кількісної оцінки структурної живучості удосконалено метод підвищення структурної живучості ТКМ шляхом перерозподілу інформаційних потоків мережі з урахуванням класу вимог з метою максимізації

сумарної пропускної спроможності мережі. Удосконалений метод забезпечує підвищення працездатності мережі в умовах НВ на 9%-12% у порівнянні з існуючими методами.

7. Розроблено систему оцінки та систему підвищення живучості при НВ на мережу, використання яких надає можливість оцінювати стан живучості мережі з використанням удосконалених методів, що сприятиме підвищенню ефективного та безвідмовного функціонування мережі.

8. Розроблено архітектуру системи управління живучістю, яка виконує функції системи підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю, використовуючи розроблені удосконалені методи підвищення структурної живучості ТКМ.

9. Розроблено систему підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю ТКМ, яка шляхом аналізу безлічі інформації керує процесом прийняття рішень з метою безвідмовного функціонування ТКМ.

10. Розроблено програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю, що реалізує удосконалені методи підвищення структурної живучості ТКМ для вирішення наступних задач: резервування тих гілок мережі, що найбільшою мірою впливають на підвищення ефективності функціонування ТКМ; пошук та резервування тих вузлів-посередників, які мають найбільший рівень посередництва та відіграють головну роль у встановленні зв'язків з іншими вузлами; перерозподіл інформаційних потоків ТКМ та оцінка працездатності мережі при зміні її топології або відмові мережевих елементів в результаті НВ за допомогою розробленої кількісної оцінки структурної живучості мережі.

11. Програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю реалізовано наступними засобами: Visual C++ – інтегроване середовище розробки додатків на мові C++, яке є частиною комплексу Microsoft Visual Studio. Практична реалізація використання системи підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю показала ідентичність отриманих результатів з результатами розрахунків, наведеними у підрозділах 2.3, 2.4, 2.5 даної роботи.

12. Подальший розвиток розробленої системи підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю передбачає ітеративне нарощування функціональності розробленого програмного забезпечення та ефективне його використання з метою підвищення структурної живучості ТКМ.

13. Обґрунтованість отриманих результатів засновується на коректному застосуванні основних положень теорії живучості, теорії графів та математичного апарату методів дослідження операцій.

14. Достовірність отриманих результатів підтверджується: заданими реальними вихідними даними, використанням апробованого математичного апарату, несуперечливістю отриманих даних відомим положенням теорії графів, збіжністю теоретичних результатів з експериментальними даними, отриманими шляхом математичного моделювання процесу резервування елементів мережі та перерозподілу інформаційних потоків.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Грищенко И. В. Методы обеспечения живучести телекоммуникационных сетей [Текст] / И. В. Грищенко // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, ОГАХ, 2011. - №5 (133). – С. 143–144.
2. Князева Н. А. Обеспечение живучести в сетях NGN (Next Generation Network) [Текст] / Н. А. Князева, И. В. Грищенко // Збірник наукових праць. – Одеса, ННІХКтаЕ, 2012. – С. 116–117.
3. Грищенко И. В. Проблема повышения живучести телекоммуникационных сетей [Текст] / И. В. Грищенко // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, ННІХКтаЕ, 2012. – С. 165–168.
4. Князева Н. А. Повышение живучести инфокоммуникационной сети путем структурного резервирования [Текст] / Н. А. Князева, И. В. Грищенко // Київ, Вісник ДУІКТ, 2012. - №2. – С. 21–25.
5. Грищенко И. В. Повышение живучести инфокоммуникационных сетей путем использования интеллектуальных систем [Текст] / И. В. Грищенко // Science and Education a new Dimension, Natural and Technical Science Vol. 8. Society for Cultural and Scientific Progress in Central and Eastern Europe. – BUDAPEST, SCSPCEE, 2013. - №8. – С. 140–143.
6. Грищенко И. В. Метод повышения живучести инфокоммуникационной сети [Текст] / И. В. Грищенко // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, ННІХКтаЕ, 2013. - №6. (146). – С. 66–70.
7. Грищенко И. В. Резервирование как способ повышения живучести инфокоммуникационных сетей [Текст] / И. В. Грищенко // Збірник наукових праць. – Одеса, ННІХКтаЕ, 2013. – С. 184–186.
8. Грищенко И. В. Резервирование ветвей инфокоммуникационной сети с целью повышения живучести [Текст] / И. В. Грищенко // Збірник наукових праць. – Одеса, ОНУ ім. І. І. Мечникова, 2013. – С. 164–166.
9. Грищенко И. В. Обеспечение живучести телекоммуникационной сети путем структурного резервирования [Текст] / И. В. Грищенко // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке. – Харків, ХНУРЕ, 2013. - №4. – С. 259–260.
10. Грищенко И. В. Принципы и методы резервирования ветвей маршрутов инфокоммуникационной сети [Текст] / И. В. Грищенко // Збірник тез доповідей. ІТ в освіті, техніці та промисловості. – Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2013. – С. 71–73.
11. Князева Н. О. Метод обеспечения живучести телекоммуникационной сети на основе перераспределения ресурсов сети [Текст] / Н. О. Князева, И. В. Грищенко, С. В. Шестопапов // Холодильная техника и технология. – Одеса, ННІХКтаЕ, 2014. - №4. (150). – С. 65–71.
12. Шестопапов С. В. Якість управління в NGN [Текст] / С. В. Шестопапов, І. В. Грищенко // Київ, Зв'язок, 2014. – С. 24–30.
13. Грищенко І. В. Оцінка ефективності реконфігурації телекомунікаційної мережі, як критерій живучості [Текст] / І. В. Грищенко // Спеціалізовані компютерні системи. – Одеса, ОНАХТ, 2014. – С. 64.
14. Грищенко І. В. Метод визначення живучості телекомунікаційної мережі на основі обчислення працездатності елементів [Текст] / І. В. Грищенко // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, ННІХКтаЕ, 2014. – С. 75.
15. Грищенко И. В. Система управления живучестью телекоммуникационной сети [Текст] / И. В. Грищенко // Стан досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій. – Одеса, ННІХКтаЕ, 2014. – С. 119–120.

16. Грищенко И. В. Критерии живучести телекоммуникационной сети [Текст] / И.В. Грищенко // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке. – Харків, ХНУРЕ, 2014. – С. 169-170.

17. Грищенко І. В. Розробка систем оцінки та підвищення живучості ТКМ [Текст] / І. В. Грищенко // Стан досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій. – Одеса, ННІХКтаЕ, 2015. – С. 137-139.

АНОТАЦІЯ

Грищенко І.В. Методи підвищення структурної живучості телекомунікаційних мереж. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи і мережі. – Український державний університет залізничного транспорту, Харків, 2015.

У дисертаційній роботі досліджуються питання аналізу і розробки методів підвищення структурної живучості телекомунікаційних мереж (ТКМ). На основі аналізу існуючих методів удосконалено метод підвищення структурної живучості ТКМ на основі структурного резервування гілок мережі з максимальною «вагою». Удосконалено метод підвищення структурної живучості елементів ТКМ шляхом підтримки параметру «посередництво», який надає можливість враховувати загальну кількість використовуваних шляхів, що проходять через певний вузол. Удосконалено метод підвищення структурної живучості ТКМ шляхом перерозподілу інформаційних потоків вимог, який дозволяє виконати кількісну оцінку працездатності мережі. Уперше розроблено кількісну оцінку живучості ТКМ, значенню якої відповідає зважена за пріоритетами вимог сума пропускних спроможностей маршрутів обслуговування вимог. Отримали подальший розвиток системи управління структурною живучістю ТКМ, що функціонують на підставі застосування удосконалених методів оцінки та підвищення структурної живучості. Розроблене програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень в управлінні структурною живучістю.

Результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування в науково-дослідній та навчальній роботі Навчально-наукового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій, у проектній роботі Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення», що підтверджується відповідними актами впровадження.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, структурна живучість, кількісна оцінка живучості ТКМ, вагова характеристика, пріоритет, пропускна спроможність, посередництво вузлів, перерозподіл потоків, несприятливий вплив.

АННОТАЦИЯ

Грищенко И.В. Методы повышения структурной живучести телекоммуникационных сетей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, 2015.

В диссертационной работе рассматривается вопрос оценки и повышения структурной живучести телекоммуникационной сети. Живучесть – это свойство сети адаптироваться к новой ситуации и противостоять негативным воздействиям, выполняя

при этом свою целевую функцию за счет соответствующего изменения структуры и поведения системы даже при серьезных повреждениях ее частей.

В диссертационной работе исследуются вопросы анализа и разработки методов, повышения структурной живучести телекоммуникационных сетей (ТКС). На основе анализа существующих методов усовершенствован метод повышения структурной живучести ТКС на основе структурного резервирования ветвей сети с максимальным «весом», который формируется с учетом приоритетности потоков, пути распределения которых используют эти ветви и позволяет оценивать вероятность непоражения функционирования пары узлов ТКС. Результаты расчетов показали, что применение усовершенствованного метода повышения структурной живучести ТКС на основе оптимального структурного резервирования ветвей сети обеспечивает уменьшение трудоемкости процесса на 10%-12% по сравнению с существующими методами. Усовершенствован метод повышения структурной живучести элементов ТКС путем поддержки параметра «посредничество», который, в отличие от существующих, позволяет учитывать общее количество используемых путей, проходящих через определенный узел, что способствует получению более точного значения этого параметра для обеспечения необходимого уровня структурной живучести сети. Результаты расчетов показали, что применение усовершенствованного метода повышения структурной живучести ТКС путем поддержки параметра «посредничество» обеспечивает уменьшение трудоемкости процесса на 8%-10% по сравнению с существующими методами. Усовершенствован метод повышения структурной живучести ТКС путем перераспределения информационных потоков требований, который, в отличие от существующих, позволяет выполнить количественную оценку работоспособности сети. Впервые разработана количественная оценка живучести ТКС, значению которой соответствует взвешенная по приоритетам требований сумма пропускных способностей маршрутов обслуживания требований, изменение значения которой в условиях неблагоприятного воздействия (НВ) позволяет определить степень работоспособности ТКС. Результаты расчетов показали, что использование количественной оценки структурной живучести и усовершенствованного метода обеспечения живучести на основе оптимального перераспределения информационных потоков сети с учетом класса требований, обеспечивает повышение работоспособности сети в условиях НВ на 9%-12% по сравнению с существующими методами. Получили дальнейшее развитие системы управления структурной живучестью ТКС, которые функционируют на основании применения усовершенствованных методов оценки и повышения структурной живучести.

В диссертационной работе разработана система оценки и система повышения живучести при НВ на сеть, использование которых дает возможность оценивать состояние живучести сети, что способствует повышению эффективного и безотказного функционирования сети.

Разработана архитектура системы управления живучестью, которая выполняет функции системы поддержки принятия решений в управлении структурной живучестью, используя разработанные усовершенствованные методы повышения структурной живучести ТКС.

Разработана система поддержки принятия решений в управлении структурной живучестью ТКС, которая путем анализа множества информации управляет процессом принятия решений с целью безотказного функционирования ТКС в условиях НВ.

Разработано программное обеспечение системы поддержки принятия решений в управлении структурной живучестью в Visual C ++ – интегрированной среде разработки приложений на языке C ++, которое является частью комплекта Microsoft Visual Studio.

Результаты диссертационной работы нашли практическое применение в научно-исследовательской и учебной работе Учебно-научного института холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В. С. Мартыновского Одесской национальной академии пищевых технологий, в проектной работе Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения», что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, структурная живучесть, количественная оценка живучести ТКС, весовая характеристика, приоритет, пропускная способность, посредничество узлов, перераспределение потоков, неблагоприятное воздействие.

ABSTRACT

Gryshchenko I.V. Methods to improve structural survivability telecommunication networks – Manuscript.

Dissertation for the competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on specialty 05.12.02 – telecommunication systems and networks. – Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2015.

The thesis investigates the analysis and design methods to increase structural survivability telecommunication networks (TCM). Based on the analysis of existing methods improved method of increasing structural survivability TCM based on structural branches reservation network with a maximum "weight". The method of increasing the survivability of the structural elements of TCM by support parameter "mediation", which allows to take into account the total number of used paths that pass through a node. The method of increasing structural survivability of TCM by redistribution of information flow requirements, which allows you to perform a quantitative assessment of disability network. First developed a quantitative assessment of the survivability of TCM, the value of which corresponds to the weighted sum of the requirements for the priorities carrying capacities routes servicing requirements. Further developed system of structural survivability of TCM, which operate on the basis of the use of improved methods for assessing and improving the structural survivability. The developed software decision support system to manage structural survivability.

Control system models of TN survivability were further developed in the implementation of TN structural survivability management capabilities. The results of the thesis have found practical application in the research and training work of the Educational and Research Institute of Refrigeration, cryotechnology and ecoenergetics after V.S. Martynovsky of Odessa National Academy of Food Technologies, in the design and production work of the State Enterprise "Ukrainian Research Institute of Radio and Television" as confirmed by the relevant implementation acts.

Keywords: telecommunication network, structural survivability, quantitative assessment of survivability of TCM, weight characteristics, priority, bandwidth, mediation units, reallocation flows, adverse effects.

Підписано до друку 10.07.2015 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір офсетний

Умовн.-друк.арк. 0,9.Тираж 100 прим. Замовлення № 55

Видавець та виготовлювач ФОП Колісніченко С.Ю.

Свідоцтво № 2 556 000 0000 115440