



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НСНОВ ОЛЕКСІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

**МЕТОДИ І МОДЕЛІ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ-2014

Дисертація на правах рукопису.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій
Міністерства освіти і науки України.

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сайко Володимир Григорович,
Державний університет телекомунікацій,
завідувач кафедри радіо технологій;

ОНАХТ

кандидат технічних
наук, доцент олченко

і Г" Г|І^Т Г- •



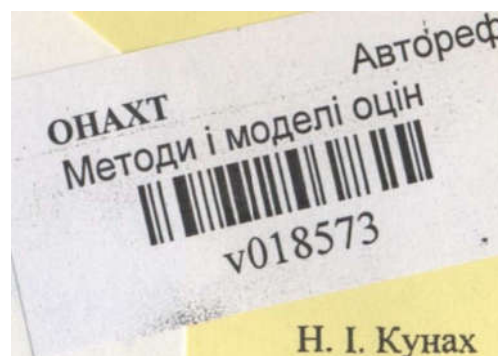
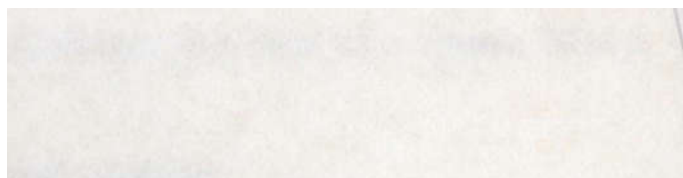
Галина Федорівна,
«Український науково-
інститут зв'язку», аступник

ослідний
директора з наукової роботи



Захист відбудеться «24» червня 2014 р. о 14⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої
~ >го університету телекомунікацій за адресою:

бібліотеці Державного університету
^олом'янська, 7.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток телекомунікаційних мереж (ТКМ) є сьогодні одним з найбільш важливих і перспективних практичних напрямків інформатизації суспільства. Цей розвиток неможливий без вирішення багатьох задач аналізу, контролю та забезпечення ефективності і якості функціонування ТКМ, серед яких важливе місце займає задача оцінки надійності ТКМ. Ця задача вирішується, щоб визначити, наскільки ТКМ здатна виконувати свої функції у заданих умовах експлуатації. ТКМ при цьому розглядається як цілісна система, що містить фізичну основу — лінії й вузли зв'язку, систему керування, систему технічного обслуговування та інші допоміжні системи, і яка функціонує в умовах впливу багатьох зовнішніх та внутрішніх факторів. Оцінка надійності зазвичай виявляється необхідною на будь-якому з етапів життєвого циклу ТКМ, причому необхідність ця є тим вищою, чим масштабнішою є мережа і чим більше значення має її використання у відповідних технологічних або суспільних процесах.

Аналіз науково-технічної літератури показує, наскільки різноманітна і багатопланова тема оцінки надійності ТКМ. Це пов'язано, в першу чергу, із приграничним її розташуванням у системі науково-технічних знань: на стику галузей загальної теорії надійності та теорії мереж, а також із багатоаспектністю проблеми аналізу надійності складних систем. Найбільш важливі наукові результати в теорії надійності мереж і складних систем отримані К. Шенноном та Е. Муром, Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляєвим, О. Д. Соловйовим, Р. Барлоу, Ф. Прошаном, Я. Б. Шором, І. М. Коваленко, І. О. Ушаковим, В. О. Гадасіним, І. Б. Герцбахом,

А. К. Кельмансом, В. П. Полеським, В. І. Нечипоренко, І. О. Рябініним, В. О. Богатирьовим, Г. Н. Черкесовим, А. М. Половко, Ч. Колборном, М. Боллом, Дж. Прованом, О. І. Губинським, К. Хьюї та іншими. Питання, пов'язані з аналізом та забезпеченням надійності ТКМ, піднімаються в роботах вітчизняних науковців: В. К. Стеклова, В. Б. Толубка, Л. Н. Беркман, В. В. Олійника, Є. В. Кільчицького, Н. О. Князевої, М. М. Климаша, Л. Н. Саковича та інших.

Незважаючи на те, що в різних розділах теорії надійності отримані значні наукові результати, багато проблем аналізу надійності ТКМ як складних, динамічних, багатоаспектних, унікальних, розподілених, ергатичних систем залишаються все ще недостатньо дослідженими. Особливої уваги потребують необхідність урахування внутрішньої та зовнішньої динаміки ТКМ під час аналізу її надійності, коли ТКМ розглядається як динамічна система з мінливою структурою, складом апаратного і програмного забезпечення вузлів зв'язку, умовами функціонування, що приводять до зміни кількісних показників надійності, а також необхідність урахування людського фактора. Класичний аналіз надійності ТКМ, як правило, не враховує усіх вказаних факторів, та й самі критерії успішності функціонування ТКМ часто залишаються недостатньо визначеними. Все це, а також необхідність проведення оперативного і адекватного аналізу надійності при проектуванні ТКМ для забезпечення показників якості, що задаються угодами про рівень послуг, обумовлює актуальність даної дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, наведеними в «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на 2011-2015 роки», затвердженому Постановою Кабінету міністрів України № 942 від 7.09.2011, а також з напрямом державної бюджетної науково-дослідної роботи, яка виконувалась на кафедрі інформаційних систем та мереж Одеської державної академії холоду у період з 2007 по 2012 роки (тема роботи — «Системні методи та засоби проектування і діагностики нанотехнологічних зосереджених та розподілених комп'ютерних інформаційних мереж та систем).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення достовірності і оперативності оцінки надійності ТКМ під час їх проектування та експлуатації шляхом розв'язання комплексу науково-технічних питань, пов'язаних з дослідженням, вдосконаленням, а також розробкою методів і моделей оцінки надійності ТКМ.

Об'єктом дослідження є процес аналізу і оцінювання надійності ТКМ під час їх проектування та експлуатації.

Предметом дослідження є принципи, підходи, методи і моделі оцінки надійності ТКМ.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові задачі:

1. Дослідження ролі процесів оцінювання надійності ТКМ різної топології у загальному комплексі задач з їх проектування та експлуатації та визначення питань, які потребують вирішення.

2. Аналіз існуючих моделей ТКМ і методів оцінки надійності ТКМ.

3. Вдосконалення існуючих методів та моделей оцінки надійності ТКМ з метою отримання оцінок надійності в умовах мінливості структури ТКМ та впливу на їх надійність багатьох факторів.

4. Запропонування нового методу, який надає можливість більш ефективної і оперативної оцінки надійності ТКМ в умовах мінливості її структури.

5! Визначення сукупності факторів, які визначають надійність ТКМ, запропонування способів їх класифікації з метою їх ефективного урахування.

6. Запропонування моделей комплексного урахування факторів, що визначають надійність ТКМ, які доцільно використовувати при практичній оцінці надійності

ТИМ.

7. Розробка програмного забезпечення для оцінки надійності ТКМ з використанням запропонованого методу.

8. Визначення умов ефективного використання запропонованого методу оцінки надійності ТКМ.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених в дисертаційній роботі задач використані методи і принципи системного підходу, теорії надійності, теорії графів, теорії випадкових процесів, методи алгоритмічного моделювання, методи детермінованого та стохастичного факторного аналізу. Зокрема, застосовувалися методи розрахунків структурної надійності звідних та незвідних двополюсних монотонних мережних структур; метод комплексної оцінки конкуренто-

спроможності; метод кореляційного і регресійного аналізу сукупності взаємозалежних ознак.

Наукова новизна одержаних результатів роботи полягає у наступному:

- вперше запропоновано аналітичний метод оцінки структурної надійності ТКМ за структурними характеристиками, використання якого дозволяє виконати оперативну оцінку надійності ТКМ в умовах мінливості її структури;
- вдосконалено модель випадкового графу — $G(n, L, p)$, використання якої дозволяє урахувати структурну динаміку і надійсні характеристики ТКМ під час аналізу їх структурної надійності;
- вдосконалено метод оцінки кількості шляхів у випадковому графі із заданими структурними характеристиками, що дозволяє отримати більш точні оцінки структурної надійності ТКМ за методом структурних характеристик;
- розроблено рекомендації щодо ефективного застосування моделі $G(i, L, p)$ та запропонованого методу оцінки надійності ТКМ за структурними характеристиками;
- подальшого розвитку набули методи ідентифікації і класифікації факторів, які визначають надійність ТКМ, що дозволяє здійснити системне урахування впливу цих факторів.

Зроблені дослідження і отримані наукові результати дають можливість вирішити задачу оцінки надійності ТКМ як складної багатоаспектної системи в умовах дії багатьох істотних факторів.

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

Практичне значення отриманих результатів. Усі результати в роботі мають не лише теоретичну, а й практичну спрямованість, вони подані у вигляді, адаптованому для їх безпосереднього інженерного використання, а також були використані у науково-дослідній і проектно-виробничій діяльності, зокрема:

- запропоновані метод оцінки структурної надійності ТКМ і модель ТКМ невизначеної структури були реалізовані у власному програмному забезпеченні розрахунку верхньої границі показника структурної надійності ТКМ;
- за допомогою розробленого програмного забезпечення була виконана оцінка структурної надійності фрагменту мережі радіорелейного зв'язку ДП «Одеський обласний радіотелевізійний передавальний центр», яка була використана при модернізації мережі на дільниці Одеса-Ізмаїл, що підтверджується відповідним актом впровадження;
- для швидкого отримання кількості шляхів у ТКМ невизначеної структури розмірності від 10 до 100 вузлів побудовано комплект номограм;
- результати роботи використані в науково-дослідній роботі Навчально- наукового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. проф. В. С. Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій, що підтверджуються відповідним актом впровадження.

Особистий внесок здобувана. Автор самостійно провів основні теоретичні дослідження і виконав комп'ютерне моделювання ТКМ визначеної та невизначеної

структури, побудував загальну класифікаційну схему, проаналізував і розробив загальні підходи і моделі багатофакторної оцінки надійності ТКМ. В працях, виконаних у співавторстві, авторові належать: [2] — розробка аналітичного методу оцінки структурної надійності ТКМ невизначеної структури; [3] — емпіричне вдосконалення методу оцінки числа шляхів, а також структурної надійності обраного напрямку зв'язку у ТКМ визначеної структури; [5] — дослідження принципів ідентифікації і класифікації факторів, що впливають на надійність ТКМ.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу і наукових співробітників Одеської державної академії холоду (Одеса, 2009-2012 рр.); на IX, X та XI конференціях «Математичне моделювання та інформаційні технології» (ОДАХ, 2009-2012 рр.); на X Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії» ТC8ET'2010 (Львівська політехніка, 2010 р.); на IV Міжнародній конференції «Проблеми телекомунікацій - 2010» (КШ, 2010 р.); на VII Міжнародній науково-технічній конференції студентства і молоді «Світ інформації та телекомунікацій - 2010» (ДУПСТ, 2010 р.); на VI, VII та VIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології» СОМШГО-Біуасіа (ДУКТ, 2010-2012 рр.); на VI Міжнародному науково-технічному симпозиумі «Нові технології в телекомунікаціях» ДУЖТ-КАРПАТИ '2013; на Міжнародній дистанційній науковій конференції «Сучасна наука: тенденції розвитку» (м. Будапешт, 2013 р.); на XIV Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих учених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (ОНАХТ, 2014 р.).

Публікації. На тему дисертаційної роботи опубліковано 18 наукових праць, в тому числі 5 статей в науково-технічних журналах і збірниках наукових праць та 13 матеріалів доповідей на науково-технічних конференціях. Також отримано Свідоцтво Державної служби інтелектуальної власності України за № 40468 про реєстрацію авторського права на твір - комп'ютерну програму «Система оцінки структурної надійності неорієнтованих мереж зв'язку довільної конфігурації».

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальній обсяг роботи складає 146 с. друкарського тексту, у тому числі містить 28 с. рисунків та таблиць, 14 с. списку використаних джерел і 9 с. додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі розкрито 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 «Сучасний стан проблеми аналізу і оцінки надійності телекомунікаційних мереж» розглянуто різні варіанти прояву та змістовної інтерпретації поняття надійності щодо ТКМ, зроблено огляд об'єктивних проблем аналізу та моделювання надійності сучасних ТКМ, проведено аналіз існуючих методів та узагальнених моделей, що можуть бути використані для оцінки надійності ТКМ, виконано їхню класифікацію, висвітлена необхідність практичного вдосконалення існуючих методів оцінки структурної надійності ТКМ визначеної та невизначеної структури, а також розробки нового методу оцінки структурної надійності узагальненої ТКМ довільної конфігурації з метою підвищення її оперативності і відповідності умовам мінливості структури.

Більшість існуючих методів та моделей оцінки структурної надійності ТКМ спрямовані на аналіз та відтворення ТКМ із задалегідь відомою структурою. В деяких випадках задалегідь відомі або прийняті лише деякі структурні параметри ТКМ, але не сама структура — тоді маємо справу з ТКМ невизначеної, випадкової структури. Нерідка також ситуація, коли структура ТКМ безперервно змінюється у часі, а основні структурні характеристики залишаються незмінними. Такі ТКМ можливо моделювати за допомогою моделей теорії випадкових графів. В даній дисертаційній роботі для аналізу структурної надійності ТКМ довільної структури обґрунтовано використання комбінованої графової моделі $S(n, p)$, де n вершин графа зв'язуються B випадковими ребрами, кожне з яких характеризується імовірністю існування p . Така модель, з одного боку, є досить універсальною, з іншого — враховує такий важливий показник надійності ліній зв'язку, як імовірність безвідмовної роботи.

В роботі показана результативність системного підходу до оцінки надійності ТКМ, який передбачає розглядання ТКМ як системи прикладного призначення, що складається з підсистем різного типу і функціонує в реальних умовах експлуатації. По-перше, надійність всієї ТКМ визначається надійністю кожної з підсистем ТКМ, тобто залежить від вектору часткових показників надійності підсистем. Очевидну важливість представляє задача побудови аналітичної моделі, що описує залежність результуючої надійності ТКМ від часткових показників надійності її підсистем.

По-друге, реальні умови експлуатації ТКМ характеризуються впливом багатьох різноманітних факторів, від яких залежить працездатність, ефективність функціонування та надійність ТКМ. Дестабілізуючі фактори (ДФ) спричиняють зниження працездатності або ефективності функціонування ТКМ, стабілізуючі (СФ) — їхнє підвищення. Оскільки об'єктом дослідження є процеси оцінювання саме надійності ТКМ, серед всього розмаїття факторів розглядаються лише ті, які діють у рамках визначених умов експлуатації. Такий підхід природним чином породжує задачу побудови моделі впливу системи ДФ та СФ, частиною якої є здійснення злагоженого їхнього упорядкування і класифікації. Врахування СФ у сукупності з ДФ дозволяє розглядати ТКМ як систему, що перебуває у стані стійкої рівноваги.

Зазначені підходи, моделі і методи оцінки надійності ТКМ стали основою подальшого теоретичного дослідження і його практичної реалізації у відповідності з поставленими метою та задачами дисертаційної роботи.

У другому розділі “Розробка моделей і методу оцінки надійності телекомунікаційних мереж” виконано дослідження підходів до оцінки надійності ТКМ в умовах мінливості їхньої структури і впливу множини факторів, розроблено метод оцінки структурної надійності ТКМ за основними структурними характеристиками.

Структурну надійність ТКМ досліджено на моделі зорієнтованого графа $\langle G, I, p \rangle$. Одним з показників структурної надійності ТКМ є імовірність зв'язаності напрямку зв'язку, що з'єднує кореспондуючу пару абонентів. Ця зв'язаність реалізується множиною шляхів передачі інформації, тому важливу роль у задачі оцінки структурної надійності ТКМ відіграють методи відшукування множини шляхів, що відповідають вхідним обмеженням, та підрахунку їхньої кількості.

Підхід до визначення структурної надійності ТКМ, використаний в роботі, передбачає визначення сукупної кількості шляхів у ТКМ, що відповідають вихідним умовам, і обчислення імовірності зв'язаності для напрямку зв'язку на основі відомої імовірності безвідмовного функціонування гілок, що складають шляхи, тим або іншим методом. На основі цього підходу в роботі запропоновано аналітичний метод визначення верхньої границі показника структурної надійності ТКМ з урахуванням відносної важливості напрямків зв'язку.

Якщо розглядати усі існуючі у ТКМ пари вузлів як кореспондуючі, тоді число M_i шляхів рангу i , що припадають на кожну пару вузлів i -ї визначиться як відношення загального числа шляхів M_z до відомого числа пар вузлів:

$$m_{i,z} = \frac{M_z}{n(n-i)} \quad (0)$$

а імовірність зв'язаності пари i -у — як

$$\hat{p} = 1 - \prod_{z=1}^i (1 - p_z T^z) \quad (?)$$

де p — імовірність безвідмовної роботи гілки.

З урахуванням значимостей C_u пар вузлів іраничним показником структурної

надійності мережі в цілому виступає

середньозважене значення імовірності зв'язаності пар вузлів:

$$P = \frac{\sum I_i}{MKM}$$

(3)

Кількість шляхів рангу z у ТКМ з n вузлами та B гілками може бути визначена імовірнісним або аналітичним шляхом. На основі комбінаторно-імовірнісного підходу (КІ-метод) отримано вираз (4) для визначення кількості шляхів і нормовані графіки (рис. 1) залежності кількості шляхів усіх рангів від кількості гілок у ТКМ розмірності від 10 до 100 вузлів у рівномірній та логарифмічній шкалах. На графіках

M_{ni} і $i_{,пз}$ — відповідно, число шляхів усіх рангів і число гілок у повно зв'язній ТКМ з « вузлами.

$$A/\Gamma_n = c; c \quad m^0) \quad XI-\Gamma \quad (4)$$

$$C: \frac{2}{2-1} A$$

де i_{γ}^{*1*} , — число шляхів рангу γ , які містять задану гілку, у повно зв'язній ТКМ із числом вузлів n .

Альтернативний підхід до знаходження кількості шляхів у залежності від кількості

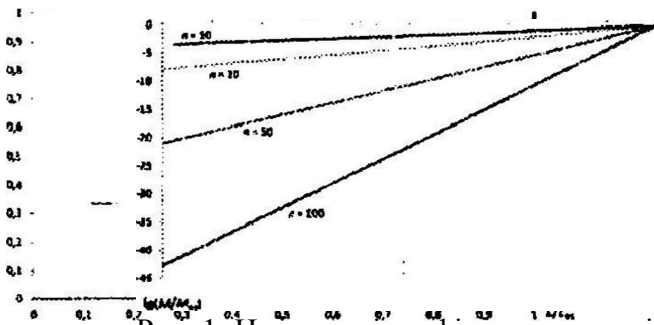


Рис. 1. Нормовані графіки залежності кількості M шляхів усіх рангів від кількості гілок у ТКМ різної розмірності, знайдені за КІ-методом

гілок передбачає обчислення декількох значень за відомими аналітичними виразами і побудування функціональної залежності інтерполяційним шляхом (І-метод).

Значеннями, які створюють основу для інтерполяції, є:

- кількість шляхів у повно зв'язній ТКМ, де кількість гілок $i = I_{max} = CI$:

$$M_{2m} = C * A^{\Gamma}, M_{1m} = C; I * A; ; \quad \Gamma=1 \quad (5)$$

- у майже повно зв'язній ТКМ, де кількість гілок $B = -1 = -1$:

$$\Gamma^* \quad -\Gamma-AI, \text{ Л/шч} \quad [6]$$

$$1 \quad -C22AI$$

$$\Gamma=1$$

- у ТКМ найменшої зв'язності — дереві, де $I = -n -1$: (7)

$$*_{л} = C^*$$

Додаткові точки інтерполяції при аналізі ТКМ невеликої розмірності можуть бути знайдені з використанням комп'ютерного статистичного моделювання. Число шляхів певного рангу в ТКМ мінімальної зв'язності (дереві) може бути різним і визначається структурним розташуванням гілок.

Нормовані графіки залежності відношення кількості шляхів усіх рангів ($M/A_{ш}$), знайденої І-методом, представлені на рис. 2.

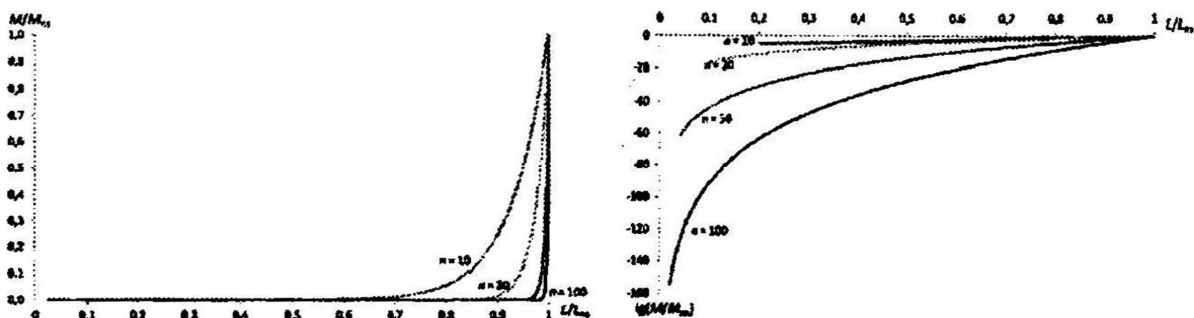


Рис. 2. Нормовані графіки залежності кількості шляхів усіх рангів від кількості гілок у ТКМ розмірності від 10 до 100 вузлів, знайдені за І-методом

У ході оптимізації КІ-методу знаходження кількості шляхів у повнозв'язній ТКМ вираз для обчислення був спрощений і узагальнений, що дозволило оцінити число шляхів, які залишаються після видалення однієї гілки з ТКМ будь-якої зв'язності. На основі узагальненого виразу був розроблений комбінаторно-рекурсивний метод (КР-метод) обчислення кількості шляхів. Для ТКМ з довільним числом гілок B :

$$M_{r, L_{max}} = M_{r, L_{max}-1} + M_{r, L_{max}-1} \cdot \frac{r}{L_{max}} \quad (8)$$

При використанні рекурсивної формули (8) розрахунок завершується при обчисленні $M_{r, 1}$ для випадку

$$M_{r, 1} = M_{r, 1} \left(1 - \frac{r}{L_{max}}\right) = C_n^2 A_{n-2}^{r-1} \left(1 - \frac{r}{C_n^2}\right). \quad (9)$$

Нормовані графіки залежності відношення кількості шляхів усіх рангів (A/A_{10}), знайденої КР-методом, представлені на рис. 3.

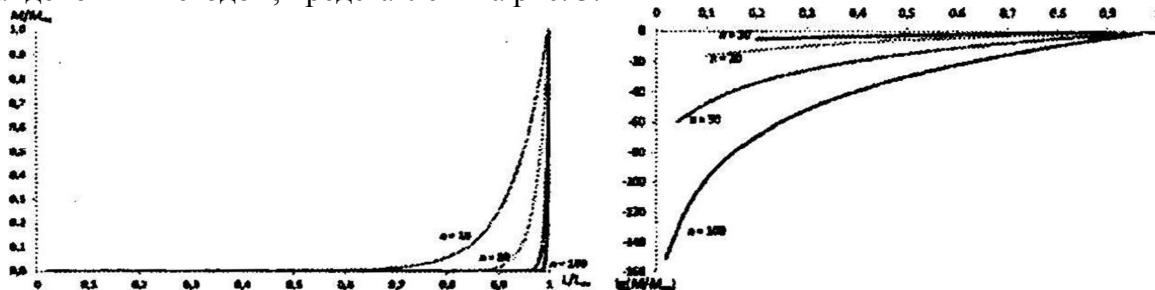


Рис. 3. Нормовані графіки залежності кількості шляхів усіх рангів від кількості гілок у ТКМ розмірності від 10 до 100 вузлів, знайдені за КР-методом

Розроблена багатофакторна модель аналізу надійності ТКМ, принципи ідентифікації і класифікації факторів, що визначають надійність ТКМ, підходи до урахування сукупності факторів впливу на надійність ТКМ. На рис. 4 наведена схема первинної класифікації таких факторів. В якості критеріїв класифікації факторів використані відповідність певним етапам життєвого циклу ТКМ, штучність впливу, локалізація джерел впливу щодо меж системи ТКМ, ступінь закономірності впливу, особливості реалізації об'єктів ТКМ, локалізація джерел впливу щодо умов функціонування ТКМ, ступінь припустимості, характер впливу на надійність (підвищення або зниження), категорія джерел відмов.

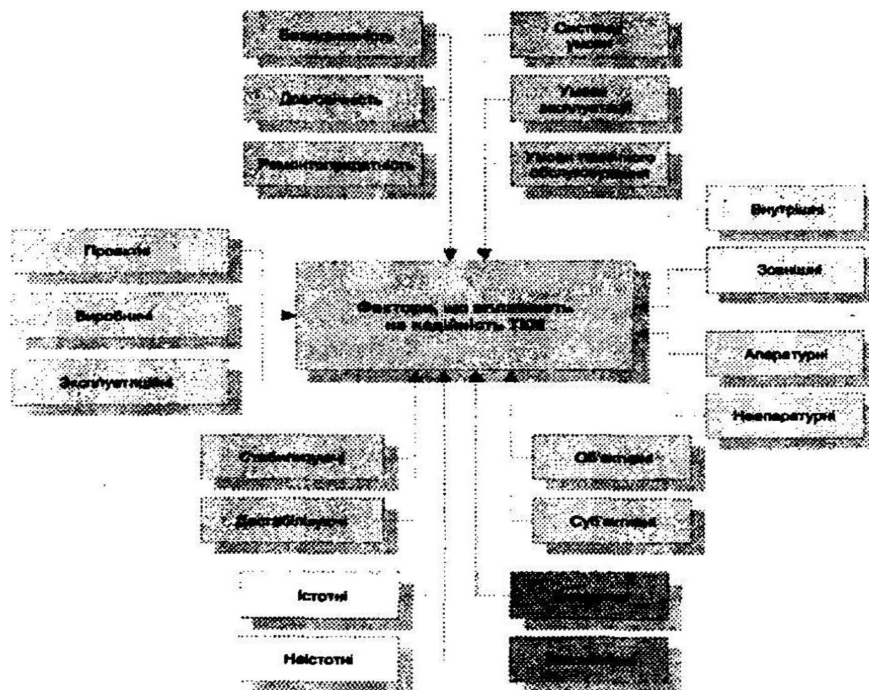


Рис. 4. Класифікація факторів, що впливають на надійність телекомунікаційних мереж

На основі категорійної системи джерел відмов низки реальних ТКМ запропонований варіант класифікації факторів, що претендує на відповідність принципам взаємозалежності, компактності і зручності у практичному використанні. До таких факторів віднесені:

- внутрішні відмови технічних засобів ТКМ (внаслідок зносу, старіння, а також недосконалості проектування);
- помилки персоналу ТКМ під час її експлуатації;
- помилки програмного забезпечення ТКМ;
- процеси відновлення елементів ТКМ.

Стосовно ТКМ як об'єкту моделювання результатом класифікації її елементів є ієрархія рівнів деталізації елементів (рис. 5). Для елементів кожного виду й кожного рівня ієрархії проявляється вплив певної сукупності факторів.

Сукупний вплив факторів можна виразити загальною формулою:

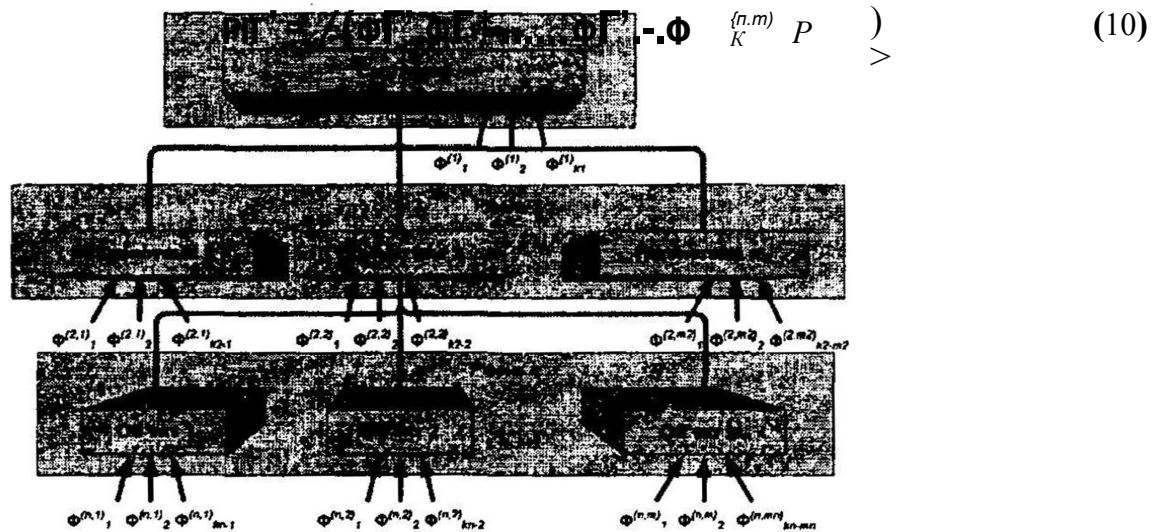


Рис. 5. Схема впливу факторів на різних рівнях телекомунікаційної мережі як ієрархічної системи

де $p\phi^{(n)}$ — обраний для оцінки показник надійності m -го об'єкта на n -му рівні ієрархії, що розраховується з урахуванням впливу сукупності факторів;

$m \in [1, A]$, це $[1,7У]$;

$\phi(y, \dots)$ — показник впливу k -то фактору сукупності, k

$\in [1, K]$

$p^{(пт)}$ — показник надійності об'єкта,

який визначається без урахування впливу факторів.

Для урахування сукупності показників надійності при порівнянні альтернативних варіантів проектів ТКМ запропоновано використовувати пелюсткові діаграми (рис. 6). Кількість променів діаграми відповідає кількості показників надійності, а кожний промінь являє собою шкалу, на яку наноситься значення певного показника надійності, обчисленого для заданої ТКМ в заданих умовах. Підсумковим показником



Рис. 6. Пелюсткова діаграма оцінки впливу основних факторів на надійність телекомунікаційної мережі (приклад)

надійності виступає площа фігури, отриманої з'єднанням значень показників на променях.

Іншим способом отримання узагальненого скалярного показника є метод зважених сум — адитивна функція корисності, утворена підсумовуванням добутків часткових показників на відповідні вагові коефіцієнти;

$$\Phi = \sum_{k=1}^n X_k \cdot X_k^*$$

де Φ^* — показник, що характеризує вплив A -го ФВН;

до

$$\forall X_k \text{— ваговий коефіцієнт, } X_k > 0, \sum_{k=1}^n X_k = 1.$$

В якості альтернативи розрахунку узагальненого показника надійності ТКМ може бути використана Л[^]-модель — векторна модель з рівноважливими елементами, використання якої дозволяє позбутися похибок у оцінках надійності в певних-умовах.

У третьому розділі «Моделювання процесів оцінювання надійності телекомунікаційних мереж з використанням запропонованих методів» представлені результати емпіричного дослідження, для здійснення якого було розроблено програмне застосування комп'ютерного моделювання ТКМ довільної структури. Головною метою емпіричного дослідження стала апробація запропонованих інтерполяційного та комбінаторно-рекурсивного методів. Отримання характеристик запропонованих методів, а також порівняння отриманих результатів з відповідними результатами модельних експериментів дозволили зробити висновки щодо можливості використання цих методів при вирішенні практичних задач оцінки надійності ТКМ. Крім цього, технологія та інструментарій моделювання можуть використовуватися в якості альтернативної системи практичної оцінки надійності ТКМ.

Основна задача, яка була вирішена за допомогою модельного експерименту — отримання статистичних оцінок кількості шляхів у ТКМ випадкової структури. Окремі значення числа M_z шляхів рангу z у неповнозв'язній ТКМ були знайдені шляхом комп'ютерного моделювання, при якому графова модель описує множину ТКМ із заданими структурними характеристиками.

Для отримання середньостатистичного значення кількості M_z шляхів певного рангу були проведені численні випробування $\{A\}$. Значення M_z знайдено як середне

$$\overline{M_z} = \frac{K_i + M_{z2} + \dots + M_{zX}}{X}$$

ариф

мети

чне з множини точних

значень M_n отримуваних у кожному випробуванні:

(12)

Для комп'ютерного моделювання на базі табличного процесору Microsoft Excel була створена інтегрована програмна система оцінки структурної надійності неорієнтованих мереж зв'язку довільної конфігурації (Свідоцтво про авторське право на твір №40468), за допомогою якої і був поставлений модельний експеримент.

показника надійності P^{\wedge} у ТКМ з 50 вузлами і надійністю гілок $p^*_{y} \sim 0,7$ при зміні числа I гілок у ТКМ. Окремі лінії відповідають урахуванню шляхів з різним максимальним рангом J .

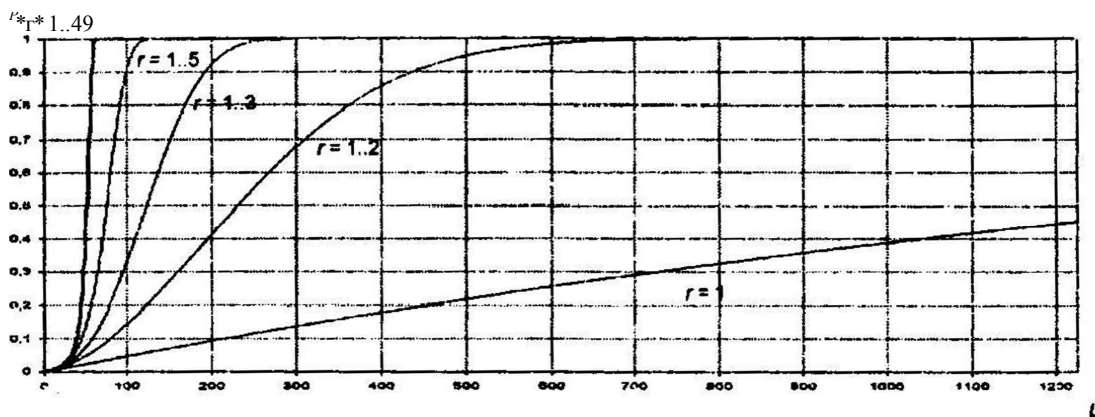


Рис. 10. Надійність ТКМ P^{\wedge} при зміні числа гілок у ТКМ з числом вузлів $n = 50$ та імовірністю безвідмовної роботи гілок - 0,7

Застосовність запропонованого методу оцінки надійності ТКМ за структурними характеристиками до реальних завдань оцінки надійності ТКМ визначається низкою чинників, у першу чергу — ступенем адекватності використовуваної моделі властивостям аналізованої ТКМ. Оцінка застосовності методу для ТКМ визначеної структури була здійснена на прикладі мережі радіорелейного зв'язку Державного підприємства «Одеський ОРТПЦ». Аналіз результатів оцінки методу дозволив зробити висновок: використання методу структурних характеристик у певних умовах дозволяє зняти найважливіші обмеження на розмірність досліджуваної ТКМ і кількість утворюючих її гілок, а також підвищити якість оцінки надійності при розгляданні ТКМ середньої і великої зв'язності.

Результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування в науководослідній роботі Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій, у проектно-виробничій роботі Державного підприємства «Одеський обласний радіотелевізійний передавальний центр», а також в навчальному процесі Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики, що підтверджуються відповідними актами впровадження.

ВИСНОВКИ

Наукові результати дисертаційної роботи представлені в комплексі концептуальних положень, методичних рішень і практичних рекомендацій щодо оцінювання надійності телекомунікаційних мереж:

1. На основі досліджень проблем оцінювання надійності ТКМ як складних технічних систем виявлені і обрані для подальшого аналізу дві основні задачі, які потребують першочергового вирішення: оцінювання надійності ТКМ в умовах

невизначеності або мінливості структури ТКМ, а також в умовах впливу багатьох факторів.

2. На основі дослідження існуючих моделей випадкових графів визначено моделі, які можуть бути використані для вирішення задач оцінки надійності ТКМ, проаналізовано їх застосовність за критерієм рівня адекватності поставленим у дослідженні задачам.

3. Запропонована для використання удосконалена модель випадкового графу $G(n, L, p)$ яка дозволяє більш адекватно (порівняно з класичними моделями $G(n, L)$, $G\{n, p\}$, $G(H_{n>p})$) описати ТКМ із заданими структурними характеристиками та надає можливість одночасного урахування структурних і надійнісних характеристик аналізованої ТКМ.

4. На основі підходу, який передбачає оцінку структурної надійності ТКМ як усередненого ступеню зв'язності між довільною парою пунктів у ТКМ, з використанням моделі $G\{n, L, p\}$ розроблено аналітичний метод розрахунку надійності за основними структурними характеристиками ТКМ. Запропоновані інтерполяційний і комбінаторно-рекурсивний методи визначення кількості шляхів у ТКМ, необхідної для обчислення результуючого показника надійності ТКМ. Показано, що комбінаторно-рекурсивний метод оцінювання кількості шляхів у ТКМ дає найбільш точні результати для ТКМ середнього і великого ступеню зв'язності, а інтерполяційний — для ТКМ малого ступеню зв'язності.

5. На підставі аналізу існуючих класифікаторів ФВН ТКМ, розроблена узагальнена класифікаційна схема ФВН ТКМ, яка дозволяє виділити найбільш суттєві ФВН для їх подальшого аналізу і урахування при визначенні надійності ТКМ.

6. На основі аналізу існуючих підходів і методів багатофакторного аналізу запропоновані моделі комплексного системного урахування ФВН ТКМ, які доцільно використовувати при практичній оцінці надійності ТКМ.

7. Для реалізації запропонованого підходу і методу розроблено програмне забезпечення «Система ОСННМЗДК» (свідоцтво про авторське право на твір № 40468), за допомогою якого проведено статистичне моделювання ТКМ яєвизначеної структури розмірності до 100 вузлів, визначено показники надійності ТКМ у певних діапазонах значень вихідних даних, побудовано номограми визначення кількості шляхів різних рангів. Розроблене програмне забезпечення може ефективно використовуватися для аналізу надійності на будь-яких стадіях життєвого циклу ТКМ.

8. Розроблена програма розрахунку точного значення імовірності зв'язності довільної пари пунктів у ТКМ як показника структурної надійності зв'язку за класичною методикою. За допомогою цієї програми виконаний розрахунок структурної надійності мережі фіксованої структури - мережі радіорелейного зв'язку районів Одеської області.

9. Виконана емпірична перевірка запропонованих аналітичних методів. Проведене моделювання і перевірні розрахунки показали, що запропонований метод оцінки структурної надійності ТКМ, заснований на урахуванні структурних характеристик ТКМ, являється придатним для аналізу надійності ТКМ розмірності понад 100 вузлів.

10. На підставі аналізу залежності імовірності зв'язності довільної пари вузлів від кількості гілок у ТКМ невизначеної структури показано межу доцільності підвищення надійності ТКМ шляхом збільшення структурної надлишковості у ТКМ.

11. Побудовані номограми для визначення кількості шляхів у ТКМ різної розмірності і довільного ступеню зв'язності, а також нормовані графіки залежності кількості шляхів від кількості гілок у ТКМ. Дані номограми можуть використовуватися па

етапі проектування та планування розвитку ТКМ для отримання значень відповідних показників.

Подальшим розвитком тематики дисертаційної роботи являється дослідження, запропонування і використання моделей графів, які більш адекватно описують досліджувані ТКМ при відомих додаткових структурних параметрах, а також методів, які забезпечують більш точну і (або) оперативну оцінку надійності ТКМ з урахуванням специфічної вихідної інформації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Князева Н. О. Оцінка структурної надійності телекомунікаційної мережі / Н. О. Князева, О. Л. Ненов // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». — №688. Комп'ютерні системи та мережі / Відпов. ред. А. О. Мельник. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. — С. 129-137.

2. Князева Н. А. Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры / Н. А. Князева, А. Л. Ненов // Вісник ДУІКТ. — 2011. — Т. 9, № 4. — С. 318-325.

3. Ненов А. Л. Оценка структурной надежности сети связи на основе учета ее структурных характеристик / А. Л. Ненов // Вісник ДУІКТ. — 2013. — №2. — С. 33-39.

4. Ненов А. Л. Подходы к идентификации и классификации факторов, оказывающих влияние на надежность телекоммуникационной сети / А. Л. Ненов // Science and Education A New Dimension, Natural and Technical Science. — 2013. — Vol. 8.—С. 129-134.

5. Ненов А. Л. Имитационная модель оценки структурной надежности сети связи / А. Л. Ненов // Холодильна техніка і технологія. — 2010. — № 6 (128). — С. 85-89. — ISSN 0453-8307.

6. Ненов А. Л. Некоторые аспекты оценки надежности сетей связи с коммутацией каналов / А. Л. Ненов // Девятая конференция «Математическое моделирование и информационные технологии». Сборник тезисов. Приложение к журналу «Холодильная техника и технология». — Одесса: Издательский центр ОГАХ, 2009. — С. 111-112. — ISSN 0453-8037.

7. Nenov Alexey. Approach to the Complex Estimation of Factors, Influencing on Communication Networks' Reliability / Alexey Nenov // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science Proceedings of the Xth

International Conference TCSET'2010. — Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2010. — P.190.

8. Ненов А.Л. К вопросу комплексной оценки надежности телекоммуникационных сетей / А. Л. Ненов // Научно-техническая конференция «Проблемы телекоммуникаций»: Сборник тез. — К.: НТУУ «КПІ», 2010. — С. 130.

9. Ненов А.Л. Подход к комплексной оценке надежности сети наземного цифрового телевидения // Научно-техническая конференция «Світ інформації та телекомунікацій - 2010»: Збірник тез. — К.: ДУІКТ, 2010. — С. 113-114.

10. Ненов А.Л. Статистические подходы к расчету структурной надежности сетей связи / А.Л. Ненов // X Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів і аспірантів «Інформаційні системи і технології»: Тези доповідей. — Одеса: Видавництво ОДАХ, 2010. — С. 115-116.

11. Князева Н. А. Комплексная оценка структурной надежности телекоммуникационной сети произвольной связности / Н. А. Князева, А. Л. Ненов // VI Научно-техническая конференция «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології»: Збірник тез. — К.: ДУІКТ, 2010. — С. 158-160.

12. Ненов А. Л. Комплексный учет эксплуатационных факторов, оказывающих влияние на надежность сети связи / А. Л. Ненов // Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем та технологій. Тези доповідей XI Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і аспірантів. — Одеса: Видавництво ОДАХ, 2011. — С. 178-179.

13. Ненов А.Л. Эмпирическая оценка числа путей в сети связи произвольной структуры / А. Л. Ненов // VII Научно-техническая конференция «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології»: Збірник тез. — К.: ДУІКТ, 2011. — С. 208-210.

14. Ненов О. Л. Підходи до прогнозування стійкості телекомунікаційних мереж // X Всеукраїнська науково-технічна конференція «Математичне моделювання та інформаційні технології»: Збірник наукових праць. — Одеса: Видавництво ОДАХ, 2011. — С. 157-158.

15. Ненов А.Л. Факторный анализ эксплуатационной надежности телекоммуникационных сетей / А.Л. Ненов // VIII Научно-техническая конференция «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології»: Збірник тез. — К.: ДУІКТ, 2012. — С. 160-162.

16. Ненов А.Л. Оценка надежности и эффективности сложных телекоммуникационных сетей / А. Л. Ненов // XI Всеукраїнська науково-технічна конференція «Математичне моделювання та інформаційні технології»: Збірник наукових праць. — Одеса: Видавництво ОДАХ, 2012. — С. 127-128.

17. Ненов А. Л. Практическая оценка структурной надежности сетей неопределенной структуры / А. Л. Ненов // VII Международный научно-технический симпозиум «Новые технологии в телекоммуникациях». Сборник тезисов. — К.: ГУИКТ, 2013. — С. 204-206.

18. Ненов О. Л. Багатофакторний аналіз надійності мереж електрозв'язку / О. Л. Ненов, О. О. Колісник // Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій. Матеріали XIV Всеукраїнської науково-технічної конференції

молодих вчених, аспірантів та студентів. — Одеса: Видавництво ОНАХТ, 2014. — С.132-134.

19. Свідоцтво № 40468 від 13.10.2011 про реєстрацію авторського права на твір - комп'ютерну програму «Система оцінки структурної надійності неорієнтованих мереж зв'язку довільної конфігурації». — Державна служба інтелектуальної власності України.

Анотація

Ненов О. Л. Методи і моделі оцінки надійності телекомунікаційних мереж. — На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи і мережі. — Державний університет телекомунікацій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2014.

У дисертаційній роботі досліджуються питання аналізу і розробки принципів, методів і моделей оцінювання надійності телекомунікаційних мереж (ТКМ) в умовах її інливості структури та впливу на них сукупності факторів. На основі аналізу проблем оцінювання надійності ТКМ вдосконалена модель випадкового графу, яка відбиває основні структурно-надійнісні характеристики ТКМ. Розроблений аналітичний метод визначення структурної надійності ТКМ за основними структурними характеристиками, який дозволяє оперативно визначати оцінне значення верхньої границі показника структурної надійності ТКМ при її проектуванні, введенні в експлуатацію, модернізації тощо. Розроблена схема первісної класифікації факторів, які визначають надійність ТКМ, виділені найбільш суттєві фактори, запропоновано узагальнені способи їх комплексного урахування на етапі проектування, впровадження або експлуатації ТКМ. Запропоновані прикладні способи отримання результуючої оцінки надійності ТКМ з часткових показників, які характеризують вплив суттєвих факторів на надійність ТКМ. Для визначення емпіричним шляхом показників струйорної надійності ТКМ розроблено інструментальне програмне забезпечення, за допомогою якого виконана емпірична перевірка запропонованого аналітичного методу.

Результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування у проектно-виробничій роботі Державного підприємства «Одеський обласний радіотелевізійний передавальний центр», а також в науково-дослідній роботі Одеської національної академії харчових технологій, що підтверджуються відповідними актами впровадження.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, структурна надійність, показник надійності, фактор, що визначає надійність.

Аннотация

Ненов А. Л. Методы и модели оценки надежности телекоммуникационных сетей. — На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - телекоммуникационные системы и сети. —

Государственный университет телекоммуникаций Министерства образования и науки Украины, Киев, 2014.

В диссертационной работе исследуются вопросы анализа и разработки принципов, методов и моделей оценки надежности телекоммуникационных сетей (ТКС) различного назначения в условиях изменчивости структуры и влияния на них совокупности факторов.

Проведен анализ проблем оценки надежности ТКС как сложных технических систем, существующих моделей и методов оценки надежности ТКС. На основе проведенного анализа усовершенствованная модель случайного графа $G(n, L, p)$, которая отражает три основные структурно-характеристики надежности ТКС: число узлов n , число ветвей L и показатель надежности ветви p . С использованием модели $G(n, L, p)$, которая сочетает универсальность и адекватность представления анализируемых ТКС, разработан аналитический метод оценки структурной надежности ТКС по её основным структурным характеристикам, позволяющий оперативно определять оценочное значение верхней границы показателя структурной надежности ТКС при её проектировании, вводе в эксплуатацию, модернизации и т. д. Выполнен сравнительный анализ вспомогательных методов определения числа путей, сделаны выводы относительно их преимуществ и ограничений применения. Разработаны рекомендации по эффективному применению предложенных модели и метода оценки надежности ТКС по структурным характеристикам.

В работе проанализированы существующие варианты классификации факторов, определяющих надежность ТКС, разработана схема их первоначальной классификации, выделены наиболее существенные факторы, предложены обобщенные способы их комплексного учета, позволяющие более основательно выполнить идентификацию и упорядочение факторов при их учете на этапе проектирования, внедрения и эксплуатации ТКС. Предложены прикладные способы получения результирующей оценки надежности ТКС на основе частных показателей, характеризующих влияние существенных факторов на надежность ТКС.

Для определения эмпирическим путем показателей структурной надежности ТКС разработано инструментальное программное обеспечение: «Система ОСННМЗДК» (Свидетельство об авторском праве на произведение № 40468) и программа расчета точного значения показателя структурной надежности направления связи по стандартизированной методике. С помощью разработанных программ проведено статистическое моделирование, определены показатели надежности ТКС в определенных диапазонах значений исходных данных, выполнена эмпирическая проверка предложенного аналитического метода. Построены номограммы для определения количества путей в ТКС различной размерности и произвольного степени связности, нормированные графики зависимости количества путей от количества ветвей в ТКС, которые позволяют на этапе проектирования ТКС получить приблизительные значения соответствующих величин. Проанализирована зависимость вероятности связности произвольной пары узлов от количества ветвей в ТКС неопределенной структуры, на конкретном

примере показан предел целесообразности повышения надежности ТКС путем увеличения структурной избыточности в ТКС.

Результаты диссертационной работы нашли практическое применение в проектно-производственной работе Государственного предприятия «Одесский областной радиотелевизионный передающий центр», а также в научно-исследовательской работе Одесской национальной академии пищевых технологии, что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, структурная надежность, показатель надежности, фактор, определяющий надежность.

Summary

Nenov A. Methods and models estimation of telecommunication networks dependability. — Manuscript.

The dissertation for scientific degree of candidate of technical Sciences on the specialty 05.12.02 - telecommunication systems and networks. — State University of Telecommunications Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2014.

This dissertation explores the issues of development of the principles, methods and models to assessment the reliability of telecommunication networks (TCN) in volatile patterns and impact factors. Based on the analysis of problems of estimation of reliability of TCN advanced model of a random graph $G(n, Z, /?)$, which reflects the basic structural and characteristics of reliability of marrow transplantation: the number of nodes n , the number of branches Z and reliability indicator branches p . Developed an analytical method for determining the structural reliability of TCN for the main structural characteristics, which allows you to quickly determine the estimated upper bound value of the index of structural reliability of TCN in its design, commissioning, modernization, etc.

This research analyzes the existing versions of the classification of factors determine the TCN dependability, developed the scheme of their classification, the most significant factors, a generalized scheme of their complex account, which allows to identify and organize factors more thoroughly in their account at the stage of design, implementation and operation of TCN. The applied methods for obtaining the result indicator of the TCN dependability from partial indicators characterizing the influence of essential factors on TCN dependability are proposed. Software tool developed for the empirical determination of indicators of structural reliability TCM. By this software performed an empirical test of the proposed analytical method.

Results of this thesis were applied in the design and production work of the State enterprise «Odessa regional radio and television transmitting center», as well as scientific research of Odessa national academy of food technologies, confirmed by the corresponding acts of implementation.

Keywords: telecommunication network, structural reliability, dependability' index, factor determining dependability.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДФ — дестабілізуючий фактор;
ІБР — імовірність безвідмовної роботи;
І-метод — інтерполяційний метод;
КІ-метод — комбінаторно-імовірнісний метод;
КР-метод — комбінаторно-рекурсивний метод;
РРЛ — радіорелейна лінія;
СФ — стабілізуючий фактор;
ТКМ — телекомунікаційна мережа;
ФВН — фактор, що впливає на надійність; ЦТРВ
— цифрове теле- і радіомовлення.

с.

Підписано до друку 20.052014 р.
Тираж 100 прим.
Надруковано в типографії видавництва «ВМВ»
м. Одеса, пр. Добровольського, 82а
тел. (048) 751 15 80.