

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

С. Є. Гнатюк
Аспірант

Спеціальна кафедра №4
Інститут Спеціального зв'язку та захисту
інформації
Національний технічний університет
України
"Київський політехнічний інститут"
вул. Московська, 45/1, м. Київ,
Україна, 01011
E-mail: Gnatyk-2@i.ua

Пропонується аналіз і класифікація показників кількісної оцінки надійності систем спеціального зв'язку із застосуванням системного підходу при їх дослідженні. Розглянуто особливості елементної і структурної надійності систем спеціального зв'язку. Показано, що вони відносяться до складних технічних систем, тому для визначення та дослідження показників їх надійності доцільно використовувати моделювання і системний підхід

Ключові слова: надійність, система спеціального зв'язку, ієрархічна неоднорідна структура, експлуатаційні показники, коефіцієнт готовності

Предлагается анализ и классификация показателей количественной оценки надежности систем специальной связи с использованием системного подхода при их исследовании. Рассмотрены особенности элементной и структурной надежности систем специальной связи. Показано, что они относятся к сложным техническим системам, поэтому для определения и исследования показателей их надежности целесообразно использовать моделирование и системный подход

Ключевые слова: надежность, система специальной связи, иерархическая неоднородная структура, эксплуатационные показатели, коэффициент готовности

1. Вступ

Одним із найважливіших показників якості складних технічних систем, які виконують важливі та відповідальні функції в житті сучасного цивілізованого суспільства, є надійність, без якої використання таких систем втрачає сенс. Тому фахівці – проєктанти, виробники та експлуатаційники технічних систем різноманітного призначення повинні знати основи теорії надійності, методи її оцінки та способи технічної реалізації. Оволодіння цими знаннями потребує розуміння фізичних причин відмов елементів складних систем, визначення математичних закономірностей, яким підпорядковані відмови, на підставі обробки статистичних даних, а також розроблення методів прогнозування кількісної оцінки показників надійності складних систем. Технічний прогрес характеризується появою нових матеріалів, нових технологій, нової елементної бази технічних систем, що, з одного боку, сприяє появу нових видів відмов, а з іншого – стимулює розроблення нових моделей та методів забезпечення необхідного рівня надійності, враховуючи можливості сучасної елементної бази. Зважаючи на це, спеціалісти, які займаються питаннями надійності, повинні постійно поповнювати знання з теорії і практики надійності технічних систем.

Інша особливість теорії надійності полягає в тому, що термін «надійність», як властивість об'єкта зберігати в часі значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування [1], свідчить про те, що надійність є складною фізичною характеристикою технічного об'єкта і тому її неможливо охарактеризу-

вати лише одним узагальненим показником. Кожну конкретну систему потрібно характеризувати сукупністю показників, які уможливають повну кількісну оцінку надійності системи. Вибір показників в кожному конкретному випадку визначається характером системи, її призначенням, умовами експлуатації, технічним обслуговуванням.

Ще однією особливістю теорії надійності є те, що в основу розвитку її методів та способів дослідження надійнісної поведінки складних технічних систем покладено математичне моделювання.

Під математичною моделлю надійності (надійнісною моделлю) технічної системи розуміють аналітично чи статистично представлений об'єкт, який так відображає властивості системи з погляду надійності, що його дослідження дає повну інформацію про характеристики надійності та параметри системи.

2. Аналіз літератури

Оцінка кількісних значень показників надійності систем спеціального зв'язку проводиться як на етапах проєктування так і під час її експлуатації.

В спеціальній науковій технічній літературі розглядаються загальні підходи до системотехнічного проєктування телекомунікаційних мереж [1], а також їх математичні моделі і методи аналізу надійності [2]. При цьому термінологія у цій галузі досліджень відповідає діючим нормативним документам [3 – 5]. Питання особливостей побудови та аналізу поведінки великих систем, до яких відносяться системи спеціального зв'язку, розглянуті в [4]. Підходи та приклади практичної реалізації методик кількісної оцінки

показників надійності системи спеціального зв'язку розглядаються в [6 – 8]. Проблеми розбудови і підвищення якості функціонування цих мереж викладені в [9, 10].

Питання кількісної оцінки структурної надійності систем спеціального зв'язку досліджені в [10, 11] з використанням особливостей моделювання їх надійності [12, 13].

Аналіз сучасного стану досліджень в цій галузі свідчить про актуальність питань, які відображаються в даній статті.

3. Мета і постановка задачі

Розглянемо систему спеціального зв'язку (ССЗ) як сукупність взаємопов'язаних і узгоджених за завданнями, місцем і часом дій вузлів та ліній зв'язку різноманітного призначення, що розгортаються та використовуються з метою розв'язання завдань обміну інформацією між абонентами [3]. Мета статті – дослідження показників якості функціонування ССЗ, їх класифікація та обґрунтування найбільш важливих та інформативних.

4. Аналіз показників надійності систем спеціального зв'язку за допомогою системного підходу

У загальному випадку структура будь-якої системи визначається кількістю, значенням, формою і змістом її складових частин, місцем, яке вони займають в системі і існуючими між ними відносинами.

Система, що володіє даною структурою, може знаходитися в різних станах, а значить і забезпечувати різний результат функціонування [4].

Структуру систем прийнято класифікувати по ряду ознак. За числом рівнів підпорядкування розрізняють одно та багаторівневі або ієрархічні. Ієрархічні структури можуть бути однорідними або неоднорідними.

До однорідних відносяться структури, елементи одного рівня яких ідентичні за своїми характеристиками і функціями. За принципом управління і підлеглості розрізняють централізовані і децентралізовані структури, а за функціями і цільовим призначенням, які виконує система, можна виділити структури управління, інформаційні, виробничі і інші.

За характером зв'язків між елементами системи структури можуть бути фіксованими (жорсткими) або змінними (керованими або ні). Ознаки класифікації і особливості побудови сучасних ССЗ при-

ведені на рис. 1.

Синтез і аналіз ієрархічних неоднорідних структур, типових для ССЗ, є складною задачею, рішення якої залежить від призначення системи і вимог, що висуваються до неї. Структура ССЗ, що склалася до теперішнього часу, і структура управління цією системою формувалися відповідно до сучасних потреб і є багаторівневою (ієрархічною) за наявності на кожному рівні однорідних і неоднорідних елементів (рис. 1).

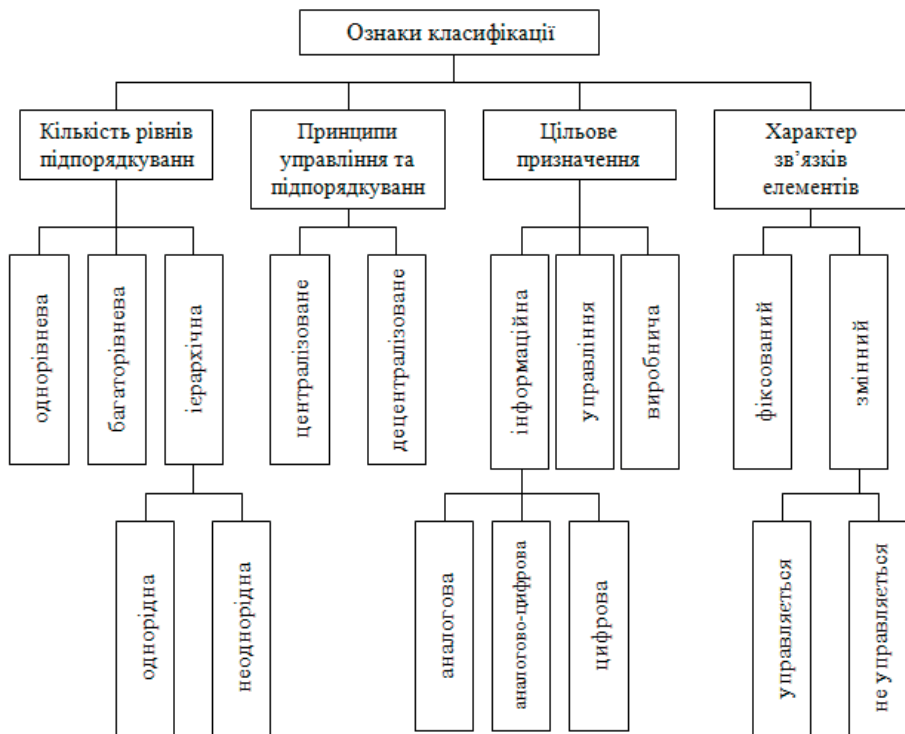


Рис. 1. Ознаки класифікації систем спеціального зв'язку

Розподіл системи на рівні (вертикальна побудова) відповідає прийнятим рівням управління. Структура ССЗ на кожному рівні (горизонтальна побудова) визначається їх призначенням.

Дослідження показали, що існуюча ССЗ України не повною мірою відповідає сучасним вимогам, а її структура вимагає подальшого вдосконалення на науковій основі.

Вимоги до ССЗ формуються виходячи з показників: бойова готовність, мобільність, стійкість, пропускна спроможність, безвідмовність. У свою чергу, стійкість ССЗ визначається живучістю, надійністю, завадостійкістю (рис. 2) [3].

Під надійністю засобів зв'язку розуміють властивість об'єкту зберігати у часі в установлених межах значення усіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування (ТО), зберігання та транспортування [5].

Аналіз складу ССЗ та взаємодії її елементів показує, що властивість надійності, яка полягає у спроможності забезпечити зв'язок зі збереженням у часі встановлених нормативно-технічною документацією

значень експлуатаційних показників, підтримується підсистемою технічного забезпечення зв'язку з виконанням усіх видів ремонту, ТО та забезпечення експлуатаційно-витратними матеріалами.

ми і часом відновлення. Однак для законів розподілу, які відрізняються від експоненціального, цей вираз невірний, а функція готовності у загальному вигляді не знайдена.

Функція готовності характеризує імовірність справного стану об'єкту в будь-який момент часу t . При малих значеннях t функція готовності співпадає з імовірністю безвідмовної роботи, а при великих – з коефіцієнтом готовності. Похибка при заміні функції готовності коефіцієнтом у момент часу $\tau = -\ln i$ кількісно дорівнює $\Delta \approx (1-A)A^{\frac{1}{i}}$ [6, 7].

У випадку, коли розглядається достатньо великий проміжок часу, вираз (1) вірний при будь-яких законах появи

відмов та відновлення [6, 7].

Разом з тим, показників надійності (A , T), які традиційно використовуються для об'єктивної оцінки якості функціонування ССЗ, недостатньо, що веде до втілення інтегральних показників – коефіцієнта збереження ефективності мережі у цілому, вагових коефіцієнтів важкості видів відмов, вплив відмов на пропускну спроможність мережі, імовірність зв'язності елементів ССЗ [8 – 11] (рис. 2).

Так як надійність – один з головних факторів, які впливають на якість управління, то цікавість до завдання її забезпечення у ССЗ пояснюється такими причинами [8, 10]:

- підвищенням вимог до надійності зв'язку з боку користувачів;
- посиленням конкуренції між операторами зв'язку;
- розвитком та впровадженням нових технологій та послуг;
- поступовим переходом до цифрових засобів зв'язку та обробки інформації;
- збільшенням можливих економічних втрат від перерв зв'язку.

У теперішній час відсутнє чітке визначення системи як сукупності елементів, які в деяких умовах самі можуть розглядатися як системи, а система, яка досліджується, може бути елементом більш складної системи.

Відомі ознаки, які дозволяють визначити систему як складну: велика кількість взаємопов'язаних елементів, відсутність формальної математичної моделі функціонування, теоретико-імовірнісний спосіб опису з використанням різноманітного математичного апарату. За думкою Поварова Г. І. складна система повинна складатися із тисяч елементів, а Берг А. І. вважав, що її опис вимагає не менше двох математичних мов [4].



Рис. 2. Показники якості системи спеціального зв'язку

Кількісно надійність складних технічних систем, до яких відноситься і ССЗ, оцінюється показниками, які наведені у [5]. Найбільш повну та всебічну оцінку надійності надають комплексні показники, головним з яких є коефіцієнт готовності (A), під яким розуміється імовірність того, що об'єкт буде знаходитися у працездатному стані в будь-який момент часу, крім запланованих періодів, на протязі яких використання об'єкту за призначенням не передбачається [5]:

$$A = \frac{T}{T + T_b}, \quad (1)$$

де T - середній час напрацювання на відмову, T_b - середній час відновлення. При цьому під час розрахунку значень T і T_b сучасних програмно-керованих засобів зв'язку і комп'ютерного обладнання аналого-цифрових ССЗ (сервери, кінцеві засоби та інше) необхідно враховувати надійність їх програмного забезпечення.

Коефіцієнт готовності обчислюється за формулами, які вірні для простішого потоку відмов та експоненціального закону часу відновлення при умові, що в початковий момент часу об'єкт був справний [6, 7]

$$A(t) = \frac{1}{T + T_b} \left\{ T + T_b \exp \left[-t \left(\frac{1}{T_b} + \frac{1}{T} \right) \right] \right\},$$

де t – момент часу, який розглядається.

При $t \rightarrow \infty$ функція $A(t)$ прямує до стаціонарного значення

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{T}{T + T_b}.$$

яке використовується для розрахунків також і при інших значеннях розподілу напрацювання між відмова-

У загальному випадку під системою розуміють сукупність елементів, які перебувають у відношеннях та зв'язках між собою, утворюють визначене об'єднання, що має властивості [4, 6, 12]:

- цілісності – поява у сукупності елементів нових якостей, які відсутні у кожного з них окремо;
- ієрархічності – кожний компонент системи може розглядатися як окрема система;
- структурності – існування визначених зв'язків між елементами;
- єдності між системою та зовнішнім середовищем.

Системи, які функціонально різноманітні, відрізняються конструктивною складністю та складністю задач які вирішуються, а також високою вартістю відмов та значною автономністю, доцільно відносити до класу складних [6].

До складних відносять системи з розвинутою ієрархічною структурою, великою кількістю елементів і внутрішніх зв'язків з ознаками, які відрізняються:

- різноманіття структури;
- багатозв'язність елементів в середині одного рівня та між різними рівнями ієрархії;
- різноманіття природи елементів;
- багатократність змін складу та стану системи.

Очевидно, ССЗ відносяться до складних систем, оскільки відповідають зазначеним ознакам (рис. 1).

Складні системи досліджуються з використанням системного підходу – методологічного напрямку у науці, головне завдання якого полягає у розробці методів дослідження та конструювання об'єктів і систем різних типів, які складно організовані. Системний підхід – не суворий набір правил, а набір пізнавальних принципів, які орієнтовані на конкретні дослідження:

- об'єкт, що досліджується, розглядається як множина елементів, взаємозв'язок яких обумовлює цілісні якості системи;
- встановлюються зв'язки та відношення як всередині об'єкту, так і з зовнішнім середовищем;
- виявляються процеси управління, які реалізуються в об'єкті, форми передачі інформації, способи взаємодії частин, координація між рівнями ієрархії;
- визначаються елементи імовірнісної поведінки об'єктів, які досліджуються.

Системний підхід реалізується за допомогою системного аналізу – сукупності наукових методів та практичних прийомів вирішення різноманітних проблем, які виникають у цілеспрямованій діяльності (наприклад, в умовах невизначеності) на основі реалізації досягнень теорії досліджень операцій та теорії управління. Методи системного аналізу призначені для:

- визначення та упорядкування цілей діяльності системи та найкращих шляхів їх досягнення;
- вибору критеріїв;
- послідовної деталізації системи (підрозділу на елементи, які її складають);
- визначення взаємозв'язків та взаємозалежностей між цими елементами;
- визначення відносної переваги окремих цілей та критеріїв.

Системний аналіз включає послідовність обов'язкових етапів:

– постановка задачі, формулювання мети, вихідних даних, практичних умов вирішення, виявлення цілей та вибір показника ефективності;

- вибір альтернативних напрямків вирішення завдання, перелік практичних варіантів, які реалізуються, із сукупності відомих і розгляд можливості та доцільності створення нових;
- моделювання та аналіз результатів;
- порівняння альтернатив та прийняття рішень.

Моделювання займає центральне місце в системному аналізі і передбачає використання таких операцій:

- створення (або підбір із сукупності відомих) деякого об'єкту, який може в деякому змісті замінити той, що досліджується;
- випробування моделі, яку отримали, в умовах обмежень та припущень;
- перенесення результатів моделювання на оригінал.

Таким чином, модель – уявна або матеріальна система, яка заміщує деякий об'єкт у сенсі визначеної подібності, що є засобом отримання нової інформації про оригінал. Модель та оригінал повинні знаходитися у відношенні ізоморфізму – взаємно однозначної відповідності елементів та відношень (зв'язків) між елементами оригіналу та моделі. Модель має якості [4, 12]:

- рефлексивності – будь-яка система – це своя власна модель;
- симетричності – будь-яка система – це модель кожної своєї моделі;
- транзитивності – модель моделі – це модель вихідної системи.

Загальною якістю будь-яких моделей є їх спроможність відображати існуючі для цілей дослідження риси та характеристики оригіналів. Властивості моделі, які сформулював К. Шенон:

- актуальність – направленість на вирішення актуальних завдань;
- результативність – можливість реалізації результатів моделювання;
- достовірність – результати моделювання не викликають будь-яких сумнівів;
- економічність – ефект від моделювання перевищує витрати на створення та дослідження моделі.

Система вважається складною, коли вона складається з великої кількості взаємопов'язаних та взаємодіючих між собою елементів, здатна виконувати складну функцію та має такі якості [13]:

- унікальність і малосерійність великої номенклатури конструктивних елементів;
- функціональне перевищення, яке забезпечує функціонування зі зменшенням якості при відмові частини елементів та навіть цілих підсистем (функціональна надлишковість);
- велика протяжність експлуатації;
- висока надійність елементів.

Тобто, ССЗ відноситься до класу складних і для оцінки показників якості її функціонування доцільно використовувати результати моделювання і системний підхід.

Під якістю функціонування системи розуміється властивість, яка визначається характеристиками процесу функціонування, що веде до досягнення кінцевої мети в умовах, які задані.

Питання аналізу надійності складно розгалужених систем завжди були в центрі уваги проектування перспективних ССЗ і модернізації існуючих. Мережі зв'язку відносяться до дуже розгалужених систем, які складаються з елементів (вузлів, центрів і ліній зв'язку), що утворюють цілком визначені структури. Тому умовно в задачі аналізу надійності ССЗ виділяють аспекти об'єктової і структурної надійності [9 – 11].

Елементна (об'єктова) надійність це властивість, об'єктивно притаманна елементу ССЗ, зберігати його працездатність з якістю не гірше заданої на деякому інтервалі часу. Ця властивість обумовлюється багатьма факторами, у тому числі і стійкістю елементної бази до дестабілізуючого впливу зовнішнього середовища. Під *структурною* надійністю ССЗ розуміється об'єктивна властивість забезпечувати зв'язаність користувачів мережі з якістю не гірше заданої. Основним показником оцінки цієї якості є імовірність зв'язності двох- і багатополюсних мереж, які відповідно до організації зв'язку можна виділити на ССЗ загального користування [9 – 11].

Традиційно як основний показник надійності ССЗ використовується коефіцієнт готовності (A_C), який являє собою імовірність технічної справності усіх елементів системи і готовності усіх напрямків зв'язку до функціонування у повному обсязі. Однак, для ССЗ з більш об'єктивною характеристикою є імовірність технічної готовності системи до передачі інформації між абонентами (вузлами зв'язку) хоча б по одному напрямку зв'язку (P_C), що у літературі з теорії надійності [7 – 11] позначається як імовірність зв'язності чи імовірність справного стану хоча б одного, з можливих, напрямку зв'язку.

Очевидно, що $A_C \leq P_C$, причому рівність має місце, якщо кожен елемент ССЗ використовується тільки в одному напрямку і тільки один раз без участі в роботі інших напрямків зв'язку. Цей випадок відповідає нерозгалуженій ССЗ із незалежними напрямками зв'язку.

Надійність ССЗ може бути охарактеризована низкою показників, наприклад: наявністю в заданих двополюсних мережах напрямків зв'язку, математичним очікуванням числа цих шляхів, відношенням числа справних ділянок до їх загального числа, потужністю простого мінімального перерізу множини, під якою розуміється мінімальна сукупність елементів, відмова яких порушує зв'язаність та інше.

Основу цих показників складає лише один факт – здійснення події зв'язності, або незв'язності абонентів.

Тому доцільно вибрати як критерій оцінки структурної надійності ССЗ такий показник, що найбільше відображав би, з одного боку цільове призначення мережі, а з іншого – дозволяв би здійснювати перехід до оцінки якості функціонування вищих ланок ієрархії деякої складної системи, у контур керування якої ССЗ входить як складова.

З врахуванням зазначених зауважень вибираємо як критерій оцінки структурної надійності ССЗ імовірність зв'язності (рис. 2).

Подія зв'язності в двополюсних мережах зв'язку настає в тому випадку, якщо між обраною парою вершин x_i і x_j існує хоча б один (чи не менше одного) простий ланцюг. Умова настання події зв'язності в двополюсній мережі зв'язку можна розглядати як вимогу на встановлення зв'язку, яке записується у вигляді [7]:

$$P_{ij} \leq P(a \geq 1),$$

де a – мінімальне число простих ланцюгів, що повинні існувати.

При $a=1$ вимога приймає традиційно звичайний вигляд, коли під імовірністю P_{ij} зв'язності в двополюсній мережі зв'язку розуміється імовірність існування не менше одного простого ланцюга.

Реально ССЗ являє собою сильно зв'язану і розгалужену систему, що складається з вузлів і ліній зв'язку з можливістю організації передачі інформації між абонентами по великій, але обмеженій кількості напрямків.

Тому, для кількісної оцінки значень показників її надійності необхідно формалізувати та автоматизувати процес рішення цієї задачі з використанням сучасних ЕОМ.

5. Висновки

1. Показано, що ССЗ відноситься до класу складних і для аналізу показників якості доцільно використовувати системний підхід і моделювання залежностей їх значень від часу.

2. У результаті аналізу технічної літератури за кількісною оцінкою показників надійності ССЗ встановлена доцільність переходу від розрахунку коефіцієнта готовності до більш об'єктивної характеристики з позиції користувачів – імовірності зв'язаності системи з врахуванням надійності засобів зв'язку та програмного забезпечення.

Література

1. Волочій, Б. Ю. Системотехнічне проектування телекомунікаційних мереж. Практикум: навч. посібник [Текст] / Б. Ю. Волочій, Л. Д. Озірковський. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 128 с.
2. Бобало, Ю. Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія [Текст] / Ю. Я. Бобало, Б. Ю. Волочій, О. Ю. Лозинський, Б. А. Мандзій, Л. Д. Озірковський, Д. В. Федасюк, С. В. Щербановських, В. С. Яковина. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 300 с.
3. ДСТУ В 3265 – 95. Зв'язок військовий. Терміни та визначення [Текст]. – К.: Держстандарт України, 1996. – 40 с.
4. Денисов, А. А. Теория больших систем управления [Текст] / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
5. ДСТУ 2860 – 94 Надійність техніки. Терміни та визначення. – Чинний від 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1995. – 90 с.

6. Глазунов, Л. П. Основы теории надежности автоматических систем управления [Текст] / Л. П. Глазунов, В. П. Грабовецкий, О. В. Щербаков – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.
7. Маслов, А. Я. Эксплуатация автоматизированных систем управления [Текст] / А. Я. Маслов, Б. С. Абраменко, Л. И. Немудрук. Под ред. А. Я. Маслова. – М.: Воениздат, 1984. – 485 с.
8. Нетес, В. А. Надежность сетей связи: тенденции последнего десятилетия [Текст] / В. А. Нетес // Электросвязь. – 1998. – №1. – С. 25-27.
9. Хиленко, В. В. Проблеми розбудови і підвищення якості мережі спільноканальної сигналізації: структурна надійність мережі [Текст] / В. В. Хиленко, В. М. Аношков. Звязок. – 2002. – №6. – С. 21–25.
10. Рижак, В. А. Кількісне оцінювання структурної надійності систем зв'язку [Текст] / В. А. Рижак, Л. М. Сакович. Звязок. – 2004. - №4. – С. 53-57.
11. Харьбин, А. В. О подходе к решению задачи выбора методологии оценки структурной надежности и живучести информационных систем критического применения [Текст] / А. В. Харьбин, О. Н. Одарущенко. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. - №6918. – С. 61-71.
12. Иващенко, А. В. Основы моделирования сложных систем на ЭВМ <http://cs413820.vk.me/v413820690/71e8/7uzhB3rhly4.jpg/> А. В. Иващенко, Р. П. Сыпченко. – Л.: ЛВВИУС, 1988. – 272 с.
13. Острейковский, В. А. Теория надежности [Текст] / В. А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.