

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

На правах рукопису

СОВТУС Інна Кузьмівна

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ
МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ
СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

05.13.01 - управління в технічних системах

КИЇВ - 1992

№ 26.602

Робота виконана в Київському інституті інженерів цивільної авіації

Наукові керівники:

доктор технічних наук КОРНІЙЧУК Май Тихонович,

доктор технічних наук ШУТКО Микола Олександрович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук професор

ІГНАТОВ Володимир Олександрович,

кандидат технічних наук

КОСТАНОВСЬКИЙ Валерій Вікторович

Ведучу організацію вказано в рішенні спецради.

Захист відбудеться 17 лютого 1993 о 14 годині на засіданні спеціалізованої ради КО 72.04.02 при Київському інституті інженерів цивільної авіації.

Адреса: 252058, Київ-58, ГСП, пр.Космонавта Комарова, 1, КІЦА, корп.9, ауд.9-308.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00825637 (V)

З дисертацією можна познайомитися в бібліотеці КІЦА.

Автореферат розісланий 5 січня 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат технічних наук

Васкакова А.Г.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Широке упровадження математичного забезпечення при вивченні надійності та ефективності процесу функціонування складних систем є найважливішою теоретичною та техніко-економічною проблемою, що поставлена нагальними задачами сучасної оборонної та економічної розбудови нашої країни. В умовах переходу до ринку дуже важливо не послабити увагу до вдосконалення виробів військової техніки /ВВТ/ та складних радіоелектронних систем /РЕС/, що використовуються у виробках цивільної авіації /ВЦА/ при їх функціонуванні і експлуатації.

Актуальність теми. Технічна революція нашого часу, створюючи досконалі і боти, автомати з програмним управлінням, різного роду найскладніші автоматизовані системи управління /АСУ/, поставила сучасні складні системи на одне з центральних місць науково-технічного еволюціонування суспільства. Носієм інтелектуальних можливостей цих складних систем є математичне забезпечення, рівень і якість якого визначається базовим набором математичних моделей, реалізованих алгоритмами і програмами цього забезпечення. Отож в основі якості і ефективності функціонування таких складних систем лежить якість реалізованих ними математичних моделей, їх адекватність реальним об'єктам. Тому шляхи принципового, точніше фундаментального підвищення якості, ефективності і можливостей інтелектуальних систем /ІС/ ВВТ, ВЦА та інших АСУ можуть бути реалізовані через підвищення якості первинної інтелектуальної бази, тобто підвищення достовірності математичних моделей і ступеня адекватності їх до реальних об'єктів. Нам уявляється, що розв'язання цієї проблеми може здійснюватися за двома напрямками. Один з них - більш простий - це деталізація наявних моделей, удосконалення методики розрахунку вихідних даних, покращення обчислювальної якості алгоритмів і програм. Другий напрямок - творчий - полягає у принциповому удосконаленні цих моделей, що містить принципово нові, інформаційно більш місткі їх елементи, які враховують більш широкий спектр можливих станів реального процесу і дозволяють описати реальний об'єкт з в дим ступенем адекватності. Цей напрямок пов'язаний зі створенням нових інформаційно містких моделей, основаних на переході до більш загальних вихідних розподілів, наприклад, на переході від експоненціальних розподілів до довільних, з обмеженнями на ординарність і т.ін. В оптиміза-

ційних моделях - це перехід від лінійних цільових функцій і лінійних обмежень до більш загального класу функцій, що здатні в вищому ступені адекватності описати реальний об'єкт. Розробці другого напрямку і присвячений зміст теоретичних досліджень даної дисертації.

Але незважаючи на велику потребу у математичних моделях, які б більш змістовно вичерпували реальний об'єкт, вони розроблені не настільки, щоб можна було побудувати для реального процесу функціонування робочу математичну модель з урахуванням об'єктивних факторів, яка була б в достатньо оглядовому вигляді, зручною для інженерного використання. Сутність тут не в тому, що ще п'ять-десять років тому наявні моделі задовільняли потреби практики, а тепер не задовільняють; це становище пояснюється зростаючими вимогами до рівня точності шуканого результату, а вони бувають настільки високими, що апроксимація реального процесу управління і функціонування системи математичною моделлю, наприклад, у формі безсліддії вже не вкладається в межі вимог до точності, тобто в межах заданої точності модель вже наперед не є адекватною до реального процесу.

Викладене вище визначає найактуальнішу необхідність проведення теоретичного дослідження і розробку нових більш високого рівня достовірності і адекватності математичних моделей оцінювання надійності процесу функціонування складних систем. Саме в розрізі викладених найактуальніших задач формулюється

Мета дослідження. Метою нинішньої роботи є розробка нових і модифікація відомих математичних моделей оцінювання і оптимізації надійності систем для підвищення їх точності і достовірності, тобто для підвищення рівня їх адекватності до реальних об'єктів, а також з метою використання їх у розрахунках реальних систем. Для досягнення цієї мети в дисертації досліджується комплекс взаємопов'язаних питань, де змістовність проблеми охоплюють такі

Основні завдання дослідження:

- Вивчення і формалізація зв'язку і впливу частоти використання елементу в процесі функціонування складної системи на її функціональну надійність. Розробка стохастичної моделі функціонального зв'язку елементів, що утворюють систему.

- Модифікація базових аналітичних моделей оцінювання надійності складних систем з урахуванням процесу обслуговування вхідного потоку вимог і частоти використання елементів. Підвищення

достовірності та адекватності модифікованих базових моделей включенням до них параметрів управління і оператора математичного сподівання надійності системи.

- Дослідження зв'язку і залежності між приростом надійності системи і вартістю, що забезпечує цей приріст в процесі модернізації і доробки системи; формалізація і побудова математичної моделі залежності.

- Реалізація модифікованих первісних базових аналітичних моделей в методі оптимізації вартісних витрат на модернізацію і доробку системи.

- Розробка методу оптимального розподілу вимог до елементів і вузлів складної системи за рівнем їх доробки з метою підвищення до нового рівня надійності системи.

- Дослідження і модифікація моделі функції вартості від надійності системи на етапі її проектування.

- Розробка і побудова на основі модифікованих базових моделей нових математичних моделей і алгоритмів оптимального за вартісними цільовими функціями розподілу вимог по надійності елементів складної системи на етапі її проектування.

- Теоретичне обґрунтування строгості математичних моделей, збіжності обчислювального процесу алгоритмів, що реалізують моделі. Формалізація, формулювання і доведення теорем, які обґрунтовують запропоновані методи, моделі і алгоритми.

Теоретичний апарат, що використовується при проведенні досліджень, включає в себе математичні методи дослідження операцій, теорію ймовірностей і статистичні оцінки, теорію масового обслуговування і методи нелінійного програмування. Окремі елементи теоретичного апарату такж є об'єктом дослідження, розробки.

Вищевикладений комплекс задач модифікації і вдосконалення базових і створення нових моделей та їх використання в розробці методів оцінювання і оптимізації надійності складних систем утворює зміст дисертаційного дослідження. Його об'єктивні передумови закладені в самій основі побудови і реального використання складних РЕ систем ВВТ і ВЦА, а строгість і чіткість теоретичних досліджень, побудованих на математичних методах операції математичного сподівання і нелінійного програмування, безпосередньо розроблених автором в межах даних дисертаційних досліджень, дозволяє отримати нові якісні і кількісні результати в забезпеченні потрібної надійності реальних систем. В цьому аспекті

і формулюються отримані в дисертації

Результати досліджень, що виносяться на захист.

1. Модифіковані базові аналітичні моделі оцінювання надійності складних систем різної структури.

2. Модель стохастичного зв'язку елементів складної системи. Математичне сподівання надійності системи і формула для його обчислення, що ґрунтується на оцінці ймовірності використання елементу його частотою.

3. Математичні моделі забезпечення нового оптимального рівня надійності дороблюваної системи в процесі її експлуатації за критерієм рівня витрат. Алгоритм ідентифікації елементів систем., що потребують доробки, алгоритм визначення рівня доробки кожного з ідентифікованих елементів і нового оптимального рівня його надійності. Теорема, що обґрунтовує розроблені моделі і алгоритми, а також збіжність обчислювальних процедур.

4. Метод оптимізації за критерієм вартості характеристик структурної надійності складних систем на етапі їх проектування і розробки. Алгоритм, що реалізує метод. Двоїстість задачі оптимізації. Обґрунтування збіжності з необхідною точністю обчислювальних процедур, чисельно реалізуючих моделі.

Наукова новизна, теоретична та практична цінність. Дисертація являє собою якісне узагальнення результатів досліджень автора, проведених за період 1985-1992 р.р. [70-96] і направлена на вирішення комплексу вище сформульованих задач, пов'язаних з побудовою нових оригінальних математичних моделей, методів і алгоритмів оцінювання і оптимізації характеристик надійності складних систем. Основні результати, що містяться в розділах 1-3, є новими; в четвертому розділі досліджуються реальні системи із застосуванням розроблених вище моделей.

Теоретичні та експериментальні результати, що складають основний зміст дисертації, виконувались у відповідності до планів НДР КВІРТУ, КІЦА і в межах науково-технічного співробітництва їх з організаціями ЦЕРТОС "Авіалінії України", МІЦА, Військовий університет /м.Харків/, інститут автоматизації проектування АН РР, Секція застосовних проблем РАН, НДІ "Сатурн", НДІ "Квант" та ін. і є частиною планових НДР та ОКР цих організацій за період 1985-1992 р.р. Починаючи з 1985 р. автором та за безпосередньої його участі було виконано ряд теоретичних та експериментальних досліджень [70-96], спрямованих на розв'язування проблеми підви-

чення достовірності і адекватності математичних моделей оцінювання надійності складних систем шляхом розробки інформаційно більш містких нових і модифікації використовуваних математичних моделей.

Реалізація і впровадження. Результати дисертаційної роботи впроваджені у виконання ряду НДР і ДКР КВІРТУ, КІЦА, МІЦА, Військовий університет /м.Харків/, НДІ "Квант", ІАП АН РФ, ІП АН України, а також в практику роботи КВІРТУ, ЦЕРТОС "Авіалінії України", НДІ "Сатурн" та ін. Зокрема, результати досліджень використані при розробці і вдосконаленні вимірально-обчислювального комплексу на базі ЕС ЕОМ та нових засобів траекторних вимірювань /КВІРТУ, НДР "Яровізація", Київ, 1986/; дослідженні, моделюванні і розробці інтелектуальної самоорганізації робототехнічного комплексу /КВІРТУ, НДР "Клен-ГКНО-К", Київ, 1991/; розробці оптимізації характеристик надійності елементів АСВК на етапі проектування /ВІРТА, НДР і ДКР "Лангин-УВО/ЗВК", Харків, 1991/; розробці моделювання оптимізації структурної надійності ВЦА і ВВТ /МІЦА, НДР "Шерхан-К", Москва, 1992/; розробці методів математичної обробки інформації про повітряні об'єкти /КФ ЦНПО Міррадіопрому СРСР "Комета", НДР "Шерхан-К-УН", Київ, 1991/; розробці моделей розрахунку надійності і стійкості ієрархічних структур /НДІ АН РФ "Инсисст", НДР "Ковер-Лати", Москва, 1991; ІАП АН РФ, ДКР "Ковер-К", Москва, 1990/ та ін.

Технічні вирішення. Окремі формули, моделі, підалгоритми, а саме: формула обчислення математичного сподівання надійності; модифікована базова аналітична модель оцінки надійності зі стохастично послідовним зв'язком елементів; трансцендентні рівняння оптимізації доробки системи та ін. модифіковано використовувались при розробці та винаході технічних пристроїв, що підвищують якісний рівень експлуатації і управління РЕ систем ВВТ і ВЦА: пристрій для попередження зіткнень повітряних суден /ПС/ /АС № 287326/; пристрій для екстраполяції та прогнозу параметрів траєкторії літального апарату /ЛА/ /АС № 287885/, технічні пристрої на спеціальну тему /АС № 309750, АС № 330888, ПР № 308с від 05.07.92/ і в ін.

Новизна технічних вирішень, реалізуваних оригінальністю теоретичних розробок дисертаційної роботи підтверджена авторськими свідоцтвами на винаходи [89-92], і позитивним рішенням на патент [95].

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались в період 1985-1992 р.р. на Міжнародній науково-тех-

нічній конференції "Статистичні методи в теорії передачі та перетворення інформаційних сигналів" /Київ, КІЦА, 1992/, I Всесоюзний НТК "Проблеми удосконалення радіоелектронних комплексів і систем забезпечення польотів" /Київ, КІЦА, 1989/, Всесоюзному семінарі "Статистика випадкового поля. Обробка зображень" /Красноярськ, КрДУ, 1988/, I7-й міжгалузевий науково-технічний конференції "Методи та пристрої обробки РЛ і РТ інформації" /Київ, НДІ "Квант", 1992/ та ін.

Публікації результатів. Матеріали досліджень, що відображують результати дисертаційної роботи, викладені в опублікованих роботах [70-96]. Вони містять статті [70-73, 79-82], матеріали конференцій [74-78, 83-84], авторські свідчення на винаходи [89-92, 95], методичні посібники [85-88], звіти по НДР [93, 94, 96] - всього 25 публікацій.

Структура дисертаційної роботи та її об'єм. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, заключення та списку літератури. За об'ємом вони займають: вступ II сторінок /6-16/, основний текст 109 стор./17-125/, заключення 5 стор./126-130/, список літератури 10 стор./131-140/. Всього сторінок - 140.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ традиційний; він присвячений викладенню сутності розв'язуваних задач, їх місця в канві загального розвитку науки. Обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета та результати, що виносяться на захист. Підкреслена новизна наукових результатів, їх практична цінність. Вказані апробація і публікації, наведений аналіз і зміст впроваджень.

В першому розділі досліджується принципово новий підхід до побудови моделей і розрахунку надійності складних систем за відомою надійністю їх елементів. За вихідне взяті базові моделі. Сутність підходу полягає в тому, що враховуються не тільки функційний зв'язок елементів з іншими в системі, але й ступінь і частота використання кожного елементу в процесі експлуатації і функціонування. Так, наприклад, якщо i -й елемент $i=1, n$, що має надійність X_i , функціонально входить до системи послідовно, а технологічний процес експлуатації системи допускає його невикористання при виконанні окремих завдань, то реальна функціональна надійність цього елемента по відношенню до системи буде мати два зна-

чення: $\xi_i = x_i$, якщо використовується елемент, і $\xi_i = 1$, якщо елемент не використовується.

За такого дослідницького підходу наявний стохастичний зв'язок елементів в системі. Бо входження його в систему є випадковим, тобто він входить до системи, коли використовується, і не входить функціонально до неї, коли не використовується.

Позначимо частоту використання i -го елемента через ω_i і будемо розраховувати її за допомогою формули

$$\omega_i = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T e_i(t) dt,$$

де $e_i(t)$ в момент часу t приймає значення 0 або 1 в залежності від використання елемента в цей час. Використовуючи частоту як оцінку ймовірності випадкової величини ξ можемо говорити про математичне сподівання надійності елемента по відношенню до функціональної надійності системи, тобто

$$x_i = M\xi_i = \omega_i x_i + (1 - \omega_i) \cdot 1 = 1 - \omega_i (1 - x_i). \quad /1/$$

Пропонований дослідницький фактор частоти використання елемента істотно впливає на рівень адекватності і достовірності математичних моделей, що використовуються для оцінювання надійності складних систем. Істотним є також фактор управління надійністю елемента, що забезпечує вартування режиму технології використання і експлуатації i -го елемента приріст його надійності на θ_i , де $\theta_i \in [0, 1 - x_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$. По відношенню до системи можна говорити про вектор-управління її надійністю $\vec{\theta}$, де $\vec{\theta} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$. З урахуванням цього фактора формула /1/ приймає вигляд

$$\bar{x}_i = x_i + \theta_i \quad \text{або} \quad \bar{x}_i = \omega_i \left(x_i + \frac{1 + \theta_i - \omega_i}{\omega_i} \right), \quad i = \overline{1, n}. \quad /2/$$

Використовуючи оператор математичного сподівання надійності елемента переходимо до побудови моделі оцінювання надійності складної системи. Спершу скористаємось послідовним зв'язком елементів. Вважаючи процес безвідмови елементів незалежним для окремих елементів маємо, що ймовірність безвідмовної роботи системи дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи елементів:

$$X(\vec{x}, \vec{\omega}, \vec{\theta}) = \prod_{i=1}^n \omega_i \left(x_i + \frac{1 + \theta_i - \omega_i}{\omega_i} \right). \quad /3/$$

Побудована модель /3/ є модифікацією класичної моделі

$$\chi = \prod_{i=1}^n x_i \quad /4/$$

і одночасно її принциповим узагальненням. Загальність її довести легко, поклавши конкретні значення параметрів ω_i і θ_i . Так, якщо покласти в /3/ значення $\omega_i=1$, $\theta_i=0$, $i=\overline{1, n}$, тобто припустити детермінований зв'язок елементів і відсутність управління надійністю, то з /3/ випливає класична формула /4/ як частинний випадок.

За аналогією одержуємо відповідні математичні моделі оцінювання надійності складних систем з більш складною структурою з'єднання елементів:

$$\chi(\bar{x}, \bar{\omega}, \bar{\theta}) = \prod_{i=1}^n [1 - (\omega_i [1 - x_i] - \theta_i)^{s_i}] \quad /5/$$

при резервуванні s_i раз i -го елементу в системі,

$$\chi(\bar{x}, \bar{\omega}, \bar{\theta}) = \prod_{i=1}^{n-m} \omega_i (x_i + \frac{1 + \theta_i - \omega_i}{\omega_i}) [1 - (1 - \prod_{j>n-m} \omega_j (x_j + \frac{1 + \theta_j - \omega_j}{\omega_j}))^s] \quad /6/$$

при змішанному з'єднанні елементів в системі з зарезервованим ланцюжком з m елементів. Одержані формули є більш загальними по відношенню до відомих класичних. В цьому легко переконаєшся, поклавши $\omega_i=1$ і $\theta_i=0$, $i=\overline{1, n}$; тоді відомі формули випливають з /5/ і /6/ як частинний випадок.

Одержані формули мають важливе практичне значення, оскільки будь-яка реальна система подається однією з розглянутих схем з'єднання елементів або певною їх комбінацією.

Для ілюстрації розробленого методу розглянемо приклад функціонування реальної системи "Пристрій екстраполяції і прогнозу траєкторії руху ЛА", захищене АС № 267885 /пріоритет 25.03.88/. Функціональна блок-схема його подана на рис.1, де ПІЗШНН - про-

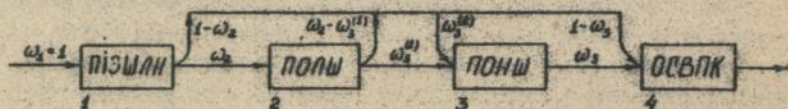


Рис.1

цесор ідентифікації зміни швидкості ЛА, ПОЛШ - процесор прогнозу лінійної швидкості і ПОНШ - за напрям /кривизана, кручення/, ОСВПК - обчислювальна система визначення прогнозованих координат

ЛА за наступний після $t = t_i$ час Δt_{np} .

Процес функціонування системи полягає в наступному. Є результати вимірів координат ЛА в теперішній час $t = t_i$ і в минулім $t < t_i$. Потрібно визначити координати ЛА через час Δt_{np} , тобто в момент часу $t = t_i + \Delta t_{np}$. Для цього інформація в точці $t = t_i$ аналітично порівнюється ПІЗШН з інформацією в попередніх точках. Якщо виявиться, що зміна швидкості не значуща /з вибраними рівнями значущості/, то інформація, проминувши елементи ПОШ і ПОНШ, йде до елемента ОСВПК. Тут елементи 2 і 3 не використовуються і в данному випадку вплив їх надійності /ймовірність безвідмовної роботи/ на надійність системи відсутній, тобто ці надійності можна вважати рівними одиниці*. Отже, елементи 2 і 3 входять до системи стохастично. Коли ПІЗШН ідентифікує зміну лінійної швидкості, то використовується елемент 2, якщо швидкості за напрямом, то елемент 3, якщо і те і інше - то всі елементи. Це залежить від маневрування ЛА, а також від потужності обчислювальної системи. До речі, збільшуючи потужність ОСВПК, можна зменшити час Δt_i , що призведе до зменшення частот ω_2 і ω_3 , отож наявне управління надійністю.

Другий розділ присвячений розробці метода і моделей розв'язування оптимізаційних задач, пов'язаних з модернізацією і вдосконаленням системи в процесі її експлуатації з урахуванням стохастичного зв'язку елементів. Зростаючі вимоги до тактико-технічних характеристик /ТТХ/ складних систем передбачають не тільки розробку нових РЕС, але і модифікацію функціонуючих. А це можливо шляхом удосконалення і доробки /модернізації/ окремих елементів і вузлів РЕС, або груп елементів.

Тому актуальною є задача: які з n елементів системи або її вузлів потрібно модернізувати /доробити/ і до якого рівня x_i проводити доробку кожного з них, щоб РЕ система в цілому відповідала новому з ТТХ більш високому рівню надійності $X_a^* > X^*$ і при цьому щоб витрати на доробку були мінімальними. Після дослідження емпіричних залежностей вироблена аналітична модель

$$K_i(x_i) = \frac{A_i x_i}{q_i - x_i}, \quad q_i = 1 - p_i, \quad i = \overline{1, n} \quad /7/$$

функції вартості доробки, яка будувалась в класі гіперболічних функцій. Наведене виведення і обґрунтування моделі /7/ як найбільш адекватної до реальної залежності.

За допомогою моделі /7/ формалізація вихідної задачі зводи-

ться до мінімізації нелінійної функції /8/ при нелінійних /трансцендентних/ обмеженнях /9/ у вигляді рівностей і /10/ у вигляді нерівностей, тобто

$$\min_{\vec{x} \in \{\vec{x}\}} K(\vec{x}), \quad /8/ \quad \mathcal{F}(\vec{\rho}, \vec{x}, \vec{\omega}, \vec{C}) = X_{\Delta}^*, \quad /9/$$

$$\{x_i \in [0, q_i)\} \cap \{\omega_i \in [0, 1]\} \cap \{\theta_i \in [0, 1 - x_i]\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad /10/$$

де $K(\vec{x}) = \sum_{i=1}^n K_i(x_i)$ - функція вартості доробки системи, ρ_i - характеристика надійності і x_i - її приріст за рахунок доробки i -го елемента.

Найважна задача на умовний екстремум, але, на жаль, не класичний варіант. Для його відшукування будемо функцію Лагранжа

$$f_{\vec{\rho}, \vec{\omega}, \vec{\theta}}(\vec{x}, \lambda) = K(\vec{x}) + \lambda [\mathcal{F}(\vec{\rho}, \vec{x}, \vec{\omega}, \vec{\theta}) - X_{\Delta}^*] \quad /11/$$

і досліджуємо її для кожної схеми сполучення елементів. І знову при побудові /11/ порушені класичні канони, оскільки функція Лагранжа /11/ не охоплює обмежень /10/ у вигляді нерівностей. Вихід з тупику знайдено: для обґрунтування коректності /11/ формулюється і доводиться

Теорема 2.1. Жорсткість обмежень /9/ виключає в себе обмеження /10/. При цьому розв'язок задачі оптимізації /8-10/ існує і єдиний в області обмежень.

Доведення теореми викладене за ходом розв'язку задачі.

Диференціюємо функцію Лагранжа і, прирівнявши похідні до нуля, одержуємо рівняння оптимізації для кожної схеми з'єднання елементів. Таким чином маємо систему алгебраїчних рівнянь

$$\frac{A_i q_i}{(q_i - x_i)^2} + \frac{\lambda}{x_i + \rho_i + \frac{1 + \theta_i - \omega_i}{\omega_i}} \prod_{j=1}^n \omega_j (x_j + \rho_j + \frac{1 + \theta_j - \omega_j}{\omega_j}) = 0, \quad /12/$$

аб.

$$B_n (x_n - q_n)^2 - A_n q_n (x_n - q_n) - A_n q_n (\delta_n + q_n) = 0, \quad /13/$$

$$B_k = \frac{A_k q_k (\delta_k + x_k)}{(q_k - x_k)^2}, \quad \delta_k = \rho_k + \frac{1 + \theta_k - \omega_k}{\omega_k}, \quad k = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, n$$

другого порядку для систем з послідовною стохастичною схемою і аналогічну вищих порядків у випадку зарезервованої системи

$$\frac{A_i q_i}{(q_i - x_i)^2} + \frac{\lambda \omega_i [\omega_i (q_i - x_i) - \theta_i]^{s_i - 1}}{1 - [\omega_i (q_i - x_i) - \theta_i]^{s_i}} \prod_{j=1}^n [1 - (\omega_j [q_j - x_j] - \theta_j)^{s_j}] = 0, \quad i = \overline{1, n}.$$

Доводиться, що оптимальний варіант доробки \bar{x}^* існує, і розроблені алгоритми для його відшукування.

Сутність полягає в тому, що після аналітичних перетворень системи рівнянь /12/ і /13/ побудовані таким чином, що ліва ψ_i і права Ψ_i частини цих рівнянь монотонні, що забезпечує існування і єдиність розв'язку, а також високу швидкість збіжності розробленого алгоритму послідовних наближень /рис.2/ до шуканого розв'язку \bar{x}^* .

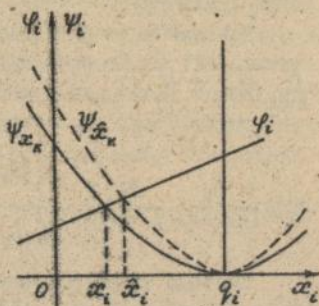


Рис.2

В третьому розділі досліджується задача про встановлення оптимальних вимог по надійності для окремих елементів і вузлів системи, що ґрунтуються на вимогах до надійності всієї системи, на стадії її проектування і розробки. Запропонований метод, який дозволяє усунути невідповідність до вимог на вузли і окремі частини складної системи, коли вона розробляється різними проектними організаціями, а її виробництво здійснюється на різних заводах.

Досліджується зв'язок і залежність між вартістю і надійністю елементів. Вибрана функція вартості і модифікується її модель

$$C_i(x_i) = A_i x_i \exp\left\{\frac{B_i}{1-x_i-\varepsilon}\right\}, \quad /14/ \quad C(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n C_i(x_i) \quad /15/$$

для елемента /14/ і для системи /15/, яка дозволяє з достатнім рівнем наперед заданої точності апроксимувати реальну залежність в локальній області шуканого рішення. Тоді задача зводиться до відшукування мінімуму функції вартості системи /15/ при обмеженні /3/ і

$$\{x_i \in [0, 1-\varepsilon]\} \cap \{\omega_i \in [a, 1]\} \cap \{\theta_i \in [0, 1-x_i]\}. \quad /16/$$

І тут умовний екстремум не вкладається в класичні межі. Тому для побудови функції Лагранжа

$$L(\bar{x}, \bar{\omega}, \bar{\theta}, \lambda) = \sum_{i=1}^n A_i x_i \exp\left\{\frac{B_i}{1-x_i-\varepsilon}\right\} + \lambda \left\{ \prod_{i=1}^n \omega_i \left(x_i + \frac{1+\theta_i-\omega_i}{\omega_i}\right) - X_{\Delta}^* \right\} \quad /17/$$

розроблений оригінальний метод розв'язування задачі оптимізації, який обґрунтовує

Теорема 3.1. Жорсткість обмежень /3/ при побудові /17/ забезпечує виконання /16/; при цьому розв'язок задачі оптимізації існує і єдиний.

Доведення теореми поводитьсь одночасно з побудовою рівнянь оптимізації та їх розв'язуванням. Прирівнюючи частинні похідні $\frac{\partial}{\partial x_i} f(\vec{x}, \vec{\omega}, \vec{\theta}, \lambda)$ до нуля, одержуємо трансцендентні рівняння оптимізації. Після аналітичних перетворень вони приймають вигляд

$$\exp\left\{\frac{B_i}{1-x_i-\varepsilon} - \frac{B_i}{1-x_i-\varepsilon}\right\} = \frac{A_i\left(x_i + \frac{1+\theta_i-\omega_i}{\omega_i}\right)\left[1 + \frac{B_i x_i}{(1-x_i-\varepsilon)^2}\right]}{A_i\left(x_i + \frac{1+\theta_i-\omega_i}{\omega_i}\right)\left[1 + \frac{B_i x_i}{(1-x_i-\varepsilon)^2}\right]}, \quad i = \overline{2, n}. \quad /18/$$

Система трансцендентних n -I рівнянь /18/ має n невідомих x_i . Для її повноти виключаємо /3/. Розроблений метод і реалізований його алгоритм послідовних наближень до шуканого рішення трансцендентних рівнянь /18/ використовує x_2 як основний вар'ювальний параметр. Тоді наступне наближення $x_2^{(k+1)}$ за побудованими $x_2^{(k)}$ і $x_2^{(k-1)}$ обчислюємо за формулою

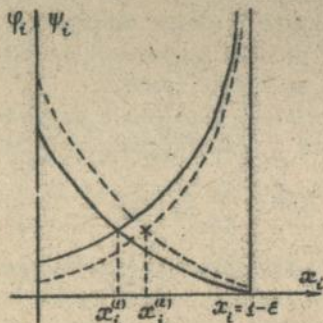


Рис.3

$$x_2^{(k+1)} = \frac{\alpha x_2^{(k)} - \beta x_2^{(k-1)}}{\alpha + \beta},$$

$$\text{де } \alpha = |x^* - x^{(k-1)}|, \\ \beta = |x^* - x^{(k)}|.$$

Збіжність процесу наближень /і до того швидко/ забезпечується конструкцією /рис.3/ побудованої лівої і правої частин кожного з рівнянь /18/, а строге монотонність гарантує існування розв'язку задачі оптимізації і до того ж єдиного.

Четвертий розділ присвячений практичному використанню розроблених методів і моделей для реальних систем.

Проведене дослідження надійності РЕ системи екстраполяції і прогнозу траєкторії руху ЛА, яка не описується адекватно класичними моделями, що як приклад наводилось раніше.

Проведене дослідження і розрахунки оптимальної структури доробки системи відображення 5Ш86, що входить до складу КЗА КП корпусу ППО. Проведені розрахунки надійності за класичними і розробленими моделями. Так для середнього напрацювання на відмову одержаний результат складає 31% від реального T_{cp} за класичними формулами, і 119% за розробленими в дисертації. Перше відхилення значуще, і не можна приймати відомі формули як адекватні для розрахунку системи. Друге відхилення /19%/ незначуще при вибраному допустимому 30%-му рівню значущості. Отже, розроблені моделі слід визнати адекватними. Проведені за допомогою них розрахунки оптимізації доробки вказали на несхідність резервування конкретних двох елементів.

В заключенні підведені підсумки досліджень та сформульовані проблемні питання.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ. ВИСНОВКИ

Сутність, наукова новизна, застосовна спрямованість та її реалізація в конкретних впровадженнях основних результатів дослідження полягає в наступному. Сформульована, досліджена і розв'язана загальна задача дослідження і підвищення достовірності і адекватності базових і похідних аналітичних моделей оцінювання надійності складних систем, яка включає наступні складові задачі.

1. Досліджений, описаний і формалізований зв'язок і вплив частоти використання елемента в процесі функціонування системи на її надійність.

2. Введене поняття і термін математичного сподівання надійності елемента і запропонована формула для його обчислення як випадкової величини, розподіленої за частотою використання елемента. Модель може використовуватись в конструкції відомих методів оптимізації, що дозволяє розширити можливості цих методів і отримати нові оптимізаційні моделі і алгоритми.

3. Досліджений і формалізований зв'язок і залежність між приростом надійності системи при її доробці і вартістю, що забезпечує цей приріст. Виведена математична модель.

4. Розроблений метод оптимізації витрат на забезпечення нового необхідного рівня надійності системи при її доробці.

5. Доведені теореми, що обґрунтовують побудовані моделі оптимізації, існування і єдиність розв'язку задачі, збіжність по-

будованих обчислювальних алгоритмів і процедур.

6. Інформативна конструктивність запропонованого методу дає можливість розв'язувати задачу оптимізації за іншими критеріями. Умовно вільний поділ системи на елементи дозволяє за допомогою запропонованого методу оцінити необхідні оптимальні вимоги до будь-якого окремого блоку системи чи її вузла.

7. Загальність отриманих результатів підтверджена їх частинними випадками, що співпадають з відомими формулами.

8. Практична значущість результатів підтверджена використанням їх для реальних систем і технічними рішеннями при створенні ряду пристроїв, захищених авторськими свідоцтвами.

Зміст дисертації опублікований в 26 роботах.

Основні з них.

1. СОВТУС И.К. Алгоритм вычисления вероятностей состояний ненадежной системы//Статистические методы в теории передачи и преобразования информационных сигналов.- К.: КИИГА, 1988.- С.34.

2. СОВТУС И.К. Аналитическая модель оценки надежности системы с дискретным временем//Статистика случайных полей. Обработка изображений. - Красноярск: КрГУ, 1988. - С.18-19.

3. СОВТУС И.К. Вероятностный метод повышения адекватности стохастических моделей надежности РЭ систем//Повышение эффективности радиосредств систем и комплексов обеспечения полетов. К.: КИИГА, 1991.- С.107-108.

4. СОВТУС И.К. Метод повышения адекватности и достоверности вероятностной модели оценки надежности систем//Статистические методы обработки сигналов в авиационном радиосредстве. Оборудование.- К.: КИИГА, 1992. - С.80-85.

5 - 8. СОВТУС И.К., СЕМЕНЧЕНКО А.И. и др. Изобретения. Темы закрытые.

АС № 287326, приоритет 21.01.88; АС № 287865, приоритет 25.03.88; АС № 309750, приоритет 27.03.89; АС № 330888, приоритет 11.11.90.

9. СОВТУС И.К. и др. Патент. ПР № 308с от 05.07.92.

Копія

Подписано в печать 28.12.92. Формат 60x84/16. Бумага типографская.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз.
Заказ № 220-Г. Цена . Изд. № 369/Ш.

Издательство КМИГА.

252058. Киев-58, проспект Космонавта Комарова. 1

069602

As 26.602

AB 26.602