

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Іванчихін Юрій Володимирович

УДК 621.519. 6

РОЗРОБКА МЕТОДИК ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ
СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ СТРУКТУРИ І ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ТА
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПАСНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Раскін Лев Григорович,
Національний технічний університет "ХПІ",
професор кафедри системного аналізу
та управління

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Єфімов Олександр В'ячеславович,
Національний технічний університет "ХПІ",
завідувач кафедрою парогенераторо-будування

доктор технічних наук, професор
Гінзбург Михайло Давидович,
філія НДПАСУтрансгаз ДК "Укртрансгаз" НАК "Нафтогаз
України", м. Харків,
завідувач Науково-технічним центром N11

Провідна установа

Науково-виробнича корпорація “Київський інститут автоматики“ Міністерства промислової політики України, м. Київ.

Захист відбудеться “ 22 ” листопада 2001 р. о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”, за адресою:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “ 18 ” жовтня 2000 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Голоскоков О.Є.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У останні десятиріччя потреби народного господарства і військової справи стимулювали розробку і впровадження складних багатопозиційних розподілених систем (БПРС), загальна тенденція розвитку яких полягає в постійному ускладненні апаратури, структури і зв'язків між елементами, зростанні відповідальності виконуваних функцій, що обумовлюють високі вимоги до надійності елементів і підсистем. Для ефективного функціонування БПРС необхідно включити до їхнього складу системи відновлення і забезпечення запасними елементами (запасними виконавчими пристроями) (СВЗВП).

Труднощі при проектуванні СВЗВП для БПРС пов'язані насамперед із дуже високою розмірністю і складністю математичних моделей. Виникаючі при цьому проблеми великої розмірності приводять до спрощення моделей, використання при проектуванні найпростіших законів розподілу, наближених оцінок. Зайва комплектація запасними елементами приводить до нераціонального використання матеріальних ресурсів, недостатнє ж резервне забезпечення - до істотного зниження ефективності БПРС, а для розподілених радіоелектронних систем (РЕС), що вирішують спеціальні задачі у військовій області, може призвести до катастрофічних наслідків.

Таким чином, задача розробки адекватних математичних моделей СВЗВП, що забезпечують задоволення заданих вимог по надійності об'єкта при раціональних варіантах структури і оптимальних обсягах комплектів ЗВП, що дозволяють мінімізувати вартісні витрати, є достатньо актуальною, особливо в даний час, коли економіка України перебуває на етапі реформ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" відповідно до планів науково-дослідних робіт "Розробка методів синтезу і принципів побудови просторово-розподілених систем збору навігаційної інформації для забезпечення випробувань спеціальних комплексів на підставі використання перспективних вимірювальних засобів і систем передачі даних", "Розробка методик математичного і програмного забезпечення синтезу розподілених систем зовнішньотраєкторних вимірювань", затверджених наказом Міністерства освіти УСРС № 78 від 21.03.1991р.

Мета і задачі дослідження. Основною метою дисертаційної роботи є розробка ефективних методик розв'язання задач формування оптимальної структури і кількісного складу систем відновлення і забезпечення запасними елементами, що забезпечують задані показники надійності складних БПРС при обмеженнях на ресурси. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язання задач:

- формування загальної методики оцінки процесів відновлення складних РЕС залежно від структурних параметрів СВЗВП;
- розробка моделей аналізу функціонування БПРС з урахуванням варіантів структурно-організаційних схем СВЗВП- (стратегій контролю працездатності елементів заміни, ієрархічної структури, кількісного складу комплектів);
- розробка методів і алгоритмів зниження фазового простору станів багатомірних моделей складних систем;
- розробка методики синтезу СВЗВП оптимальної структури та параметрів БПРС при багатомірних моделях в умовах обмежених ресурсів;
- дослідження працездатності моделей, алгоритмів і методів при проектуванні реальних варіантів побудови СВЗВП.

Об'єктом дослідження дисертаційної роботи є процеси функціонування РЕС з ненадійними елементами та методи підвищення їхньої надійності.

Предметом дослідження є система відновлення елементів, що відмовили, і оптимального (раціонального) забезпечення ЗВП.

Методи дослідження. В роботі був застосований метод імітаційного моделювання, а також методи марківської апроксимації процесів відмов і відновлень, методи агрегування фазового простору станів моделей і методи цілочислової оптимізації.

Наукова новизна отриманих результатів. У процесі досягнення мети і вирішування задач дисертаційної роботи отримано нові наукові результати:

- отримали подальший розвиток методи оцінки процесів відновлення працездатності складних ієрархічних структурованих систем;

- отримали подальший розвиток марківські моделі аналізу ефективності складних систем з ненадійними елементами, а саме з урахуванням варіантів стратегій, структури і кількісного складу комплектів СВЗВП;

- отримав подальший розвиток спосіб агрегування простору станів марківських ланцюгів, розроблено алгоритми укрупнення, досліджено їхню ефективність залежно від параметрів структури простору станів моделей;

- вперше розроблено ітераційні алгоритми укрупнення фазового простору станів марківських та напівмарківських систем великої розмірності;

- вперше розроблено метод синтезу СВЗВП оптимальної структури і кількісного складу багатомірних моделей систем при обмеженнях на ресурсі.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені методики аналізу ефективності БПРС з урахуванням типових структур СВЗВП; алгоритми агрегування простору станів моделей забезпечують практичну можливість розв'язання задач проектування СВЗВП оптимальної структури і складу, що дозволяє уникнути нераціональних матеріальних витрат. Результати досліджень використано в роботах АТ "Науково-дослідний інститут радіовимірювань" при рішенні задач формування СВЗВП для багатопозиційної навігаційної системи (БПНС), що підтверджується актом про впровадження.

Особистий внесок автора. Всі наукові результати, наведені в дисертації, отримано автором самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, автору належать: у роботі [7] - методика використання аналітико-імітаційної моделі для дослідження ефективності підсистеми інформаційного забезпечення БПНС з урахуванням ненадійності елементів; у роботі [10] - марківські моделі аналізу ефективності систем з урахуванням структури підсистеми забезпечення запасними елементами.

Апробація роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи були викладені та обговорені на міжнародних науково-технічних конференціях: "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, утворення, здоров'я" (Харків, 1993, 1994, 1997, 1998), на Другій Українській конференції автоматичного управління "Автоматика-95" (Львів, 1995), а також на наукових семінарах кафедри системного аналізу і управління та кафедри автоматизованих систем управління Національного технічного університету "ХП".

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 10 друкарських робіт, із них 5 статей без співавторів у збірниках наукових праць, 4 - у працях наукових конференцій, 1 монографія (колектив авторів).

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'ятих розділів, висновків і трьох додатків. Повний обсяг дисертації складає 175 сторінок; 55 ілюстрацій, з яких 11 розміщені на 11 окремих сторінках; 7 таблиць, з яких 3 розміщені на 6 окремих сторінках; три додатки на 19 сторінках; список використаних літературних джерел із 165 найменувань на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкривається стан проблеми, обґрунтовується актуальність теми, формулюється мета роботи, вказується її наукова новизна і практична цінність отриманих результатів.

У першому розділі визначено структуру і особливості предмета дослідження - СВЗВП. Кожній окремій РЕС надається комплект ЗВП- одинарний (ЗВП-О), ЗВП-груповий (ЗВП-Г) надається всій БПРС як для поповнення ЗВП-О, так і для забезпечення надійності по тих типових елементах заміни (ТЕЗ), що відсутні в номенклатурі ЗВП-О. Також традиційно в структурі СВЗВП виділяють загальний ремонтний орган (РО). Крім того, у поняття структурних параметрів входять також різноманітні стратегії поповнення запасів комплектів ЗВП-О зі складу ЗВП-Г і РО, а також наявність процесу контролю на працездатність ТЕЗ ЗВП-О і ЗВП-Г.

В роботі проведено огляд існуючих методів аналізу складних РЕС з урахуванням СВЗВП. Показано, що оцінка ефективності БПРС з урахуванням СВЗВП являє собою аналіз впливу обсягів комплектів ЗВП, продуктивності РО на можливість нормального функціонування БПРС залежної від рівня надійності ТЕЗ. Здійснено постановку задачі синтезу оптимальної (раціональної) структури СВЗВП. Встановлено, що дана задача є нетривіальною багатомірною задачею математичного програмування, для розв'язання якої потрібна розробка спеціальної методики. Це пов'язано з високою розмірністю моделей аналізу систем "БПРС-СВЗВП" і відсутністю сьогодні діючих методів зниження розмірності моделей. Крім того, процес відновлення носить складний характер, і його ефективність визначається саме параметрами структури та обсягів комплектів ЗВП, варіантами контролю працездатності ТЕЗ.

Розв'язання задачі синтезу СВЗВП оптимальної структури і складу, що забезпечує задані показники надійності, потребує розробки загальної моделі оцінки процесів функціонування і відновлення ненадійних РЕС, моделей аналізу систем "БПРС-СВЗВП" з урахуванням структурних параметрів СВЗВП і, головне, розробки діючих методик зниження розмірності багаторозмірних моделей. Розв'язання цих задач складає основу дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено розробці загальної математичної моделі оцінки процесів відновлення працездатності РЕС з урахуванням СВЗВП.

Проаналізовано статистичний класичний підхід до оцінки альтернуючого процесу відновлення РЕС, що описується рівнянням Вольтерра. Для пошуку щільності розподілу часу відновлення системи f_B використано технологію параметризації. За допомогою розробленої імітаційної моделі в роботі досліджено можливості застосування для цієї мети φ -розподілу, встановлено обмеженість цього підходу для розв'язання початкової задачі, тому що при цьому не враховані параметри та особливості структури СВЗВП.

Далі в розділі розроблено загальну напівмарківську модель функціонування РЕС з урахуванням типової структури СВЗВП. Довільний стан моделі l, c означає, що b із m ТЕЗ РЕС працездатні, у ЗВП-О знаходиться c ТЕЗ. Відповідно до можливих переходів формуються функції розподілу $Q_{i_1 j_1 i_2 j_2}$ часів перебування в стані i_1, j_1 до переходу в стан i_2, j_2 . Тоді імовірності переходів системи можливо розрахувати так:

$$P_{i_1 j_1 i_2 j_2} = \int_0^t \prod_{\substack{k \neq i_1 \\ \ell \neq j_1}} (1 - Q_{i_1 j_1 k \ell}) dQ_{i_1 j_1 i_2 j_2}$$

Шукаючи набір функцій $P'_{i_1 j_1 i_2 j_2}$ і вирішуючи систему рівнянь

$$\varphi_{ij}^* = \sum_{r,q \in E_0} \varphi_{r,q}^* P'_{ijrq}, \quad i, j \in E_0,$$

одержуємо набір $\varphi_{i,j}$. Здійснюючи обернене перетворення Лапласа, знаходимо $\varphi_{i,j}$ - щільності розподілу (ЩР) часів відновлення РЕС з урахуванням структурних параметрів СВЗВП.

Безпосереднє використання цієї методики можливе лише у випадках, коли розмірність простору станів моделі невелика. Тому в дисертаційній роботі розглянуто два напрямки подолання трудностей аналізу багатомірних задач. Перший напрямок пов'язаний із використанням

марківської апроксимації напівмарківських процесів (НМП), ідея другого, основного напрямку в роботі, - зниження розмірності моделей за рахунок фазового укрупнення станів систем.

У **третьому розділі** розроблено марківські моделі функціонування БПРС з урахуванням структури і параметрів СВЗВП. Доцільність розробки таких моделей визначається тим, що на етапі нормальної експлуатації РЕС інтенсивності відмов і відновлень системи змінюються повільно, тому потоки наближено можливо вважати пуасоновськими; пуасоновський потік є "найвипадковішим" з усіх випадкових потоків, тому оцінки ефективності системи будуть песимістичними, що і потрібно в даному випадку.

В роботі отримано за допомогою марківської апроксимації такі математичні моделі оцінки надійності варіацій систем "РЕС-СВЗВП": контрольованих на працездатність невідновлюваних ТЕЗ комплектів СВЗВП; неконтрольованих відновлюваних ТЕЗ комплектів ЗВП; частково і цілком неконтрольованих на працездатність невідновлюваних ТЕЗ комплектів ЗВП; моделі резервованих РЕС.

У розділі визначено методика отримання закону розподілу часу відновлення РЕС. Нехай простір E станів розбивається на безліч працездатних E_p і безліч відмовних E_0 станів, із E_p виділяється E_{p_0} - стани, куди можливий перехід за один крок із E_0 . В результаті розв'язання системи лінійних диференціальних рівнянь

$$\dot{p}_i = \sum_{j \in E_0} \lambda_{ji} p_j - p_i \sum_{j \in E_0 \cup E_{p_0}} \lambda_{ij},$$

знаходиться p_i , $i \in E_0$. Тоді закон розподілу: $\dot{p}_j = \sum_{i \in E_0} \lambda_{ij} p_i$.

З метою зменшення розмірності задачі в роботі запропонований наближений метод пошуку закону розподілу часу відновлення. Імовірності p_i , $i \in E_0$ визначаються в результаті використання тієї або іншої марківської моделі варіації систем "РЕС-СВЗВП".

У **четвертому розділі** розроблено методи рішення марківських і напівмарківських моделей систем високої розмірності через укрупнення станів, проведено дослідження ефективності використання розроблених алгоритмів укрупнення залежно від особливостей структури фазового простору систем. У роботі розроблено окремо алгоритми укрупнення для марківських ланцюгів (МЛ), марківських процесів із безупинним часом і НМП. Як загальний випадок розглянемо нижче методику укрупнення станів моделей НМП.

Загальна схема алгоритмів агрегування станів полягає ось в чому. Безліч можливих станів системи E розбивається на сукупність підмножин (класів). На черговий k -й ітерації одна з підмножин виділяється і розглядається як поточний клас l . Стани кожної з інших підмножин укрупнюються і інтерпретуються як єдині класи нової системи B . Одержувана при цьому група укрупнених станів разом із станами виділеної підмножини утворюють систему станів, оброблюваних на цій ітерації. В результаті ітераційного процесу одержуємо чергове наближення реструктурованої системи на k -й ітерації $B^{(k)}$, наближення π^* до фінального розподілу π для початкової системи A .

Вважаємо, що функціонування вихідної системи A описується НМП, тобто задано безліч можливих E станів і переходів системи, матрицю незалежних $Q_{i,j}$ функцій розподілу часів перебування НМП у i -м стані до переходу в j -й стан, отримано матрицю перехідних імовірностей вкладеного марківського ланцюга (ВМЛ) $W = P_{i,j}$ і матрицю умовних функцій розподілу часів перебування, $F = F_{ij}$, де $i, j \in E$, відомий вектор розподілу імовірностей ВМЛ π^* і вектор фінальних інтервально-перехідних імовірностей ϕ^* k -ої ітерації. Методика укрупнення полягає ось в чому.

Крок 1. Розчленовуємо стани ℓ -ї підсистеми k -ї ітерації, інші стани об'єднуємо у відповідні класи, тобто одержуємо групувану систему з множиною станів та вектором розподілу імовірностей перебування ВМЛ у цих станах $\tilde{\pi}^{k-}$, а також вектором інтервально-перехідних імовірностей вихідної системи $\tilde{\phi}^{k-}$.

Крок 2. Формуємо матрицю імовірностей переходів ВМЛ

$$\tilde{W}^{k-} = \tilde{\Phi}_{ij}^{k-}, \quad i, j \in I_1, I_2, \dots, I_{\ell-1}, i_{\ell 1}, i_{\ell 2}, \dots, i_{\ell n_\ell}, I_{\ell+1}, \dots, I_r,$$

де імовірності переходів (ПП) у новій системі розраховуються так:

а) ПП із станів виділеного класу ℓ в стан цього ж класу

$$\tilde{p}_{\ell s_1, \ell s_2}^{k-} = p_{\ell s_1, \ell s_2}, \quad \langle s_1, \ell s_2 \rangle \in E_\ell,$$

б) ПП із неукрупненого стану $i_{\ell s}$ в стан укрупненого класу I_ν

$$\tilde{p}_{\ell s, I_\nu}^{k-} = \sum_{q=1}^{n_\nu} p_{\ell s, i_{\nu q}}, \quad \ell s \in E_\ell, \quad \nu = 1, 2, \dots, \ell-1, \ell+1, \dots, r,$$

в) ПП з стана укрупненого класу I_ν в неукрупнений стан $i_{\ell s}$

$$\tilde{p}_{\ell s, I_\nu}^{k-} = \sum_{q=1}^{n_\nu} p_{\ell s, i_{\nu q}} W_{\nu q}^{k-} = \sum_{q=1}^{n_\nu} p_{\ell s, i_{\nu q}} \frac{\pi_{i_{\nu q}}^{k-}}{\sum_{q=1}^{n_\nu} \pi_{i_{\nu q}}^{k-}},$$

г) ПП з укрупненого класу I_{V_1} в стани укрупненого класу I_{V_2}

$$\tilde{p}_{I_{V_1}, I_{V_2}}^{k-} = \sum_{q_2=1}^{n_{V_2}} \sum_{q_1=1}^{n_{V_1}} p_{i_{V_1 q_1}, i_{V_2 q_2}} \frac{\pi_{i_{V_1 q_1}}^{k-}}{\sum_{q_1=1}^{n_{V_1}} \pi_{i_{V_1 q_1}}^{k-}}.$$

Крок 3. Формуємо матрицю часів перебувань \tilde{F}^{k-} , де часи перебування (ЧП) у новій системі розраховуються так:

а) ЧП усередині виділеного класу ℓ до переходу в стани цього ж класу

$$\tilde{F}_{\ell s_1, \ell s_2}^{k-} = F_{\ell s_1, \ell s_2}, \quad \langle s_1, \ell s_2 \rangle \in E_\ell,$$

б) ЧП у неукрупненому стані $i_{\ell s}$ до переходу в укрупнений стан I_ν

$$\tilde{F}_{\ell s, I_\nu}^{k-} = \sum_{q=1}^{n_\nu} F_{\ell s, i_{\nu q}}, \quad \ell s \in E_\ell, \quad \nu = 1, 2, \dots, \ell-1, \ell+1, \dots, r,$$

в) ЧП в укрупненому стані I_ν до переходу в $i_{\ell s}$ неукрупненої групи

$$\tilde{F}_{I_\nu, \ell s}^{k-} = \sum_{q=1}^{n_\nu} F_{i_{\nu q}, \ell s} W_{\nu q}^{k-} = \sum_{q=1}^{n_\nu} F_{i_{\nu q}, \ell s} \frac{\pi_{i_{\nu q}}^{k-}}{\sum_{q=1}^{n_\nu} \pi_{i_{\nu q}}^{k-}},$$

г) ЧП в укрупненому класі I_{V_1} до переходу в укрупнений клас I_{V_2}

Крок 4. Розрахунок вектора розподілу імовірностей ВМЛ $\tilde{\pi}^{k+}$ групуваної укрупненої системи (позначимо використання марківської ітераційної схеми $\tilde{\pi}^{k+} = \tilde{\pi}^k \tilde{W}^{k-}$ як модифікацію алгоритму A1, точного розв'язання СЛАР разом з умовою нормування на даному кроку як A2):

Крок 5. На основі отриманого вектора групового розподілу імовірностей ВМЛ $\tilde{\pi}^{k+}$ знаходимо компоненти вектора групового розподілу НМП укрупненої системи

$$\tilde{\phi}_i^{k+} = \frac{\tilde{\pi}_i^{k+} \tilde{T}_i^{k+}}{\sum_{i=1}^{I_r} \tilde{\pi}_i^{k+} \tilde{T}_i^{k+}},$$

де середній час \tilde{T}_i^{k+1} перебування в i -му стані укрупненої системи

$$\tilde{T}_i^{k+1} = \int_0^{\infty} \mathbf{1} - \tilde{F}_{ij}^{k-} dt = \sum_{j=1}^{I_v} \tilde{p}_{ij}^{k-} \tilde{T}_{ij}^{k-}.$$

Крок 6. Знаходимо наближення до компонента вектора повного розподілу імовірностей π^{k+1} початкової системи A

$$\begin{aligned} \pi_{\ell_s}^{k+1} &= \tilde{\pi}_{\ell_s}^{k+1}, \quad s = 1, 2, \dots, n_\ell, \\ \pi_{\nu_q}^{k+1} &= \tilde{\pi}_{\nu}^{k+1} \frac{\pi_{\nu_q}^{k-}}{\sum_{q=1}^{n_\nu} \pi_{\nu_q}^{k-}}, \quad \nu = 1, 2, \dots, \ell - 1, \ell + 1, \dots, r, \quad q = 1, 2, \dots, n_\nu. \end{aligned}$$

Крок 7. Визначаємо вектор розподілу інтервально-перехідних імовірностей ϕ^{k+1} перебування НМП у станах простору E :

$$\begin{aligned} \phi_{\ell_s}^{k+1} &= \frac{\tilde{\pi}_{\ell_s}^{k+1} \tilde{T}_{\ell_s}^{k+1}}{\sum_{q=1}^{n_\nu} \phi_{\nu_q}^{k-}}, \quad s = 1, 2, \dots, n_\ell, \\ \phi_{\nu_q}^{k+1} &= \tilde{\phi}_{\nu}^{k+1} \frac{\phi_{\nu_q}^{k-}}{\sum_{q=1}^{n_\nu} \phi_{\nu_q}^{k-}}, \quad \nu = 1, 2, \dots, \ell - 1, \ell + 1, \dots, r, \quad q = 1, 2, \dots, n_\nu. \end{aligned}$$

Крок 8. Повторюємо кроки обчислень 1...7 доти, поки не буде виконана нерівність $\|\phi^{k+1} - \phi^k\| \leq \varepsilon$, де ε - наперед задана точність агрегування.

В результаті отримано як граничний вектор розподілу імовірностей ВМЛ, так і вектор фінальних інтервально-перехідних імовірностей НМП початкової системи A . При цьому знижується складність і розмірність системи, зменшується кінцевий час розрахунків. Крім того, фактично отримано нову систему $B = B_r, r \in R$, що дозволяє при необхідності розрахувати показники якості функціонування окремих підсистем. Таким чином, проблема аналізу багаторозмірних моделей істотно знижується, тому що до укрупненого фазового простору схема збільшення станів може бути застосована повторно.

В роботі отримано експериментальні докази збіжності алгоритмів агрегування і проведено чисельні дослідження залежності ефективності алгоритмів $A1, A2$ для МЛ і НМП від параметрів структури фазових просторів систем. Сформовано комплексну характеристику W , що визначає оцінку засобу розбивки фазового простору на класи та упорядкованості структури системи. Мінімуму параметра W відповідає ситуація, коли в еволюції системи переважають переходи із класу в клас з невеликим часом перебування в кожному з них, максимальному ж значенню W відповідає ситуація, коли структура простору станів така, що перебування в кожному з класів достатньо стійке на фоні рідкісних переходів із класу в клас.

Були проведені чисельні дослідження впливу параметрів розмірності N і структурованості системи W на час розрахунків вирішення задачі. Установлено, що: а) для багаторозмірних систем фазове укрупнення підвищує швидкість рішення задачі, і тим сильніше, чим вище розмірність; б) алгоритм $A2$ більш ефективний, ніж алгоритм $A1$ до визначеної межі ($N \leq 1400$ при $W=3$); в) для задач великої розмірності ($N > 1400$ при $W=3$) найефективнішим залишається алгоритм $A1$.

Крім того, показано, що при збільшенні значення параметра W істотно підвищується ефективність алгоритмів агрегування. Встановлено, що фазове укрупнення станів при розв'язанні багатомірних задач тим доцільніше і ефективніше, чим більш упорядкованою є структура фазового простору систем.

У п'ятому розділі розроблено методику синтезу СВЗВП оптимальної структури і кількісного складу при багатомірних моделях БПРС в умовах обмежених ресурсів для загального випадку та коли усі РЕС БПРС однотипні.

Методика синтезу СВЗВП при багатомірних моделях БПРС така. Нехай БПРС складається з ℓ РЕС, у початковому стані кожна РЕС містить m ТЕЗ заданого типу, ЗВП-О і ЗВП-Г містять n_0 і n_r ТЕЗ відповідно. Стан БПРС визначений $(2\ell + 1)$ -мірним вектором $\bar{E} = \{b_1, b_2, \dots, b_\ell, c_1, c_2, \dots, c_\ell, d\}$, тобто в j -й РЕС працює b_j ТЕЗ, ЗВП-О j -ї РЕС містить елементів c_j , і d елементів утримується в ЗВП-Г; усі ці ТЕЗ працює. Шукані параметри X_j і X_r - число ТЕЗ зазначеного типу в ЗВП-О j -ї РЕС і ЗВП-Г. Показник ефективності

$$f(\bar{X}) = \sum_{c_1=0}^{X_1} \sum_{c_2=0}^{X_2} \dots \sum_{c_\ell=0}^{X_\ell} \sum_{d=0}^{X_r} p(n_1, m_2, \dots, m_\ell, c_1, c_2, \dots, c_\ell, d)$$

Задача оптимізації має вид: знайти такий набір \bar{X}^* , для якого

$$\bar{X}^* = \{X_1^*, X_2^*, \dots, X_\ell^*, X_r^*\} = \arg \max_{\bar{X} \in G} f(\bar{X})$$

При цьому припустима область значень компонент вектора \bar{X}

$$G = \left\{ \bar{X} : X_r + \sum_{j=1}^{\ell} X_j = m_0, X_j \geq 0, X_r \geq 0 \text{ цілі} \right\}. \quad (1)$$

Для розв'язання цієї задачі в роботі пропонується використовувати ітераційний метод послідовного розподілу. Так, нехай проведено k ітерацій, у результаті яких отримано набір $\bar{X}^k = \{X_0^k, X_1^k, \dots, X_\ell^k\}$, що забезпечується розв'язанням задачі аналізу системи "БПРС-СВЗВП" із застосуванням розроблених алгоритмів укрупнення простору станів і одержанням вектора імовірностей $\bar{p} = \{p_1, p_2, \dots, p_\ell, c_1, c_2, \dots, c_\ell, d\}$. Тоді черговий вектор на $k+1$ ітерації \bar{X}^{k+1} може бути отриманий так:

$$X_j^{k+1} = \begin{cases} X_j^k, & j \neq j_0, \\ X_j^k + 1, & j = j_0, \end{cases}$$

де j_0 відшукується за допомогою співвідношення: $\Delta f_{j_0} = \max_j \Delta f_j$

Ітерації продовжуються m_0 раз у відповідно до обмежень (1).

Даний алгоритм потребує в загальному випадку усього $(m_0 + \ell)$ рішень задачі оцінки надійності БПРС, проте кожне таке рішення є дуже трудомістким. Якщо РЕС БПРС однотипні, то задача оптимізації з $(\ell + 1)$ -ми невідомими стає задачею з одним невідомим, наприклад, X_0 , тому що друге невідоме може бути знайдене з модифікованого обмеження (1): $\ell X_0 + X_r = m_0$,

Розроблено набір програмних модулів з використанням алгоритмічних мов C і C++, що включає в себе марківські моделі аналізу варіантів системи "БПРС-СВЗВП", алгоритми укрупнення МЛ і НМП, методику синтезу СВЗВП оптимальної структури. З використанням розробленого програмного забезпечення проведено чисельні дослідження оцінки ефективності БПРС, яка складається з чотирьох однотипних РЕС, комплектів ЗВП-О, ЗВП-Г, РО. У значеннях середніх часів відновлення T_{BO} , T_{BG} були ураховані витрати часу на зняття, установку, транспортування; для середніх часів T_P визначені варіанти режимів нормального і неритмічного відновлення на заводі в Україні, замовлення комплектуючих і відновлення в цілому за кордоном.

З використанням розроблених марківських моделей проведено дослідження впливу структурних параметрів СВЗВП, варіантів контролю працездатності ТЕЗ, параметрів надійності ТЕЗ на коефіцієнти готовності РЕС. Виявлено характер впливу на K_r початкових обсягів комплектів ЗВП n_0 та n_r , середнього часу відновлення РЕС за рахунок ЗВП-О та ЗВП-Г- T_{BO} і T_{BG} , продуктивності РО T_P . Встановлено, що контроль за працездатністю ТЕЗ істотно впливає на K_r РЕС, помітно змінюючи вид залежностей K_r від обсягів n_r і n_0 , особливо для ситуації з низькою

продуктивністю РО (режим неритмічного функціонування РО та особливо режим неавтономного ремонту) і кожний новий ТЕЗ, що закладається в комплект ЗВП-Г, приводить до збільшення коефіцієнта готовності системи.

Проведено варіанти чисельного синтезу оптимальних параметрів (обсягів комплектів ЗВП-О і ЗВП-Г) СВЗВП для БПРС з однотипними РЕС. У процесі синтезу встановлено характер впливу параметрів надійності ТЕЗ (інтенсивності відмов у режимі роботи і збереження) на зростання обсягу ЗВП-О при високій продуктивності РО і оперативній доставці елементів із ЗВП-Г у ЗВП-О. Встановлено, що з погіршенням оперативності обслуговування вищим органом СВЗВП тих, що стоять нижче, і особливо з погіршенням роботи РО істотно знижується залежність значень X_0 і X_T від характеристик надійності ТЕЗ, при чому і в режимі роботи, і в режимі збереження. Тому доцільним є перерозподіл загального обсягу ТЕЗ на нижній рівень ієрархії між комплектами ЗВП-О, зробивши їх по можливості максимально повними і автономними.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розв'язано актуальну наукову задачу розробки методик аналізу ефективності розподілених систем з урахуванням структури і параметрів системи відновлення та забезпечення запасними елементами та методики синтезу СВЗВП оптимальної структури і кількісного складу. Ця задача має важливе значення для проектування СВЗВП раціональної структури та складу, тому що дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності розподілених РЕС і виключити нераціональні витрати коштів на запасні елементи. Результати досліджень використано в роботах АТ "Науково - дослідний інститут радіовимірювань". Системний підхід до загальної задачі дозволив сформулювати комплекс задач, в процесі розв'язання яких отримано такі результати.

1. Проаналізовано стан проблеми побудови загальних багатомірних моделей оцінки ефективності складних БПРС з урахуванням СВЗВП оптимальної структури і складу, що забезпечують необхідний рівень надійності. Виявлено, що ця задача залишається достатньо актуальною, тому що універсальних діючих засобів розв'язання задач аналізу та синтезу багатомірних моделей надійності систем в теперешній час не існує.

2. Розроблено загальну напівмарківську модель оцінки законів розподілу часів відновлення РЕС з урахуванням структурних параметрів СВЗВП.

3. Розроблено марківські моделі аналізу ефективності БПРС з урахуванням типових структур СВЗВП: з використанням чинника резервування при побудові систем ЗВП та без резервування, з використанням процесів відновлення ТЕЗ, що відмовили і без відновлення, із застосуванням контролю за працездатністю ТЕЗ і без такого контролю.

4. Розроблено метод рішення багатомірних моделей марківських систем через фазове укрупнення станів, що формалізовано за допомогою декількох ітераційних алгоритмів, які дозволяють одержувати з наперед заданою точністю як граничний вектор можливостей вихідної системи, так і агрегування класів станів укрупненої системи.

5. Отримано порівняльні оцінки ефективності і збіжності алгоритмів укрупнення станів, оцінено область їхніх застосувань. У ході проведених досліджень встановлено, що фазове укрупнення підвищує швидкість розв'язання задачі, причому тим сильніше, чим вище розмірність моделі і чим більш упорядкована структура системи.

6. Розроблено метод фазового укрупнення для напівмарківських систем високої розмірності за допомогою виділення і трансформації станів ВМЛ, що дозволяє одержати рішення для напівмарківських моделей аналізу.

7. Розроблено метод синтезу СВЗВП оптимальної (раціональної) структури і складу для моделей високої розмірності в умовах обмежених ресурсів. Розглянуто варіанти моделей побудови оптимальних СВЗВП для загального випадку і при умові, що усі РЕС БПРС однотипні.

8. Розроблене програмне забезпечення дозволяє розв'язувати задачі аналізу ефективності БПНС з урахуванням варіацій структур СВЗВП. За допомогою марківських моделей досліджено характер впливу структурних параметрів СВЗВП на показники надійності об'єкта. Встановлено, що коефіцієнт готовності особливо сильно залежить від обсягів комплектів ЗВП-О і продуктивності РО, а характер залежностей коефіцієнта готовності від структурних і кількісних параметрів СВЗВП принципово визначається фактом перевірки працездатності ТЕЗ.

9. Проведено чисельний синтез оптимальних параметрів СВЗВП для МПНС з однотипними РЕС, встановлено співвідношення впливу характеристик надійності ТЕЗ, часів відновлення РЕС із ЗВП і продуктивності РО на оптимальні обсяги комплектів ЗВП.

10. Розроблені методи опису складних БПРС мають практичну цінність при розв'язанні дослідно-конструкторських задач при проектуванні і розробці будь-яких розподілених систем. Цінність для задач автоматизації мають розроблені методи укрупнення станів моделей систем, які не потребують виконання спеціальних умов. Практичне значення мають також запропоновані марківські моделі оцінки ефективності систем для конкретних варіантів СВЗВП, методи синтезу СВЗВП оптимального складу при обмежених ресурсах, особливо для типових РЕС. Застосування цих методів дозволяє виключити нераціональні витрати ресурсів на складах запасних і резервних елементів і заощадити значні матеріальні засоби, особливо в умовах обмежених ресурсів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Иванчихин Ю.В. Агрегирование пространства состояний систем массового обслуживания. // Сб. науч. трудов Харьковского государственного политехнического университета "Информационные технологии: наука, техника, технологии, образование, здоровье". – Харьков: ХГПУ. – 1998. Ч.1.- С.239-242.

2. Иванчихин Ю.В. Построение разноуровневых моделей многофазных систем массового обслуживания. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета.–Харьков: ХГПУ.- 1998.- Вып.9.- С.40-42.

3. Иванчихин Ю.В. Технология фазового укрупнения многомерных полумарковских систем. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ. - 1999. - Вып.51.-С.50-52.

4. Иванчихин Ю.В. Разработка модели функционирования радиоэлектронных систем с учетом системы обеспечения запасными элементами. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета.–Харьков: ХГПУ.- 1999.- Вып. 57.- С.99-102.

5. Иванчихин Ю.В. Оценка параметров потока восстановления ненадежных элементов сложных РЭС. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета.–Харьков: ХГПУ.- 2000. - Вып.121.- С.12-16.

6. Иванчихин Ю.В. Разработка структуры и математического обеспечения имитационной модели многопозиционной навигационной системы. // Труды Междунар. науч.-техн. конф. "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье". - Харьков, Мишкольц: Харьк. политехн. ин-т, Мишкольц. ун-т. - 1993. - С.41.

7. Раскин Л.Г., Иванчихин Ю.В. Разработка методики исследования системы информационного обеспечения многопозиционной навигационной системы. // Труды Междунар. науч.-техн. конф. "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье". - Харьков, Мишкольц: Харьк. политехн. ун-т, Мишкольц. ун-т. - 1994. Ч.1. - С.39.

8. Иванчихин Ю.В. Методика оптимального распределения процедур обработки информации в подсистеме информационного обеспечения многопозиционной навигационной системы. // Труды другої Укр. конф. з автоматичного керування "Автоматика-95".–Львів:НВЦ"ІТІС".-1995.Т.3.-С.87.

9. Иванчихин Ю.В. Исследование итерационных алгоритмов фазового укрупнения многомерных систем массового обслуживания. // Труды Междунар. науч.-техн. конф. "Информационные технологии: наука, техника, технологии, образование, здоровье". - Харьков, Мишкольц, Магдебург: Харьк. гос. политехн. ун-т, Мишкольц. ун-т, Магдебург. ун-т. - 1997. Ч.1. - С.229-234.

10. Вопросы теории эксплуатации автоматизированных транспортных систем управления. / Демченко О.Ф., Давыдов В.Б., Исаев Л.А., Иванчихин Ю.В., Макаренко Б.И. и др./ Под ред. О.Ф. Демченко, Л.Г. Раскина. - Харьков: Харьковский военный университет, 2000. - 266 с.

АНОТАЦІЇ

Иванчихин Ю.В. Розробка методик оцінки ефективності багатопозиційних розподілених систем з урахуванням структури і параметрів системи відновлення та забезпечення запасними елементами. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 - автоматизація технологічних процесів.

Дисертація присвячена питанням розробки методик і математичного забезпечення розв'язання задач формування оптимальної структури і складу систем відновлення та забезпечення запасними елементами (СВЗВП), що забезпечують задані показники надійності складних багатопозиційних розподілених систем (БПРС). У роботі сформовано загальну методика оцінки процесів відновлення складних радіоелектронних систем (РЕС); розроблено марківські моделі аналізу функціонування БПРС з урахуванням варіантів побудови СВЗВП - стратегій контролю працездатності елементів, структури, кількісного складу; розроблено і досліджено алгоритми зниження фазового простору станів марківських і напівмарківських багатомірних моделей систем; методика синтезу СВЗВП для БПРС при багатомірних моделях; програмне забезпечення розрахунків. Результати досліджень реалізовані при проектуванні СВЗВП для багатопозиційної навігаційної системи в масштабах підприємства.

Ключові слова: надійність, радіоелектронна система, агрегування простору станів, оптимальний синтез, програмне забезпечення.

Иванчихин Ю.В. Разработка методик оценки эффективности многопозиционных распределенных систем с учетом структуры и параметров системы восстановления и обеспечения запасными элементами. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 - автоматизация технологических процессов.

Диссертация посвящена вопросам разработки методик и математического обеспечения решения задач формирования оптимальной (рациональной) структуры и количественного состава систем восстановления и обеспечения запасными элементами (СВЗИП) при ограничении на ресурсы, обеспечивающих заданные показатели надежности функционирования сложных многопозиционных распределенных систем (МПРС).

Проведен аналитический обзор существующих методов оценки эффективности сложных МПРС с учетом СВЗИП, осуществлена постановка задачи синтеза оптимальной (рациональной) структуры и состава СВЗИП. Установлено, что для решения задачи синтеза оптимальной СВЗИП необходима разработка действенных методик решения задач анализа многомерных моделей совместных систем типа "МПРС-СВЗИП". Проведен обзор существующих методов решения задач анализа и синтеза сложных систем при больших размерностях фазовых пространств состояний, указано на ограниченность применения существующих методов снижения размерностей пространства состояний моделей.

В работе сформирована общая модель оценки процессов восстановления работоспособности отказавших сложных радиоэлектронных систем (РЭС), установлено, что характер потока восстановления РЭС принципиально зависит от структурных параметров СВЗИП. Непосредственное использование разработанной модели при разработке математического и программного обеспечения АСУ возможно лишь в случаях, когда размерность пространства состояний невелика. Поэтому в диссертационной работе рассмотрены два направления преодоления трудностей анализа многомерных задач.

Первое направление реализовано посредством допущения о том, что потоки отказов и восстановлений РЭС являются марковскими. В работе получили дальнейшее развитие модели марковской аппроксимации для анализа совместного функционирования МПРС с учетом вариантов построения СВЗИП: иерархической структуры, количественного состава комплектов ЗИП, стратегий контроля работоспособности заменяемых элементов.

Для реализации второго, основного направления, в работе разработаны итерационные алгоритмы агрегирования пространства состояний марковских цепей, марковских моделей с непрерывным временем, а также полумарковских моделей систем, использование которых позволяет существенно уменьшить трудности решения многомерных задач. Экспериментально доказана сходимость итерационных алгоритмов укрупнения состояний. Проведены численные исследования скорости сходимости алгоритмов в зависимости от структурных параметров фазовых пространств моделей, в результате установлено, что использование итерационного укрупнения при решении многомерных задач тем эффективнее, чем упорядоченнее структура и чем выше размерность фазовых пространств моделей систем.

Указанные модели и алгоритмы использованы при разработке методики синтеза СВЗИП оптимальной структуры и состава при ограничении на ресурсы. Разработано программное обеспечение расчетов, включающее в себя совокупность марковских моделей анализа, алгоритмы агрегирования фазового пространства состояний, процедуру синтеза рациональной СВЗИП. Исследован характер влияния структурных параметров СВЗИП, стратегий контроля работоспособности элементов и показателей надежности элементов в рабочем режиме и в режиме хранения на коэффициент готовности многопозиционной навигационной системы с однотипными РЭС. Проведены варианты численного синтеза оптимальных параметров СВЗИП при общем ограничении на ресурсы. В ходе исследований установлен характер влияния параметров надежности элементов РЭС, производительностей ЗИП и ремонтного органа на значения оптимальных объемов комплектов ЗИП.

Результаты исследований реализованы при исследовании надежности многопозиционной навигационной системы и проектировании для нее СВЗИП в работах АТ "Научно-исследовательский институт радиоизмерений".

Ключевые слова: надежность, радиоэлектронная система, агрегирование пространства состояний, оптимальный синтез, программное обеспечение.

Ivanchihin U.V. The elaboration of methods for the estimation of effectiveness of the multifactor distributed systems with provision for structure both parameters a system of restoring and security by spare elements. - Manuscript.

The thesis is intended for the degree of candidate of technical sciences by speciality 05.13.07 - programmable of technological processes. - National Technical University "KhPI", Kharkov, 2001.

The thesis is devoted to problems of methods preparation and software for solving the problem of creation optimal structure both systems of restoring and security by spare elements (SRSSE), providing the given of reliability index of the multifactor distributed systems (MFDS). In thesis the common methods of an estimation processes of restoring complicated radio electronic systems (RES) is generated; the Markov models of the analysis of operation MFDS are developed with respect to of variants construction SRSSE - strategies of monitoring of availability elements, structure, quantitative

composition; are developed and the algorithms of a drop the phase space of states Markov and semi-Markovian process of multivariate systems are researched; the methods of synthesis SRSSE MFDS there are of multivariate systems; the software of calculations. The results of investigations are realized at projection SRSSE for a multifactor system at scales of a firm.

Keywords: reliability, radio electronic system, aggregation state space, optimal synthesis, software.