



ПРОГРАМНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВІДМОВСТІЙКИХ СИСТЕМ З КОМБІНОВАНИМ СТРУКТУРНИМ РЕЗЕРВУВАННЯМ ТА ВРАХУВАННЯМ СТРАТЕГІЙ ЇХ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Мандзій Б.А., Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д.

Кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювання,
Інститут телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки
Національний університет "Львівська політехніка"
вул. С.Бандери, 12, Львів, 79013
lozirkovsky@polynet.lviv.ua

Резюме: В роботі поставлена і вирішена задача розробки програмних моделей відмовостійкої системи з комбінованим структурним резервуванням, яка застосовується при проектуванні радіоелектронних підсистем відповідального призначення, побудованих з однотипних модулів, для яких передбачено ковзне резервування, а для підсистем в цілому – загальне заміщувальне резервування. При розробці програмних моделей застосована удосконалена технологія аналітичного моделювання систем. В цих програмних моделях враховано, як особливості структури та поведінки системи при появі відмов, так і два варіанти реалізації стратегії технічного обслуговування. Вони забезпечують можливість багатоваріантного аналізу при невеликих затратах часу. В статті наведені результати досліджень відмовостійкої системи, які ілюструють можливості розв'язання задач надійнісного аналізу та надійнісного синтезу.

Ключові слова: надійність, відмовостійкі системи, моделювання, радіоелектронні системи та комплекси, стратегія технічного обслуговування.

ВСТУП

На системотехнічному етапі проектування радіоелектронних систем і комплексів однією з важливих задач є аналіз вибраного варіанту поведінки відмовостійкої системи при появі відмов. Даний аналіз, необхідний при виборі структури системи, засобів забезпечення відмовостійкості (резервування, засоби контролю, діагностики та перемикання, технічне обслуговування і ремонт, тощо), вимагає побудови адекватних моделей. Одним з методів, який дозволяє будувати адекватні моделі систем з відновленням у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена є метод простору станів [1]. Однак цей метод має суттєвий недолік, а саме: його визначальний етап – побудова моделі у вигляді графа станів і переходів системи має велику трудоемність, яка вимагає значних часових затрат [2]. Це пояснюється тим, що кількість станів для таких систем складає десятки і сотні, а переходів – сотні і тисячі. Тому для розв'язання таких задач

актуальним є використання технології аналітичного моделювання, яка б дала змогу автоматизувати процес побудови моделі у вигляді графа станів і переходів. Така технологія представлена в [2], всі формалізовані етапи якої реалізовані в проблемно-орієнтованому програмному модулі ASNA, який призначений для задач надійнісного аналізу відмовостійких систем [3-5]. Ця технологія передбачає формалізоване представлення структури і поведінки об'єкта проектування, тобто розробку його структурно-автоматної моделі, яка передбачає: визначення базових подій; для кожної базової події представлення всіх ситуацій у вигляді логічних виразів умов та обставин; для кожної ситуації здійснюється компонування формул для визначення інтенсивності базових подій і формул для визначення ймовірностей альтернативних переходів, а також задається правило модифікації компонент вектора станів. Для програми ASNA об'єкт проектування задається множиною формальних параметрів,

початковими значеннями компонент вектора станів та розробленою проектантом структурно-автоматною моделлю. На першому етапі програма ASNA будує модель об'єкта проектування у вигляді графа станів і переходів, який представляється масивом значень вектора станів та матрицею інтенсивностей переходів. На другому етапі програма ASNA формує систему диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена, розв'язує їх чисельним методом Рунге-Кутта-Мерсона, визначає та представляє показники надійності (ймовірність безвідмовної роботи об'єкту проектування на визначеному інтервалі часу та середнє значення тривалості його роботи до катастрофічної відмови).

Тому, з використанням даної технології моделювання, основним завданням проектанта є докладний опис об'єкту проектування, побудова структурно-автоматної моделі та дослідження варіантів побудови об'єкту проектування. Структурно-автоматну модель разом з проблемно-орієнтованим програмним модулем ASNA і збережену у вигляді файлу надалі будемо називати програмною аналітичною моделлю [3]. Особливістю запропонованих програмних аналітичних моделей є те, що при внесенні в них змін, наприклад, про кількість основних чи резервних модулів, кількості ремонтів тощо, і наступного запуску ASNA отримують нову модель у вигляді графа станів і переходів та системи диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена, що є важливим при багатоваріантному аналізі. Основними проблемами є недостатня потужність навіть сучасних обчислювальних засобів для певних класів задач та розв'язок системи диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена, оскільки її розмірність може становити від сотень і до тисяч при великій жорсткості.

1. ОПИС ОБ'ЄКТУ МОДЕЛЮВАННЯ

В конфігурацію відмовостійкої системи (ВС) з комбінованим структурним резервуванням, яку представлено на рис. 1, входять:

- основна радіоелектронна підсистема, яка побудована з однотипних модулів;
- певна кількість резервних модулів для радіоелектронної підсистеми, які використовуються як ковзний резерв;
- певна кількість резервних підсистем, які включені як L-кратний загальний фіксований резерв основної підсистеми;
- засоби контролю і діагностики;
- пристрої перемикачів.

В процесі експлуатації працездатність ВС підтримує ремонтний орган, можливості якого є

обмеженими.

Основна радіоелектронна підсистема має робочу конфігурацію сформовану з n однотипних модулів і певної кількості m таких же модулів, які включені в її структуру як ковзний резерв. Резервна підсистема вмикається замість основної в таких випадках: в момент відмови модуля робочої конфігурації; в момент відмови працюючої резервної підсистеми. Модулі ковзного резерву підключаються замість несправних модулів робочої конфігурації пристроєм вмикання/вимикання Пк.р. Час підключення резервного модуля замість несправного є випадковою величиною, середнє значення якого дорівнює T_k . Підключення резервних підсистем здійснюється за допомогою пристроїв вмикання/вимикання Пр.с1, ..., Пр.сL. Процедура підключення резервної підсистеми замість основної здійснюється за дуже малий час і при побудові моделі він вважається рівним нулю. Всі пристрої вмикання/вимикання не є надійними і тому процедури підключення виконуються з певною ймовірністю.

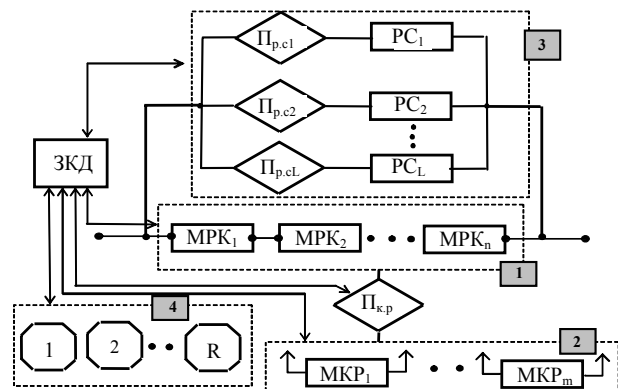


Рис. 1 – Конфігурація відмовостійкої системи з загальним заміщувальним резервуванням основної радіоелектронної підсистеми, побудованої з однотипних модулів, та з ковзним резервуванням її модулів (1 – модулі радіоелектронної підсистеми; 2 – модулі ковзного резерву; 3 – резервні підсистеми; 4 – ремонтний орган; ЗКД – засоби контролю та діагностики).

Система оснащена засобами контролю та діагностики (ЗКД), які здійснюють управління резервним ресурсом. Контроль працездатності працюючої підсистеми здійснюється неперервно і сигнал про втрату нею працездатності виникає в момент відмови. Від ЗКД поступають команди на відповідні пристрої перемикачів, а також в ремонтний орган. Можливості ЗКД по виявленню та локалізації відмов для модулів основної підсистеми і резервних підсистем є різними, тому що ці процедури виконуються за певний час і з певними ймовірностями. Для ВС,

що розглядається ЗКД мають такі можливості:

1) Виявляти факт відмови одного з модулів робочої конфігурації чи ковзного резерву основної підсистеми.

2) Локалізувати несправний модуль в основній підсистемі і, якщо він належить робочій конфігурації, подати "команду" на заміну його резервним.

3) Виявляти факт відмови працюючої резервної підсистеми і формувати сигнал (команду) на пристрій перемикання резервних підсистем.

4) Виявляти факт відмови непрацюючої резервної підсистеми.

Для даної ВС передбачено технічне обслуговування (ТО) і тому предметом дослідження (порівняльного аналізу) є вибрані (або сформовані) доцільні його стратегії. А тому при розробці надійної моделі, крім структури та поведінки ВС, мають бути враховані стратегії ТО.

2. ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Стратегія 1. Для ВС передбачено повне відновлення: пристрою вмикання/вимикання модулів основної підсистеми; модулів основної підсистеми; резервних підсистем.

Кількість ремонтів для модулів основної підсистеми та для резервних підсистем є обмеженою, що обумовлено обмеженням на кількість ремонтних комплектів запасних частин, які виділені для ТО відмовостійкої системи.

Кількість ремонтів для пристрою вмикання/вимикання модулів основної підсистеми практично не має обмеження (надійність пристрою вмикання/вимикання є вищою від надійності модулів основної підсистеми та резервних підсистем, а їх кількість в ремонтному комплекті забезпечує час роботи, який перевищує плановий час експлуатації радіоелектронної системи, в склад якої входить дана підсистема).

Не передбачено відновлення: пристрою вмикання/вимикання резервних підсистем; засобів контролю та діагностики; всіх складових ВС після катастрофічної відмови.

В даній стратегії, ТО здійснює N ремонтників (або N ремонтних бригад, якщо для ремонту одного компоненту ВС необхідно залучати більше ніж одного ремонтника).

В даній стратегії кваліфікація ремонтника враховується такими параметрами:

- середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт резервної підсистеми;
- ймовірність відновлення працездатності

резервної підсистеми за визначений інтервал часу;

- середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт модуля основної підсистеми;
- ймовірність відновлення працездатності модуля основної підсистеми за визначений інтервал часу.

Ремонтники знаходяться безпосередньо на об'єкті і приступають до ремонтних робіт одразу після виявлення відмови резервної підсистеми або модуля основної підсистеми (аварійне відновлення). Несправні резервні підсистеми та модулі основної підсистеми після відмови надходять в ремонт, якщо є вільні ремонтники. Якщо всі ремонтники зайняті, то вони утворюють чергу на ремонт (відновлення).

Коли ремонтник закінчує ремонт резервної підсистеми чи модуля основної підсистеми, він аналізує стан черги на ремонт. Якщо в черзі присутні несправна резервна підсистема і несправний модуль основної підсистеми, то ремонтник одразу бере на ремонт з черги несправну резервну підсистему. Якщо в черзі несправні резервні підсистеми відсутні, то він бере на ремонт несправний модуль основної підсистеми. Для резервних підсистем і модулів основної підсистеми поставлених в чергу ремонт є завжди успішним і забезпечує повне їх відновлення. Відремонтовані (відновлені) резервні підсистеми та модулі основної підсистеми включаються в резерв.

Профілактичне відновлення компонент ВС в даній стратегії ТО не передбачено.

Коли черга несправних резервних підсистем і модулів відсутня, то ремонтники перебувають в стані очікування.

Тривалість одного ремонту є випадкова величина. Тому час перебування несправних резервних підсистем і модулів в черзі також випадкова величина. В стратегії ТО кількість ремонтів для модулів і резервних підсистем є обмеженими.

Стратегія 2. Для ВС передбачено повне відновлення: пристрою перемикання модулів основної підсистеми; модулів основної підсистеми; резервних підсистем. Не передбачено відновлення: пристрою перемикання резервних підсистем; засобів контролю та діагностики; всіх складових ВС після катастрофічної відмови.

Несправні резервні підсистеми та несправні модулі основної підсистеми після відмови формують чергу на ремонт (відновлення), де вони знаходяться до приїзду ремонтника (ремонтної бригади).

В даній стратегії, ТО здійснює один

ремонтник (або одна ремонтна бригада, якщо для ремонту одного компоненту ВС необхідно залучати більше ніж одного ремонтника), а кваліфікація ремонтника враховується такими параметрами: середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт резервної підсистеми; середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт модуля основної підсистеми.

Для пристрою перемикання модулів, резервних підсистем і модулів основної підсистеми, поставлених в чергу, ремонт є завжди успішним і забезпечує повне їх відновлення. Відремонтований (відновлений) пристрій перемикання модулів включається в робочу конфігурацію основної підсистеми, а резервні підсистеми та модулі основної підсистеми включаються в резерв.

Ремонтник (ремонтна бригада) знаходиться в офісі ремонтного органу на значній віддалі від об'єктів, які він обслуговує. Ремонтник здійснює ТО, для чого прибуває на об'єкт, на якому експлуатується дана ВС. Ремонтник (ремонтна бригада) прибуває на об'єкт по плану, але час точно не визначений. Лише відомий порядок (після n -го об'єкта) і орієнтовно час (в цьому місяці або на цьому тижні). Ремонтник (ремонтна бригада) здійснює ТО відмовостійких систем на заданій (закріпленім за ним) кількості об'єктів по черзі.

Аварійний виклик (прибуття) ремонтника на об'єкт в даній стратегії ТО не передбачені.

Коли черга несправних резервних підсистем і модулів відсутня, ТО відмовостійкої системи на даному об'єкті завершено і ремонтник (ремонтна бригада) переїжджає на наступний об'єкт.

Тривалість ТО на одному об'єкті є випадкова величина. Тому інтервал часу між двома послідовними відвідуваннями ремонтником одного об'єкту є також випадкова величина з законом розподілу (або середнім значенням), який необхідно визначити (при можливості, передбачити).

Допустима тривалість часу перебування ремонтника на об'єкті є обмежена, але достатня для ремонту (відновлення) максимальної кількості несправних компонент ВС, які ремонтник може застати в черзі на ремонт.

В стратегії ТО кількість ремонтів для модулів і резервних підсистем, а відповідно і кількість візитів, є обмеженими.

Дослідження стратегій ТО для даної ВС має дати відповідь на наступні питання:

- Яку кількість ТО і з яким періодом треба замовити для забезпечення потрібної надійності на заданому інтервалі експлуатації ВС?
- Яку кількість ТО треба передбачити для

забезпечення заданого рівня надійності на час гарантійного обслуговування?

- Яку максимальну кількість об'єктів можна закріпити за одним ремонтником (ремонтною бригадою), щоб при заданій стратегії ТО надійність ВС відповідала заданим вимогам?

Якщо потрібна для апаратури кількість ТО, перевищує розумне (наприклад, за економічним критерієм) значення, то може прийматись рішення про повну заміну апаратури після певного терміну експлуатації.

Представлені стратегії можуть мати варіанти реалізації. Можуть бути змінені умови, що накладаються на виконання ремонтних робіт. Наприклад, в стратегії 2 кількість модулів і кількість резервних підсистем, які можуть бути відновлені в один приїзд ремонтника є обмеженими. Якщо кількість несправних модулів або (і) резервних підсистем в черзі на ремонт є більшою ніж можливості ремонтника, то не відремонтовані модулі і резервні підсистеми залишаються в черзі на ремонт до наступного його приїзду.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВІДМОВОСТІЙКОЇ СИСТЕМИ ПРИ РІЗНИХ СТРАТЕГІЯХ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Для проведення досліджень ВС з врахуванням сформованих стратегій ТО згідно технології викладеної в [2] було розроблено структурно-автоматні моделі. Однак через їх громіздкість в даній роботі не вони не приводяться.

Оцінка надійності ВС при першій стратегії ТО. Виходячи з практичних міркувань, з врахуванням можливих обмежень, для ВС, задаються початкові значення параметрів її конфігурації, наприклад:

- кількість модулів основного функціонального призначення $n=2$;
- кількість резервних підсистем $L=1$;
- інтенсивність відмови модулів основного функціонального призначення та резервних модулів $\lambda_m=1e-4$ 1/год;
- інтенсивність відмови працюючої резервної підсистеми $\lambda_{rgs}=1e-3$ 1/год;
- інтенсивність відмови непрацюючої резервної підсистеми $\lambda_{nrgs}=1e-4$ 1/год;
- середнє значення часу необхідного для підключення резервного модуля $Tr_{gm}=1e-1$ год;
- середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт резервної підсистеми $Tr_s=1e-1$ год;
- середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт модуля основної

підсистеми $T_{rm}=1e-1$ год.

Проаналізуємо надійність вибраної конфігурації ВС з першою стратегією ТО при трьох значеннях кількості модулів резерву і двох значеннях кількості резервних підсистем. У всіх варіантах реалізації ВС: кількість відновлень модулів $S_{mos} = 1$, кількість відновлень підсистем $S_{rs} = 1$; на об'єкті ТО здійснюють 2 ремонтники, тобто $R = 2$. Результати розрахунків представлені на рисунках 2, 3 і в табл. 1.

Таблиця 1. Оцінка середнього значення тривалості роботи ВС до катастрофічної відмови при різних кількостях резервних модулів та резервних підсистем

Кількість резервних модулів	1	1	2	2	3
Кількість резервних підсистем	1	2	1	2	1
Середнє значення часу роботи до катастрофічної відмови, год	11553	12332	12819	15067	13860

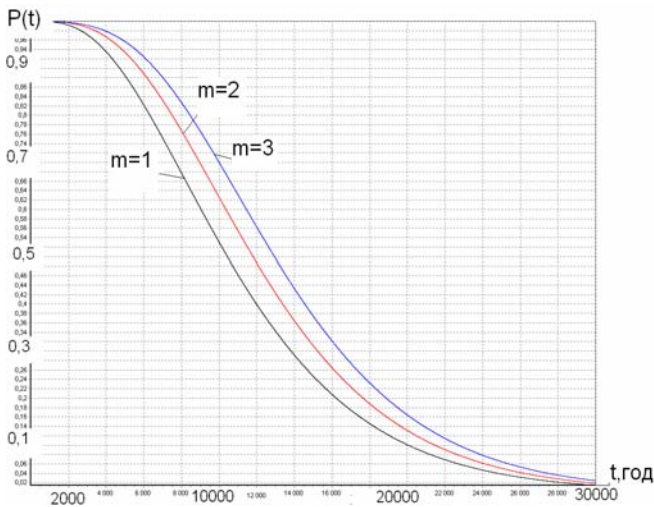


Рис. 2 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи ВС від часу при різній кількості резервних модулів і при 1 стратегії технічного обслуговування.

Визначимо надійність вибраної конфігурації ВС з першою стратегією ТО при різних значеннях передбаченої кількості відновлень модулів S_{mos} та кількості ремонтників на об'єкті R . У всіх варіантах реалізації ТО: передбачена кількість відновлень несправних підсистем $S_{rs} = 1$, кількість модулів у резерві $m=1$. Результати розрахунків представлені на рисунку 4 і в табл. 2.

Оцінка середнього значення тривалості роботи ВС до катастрофічної відмови для різних

варіантів реалізації ТО за стратегією 1

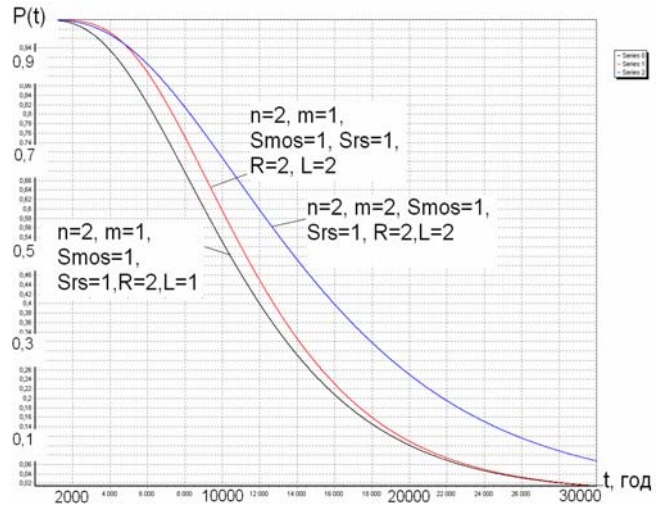


Рис. 3 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи ВС від часу при різних кількостях модулів резерву та резервних підсистем і при 1 стратегії технічного обслуговування.

Таблиця 2. Результати розрахунків

Передбачена кількість відновлень модулів	1	1	2	2
Кількість ремонтників на об'єкті	1	2	1	2
Середнє значення часу роботи до катастрофічної відмови, год	10321	11553	13261	14646

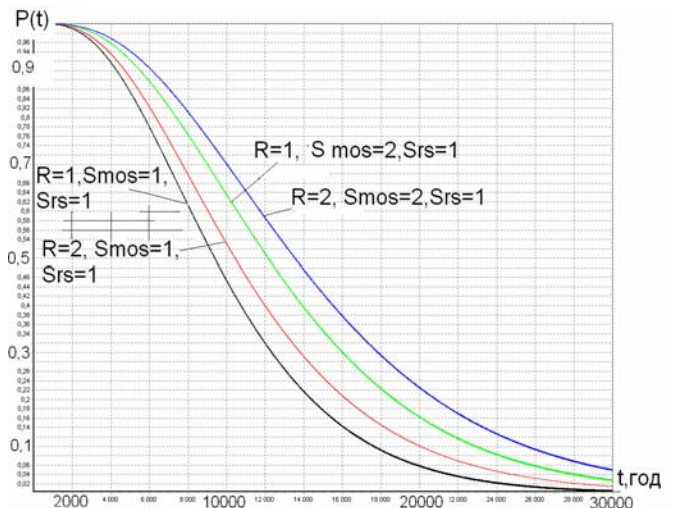


Рис. 4 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи ВС від часу при різній кількості передбачених відновлень модулів та різній кількості ремонтників і при 2 стратегії технічного обслуговування.

Оцінка надійності ВС при другій стратегії ТО. Виходячи з практичних міркувань, з

врахуванням можливих обмежень, для ВС, задаються такі початкові значення параметрів її конфігурації, наприклад:

кількість модулів основного функціонального призначення $n = 2$;

кількість резервних підсистем $L = 1$;

інтенсивність відмови модулів основного функціонального призначення та резервних модулів $\lambda m = 1e-4$ 1/год;

інтенсивність відмови працюючої резервної системи $\lambda prs = 1e-3$ 1/год;

інтенсивність відмови непрацюючої резервної системи $\lambda nrs = 1e-4$ 1/год;

середнє значення часу необхідного для підключення резервного модуля $Trtm = 1e-1$ год;

середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт резервної підсистеми $Trs = 1e-1$ год;

середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт модуля основної підсистеми $Tgm = 1e-1$ год.

Проаналізуємо надійність вибраної конфігурації ВС з другою стратегією ТО при трьох значеннях кількості модулів резерву. У всіх варіантах: передбачено кількість відновлень модулів $S_{mos} = 1$ і кількість відновлень підсистем $S_{rs} = 1$; середнє значення інтервалу часу між двома послідовними відвідуваннями ремонтником об'єкту $T_{vto} = 3000$ год. Результати розрахунків представлені на рисунку 5 і в табл. 3.

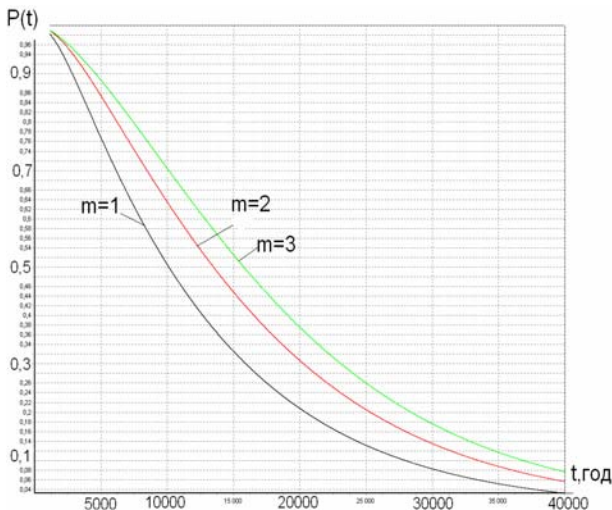


Рис. 5 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи від часу при різних кількості модулів резерву і при 2 стратегії технічного обслуговування.

Таблиця 3. Оцінка середнього значення тривалості роботи ВС до катастрофічної відмови при різних кількості резервних модулів

Кількість резервних модулів	1	2	3
Середнє значення тривалості роботи ВС до катастрофічної відмови, год	12936	16001	17914

Проаналізуємо надійність вибраної конфігурації ВС з другою стратегією ТО при різних значеннях передбаченої кількості відновлень модулів S_{mos} . У всіх варіантах реалізації ТО: передбачена кількість відновлень несправних підсистем $S_{rs} = 1$, кількість модулів у резерві $m = 1$. Результати розрахунків представлені на рисунку 6 і в табл. 4.

Таблиця 4. Оцінка середнього значення часу роботи до катастрофічної відмови при різних значеннях передбаченої кількості відновлень модулів

Передбачена кількість відновлень модулів	1	2	3
Середнє значення тривалості роботи ВС до катастрофічної відмови, год	12936	13784	19944

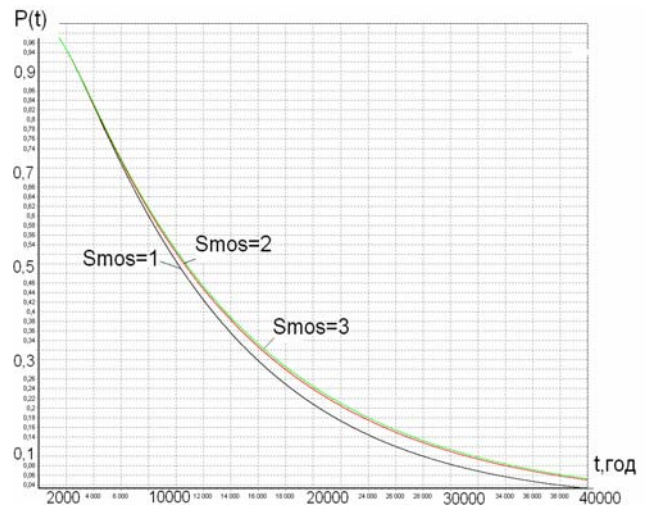


Рис. 6 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи від часу при різних кількості максимальних відновлень за один візит ремонтника (бригади) (2 стратегія технічного обслуговування).

Як видно з вищенаведених результатів збільшення максимальної кількості допустимих відновлень модулів основної підсистеми дає значний ефект лише при відповідній конфігурації ВС, тобто існує межа, після якої збільшення цього параметру не веде до суттєвої зміни часу роботи до катастрофічної відмови (в даному випадку ця межа рівна $S_{mos} = 2$). Проаналізуємо надійність вибраної конфігурації

ВС з другою стратегією ТО для трьох значень передбаченої кількості відновлень модулів S_{mos} та для чотирьох значень середнього значення інтервалу часу між двома послідовними відвідуваннями ремонтником об'єкту T_{vro} . У всіх варіантах реалізації ТО: передбачена кількість відновлень несправних підсистем $S_{rs} = 1$, кількість модулів у резерві $m = 2$, середнє значення інтервалу часу необхідного на ремонт пристрою вмикання/вимикання модулів $T_{ppm} = 1$ год. Результати розрахунків представлені на рисунку 7 і в табл. 5 та 6.

Таблиця 5. Оцінка середнього значення тривалості роботи ВС до катастрофічної відмови для різних варіантів реалізації технічного обслуговування за стратегією 2

Передбачена кількість відновлень модулів	2	2	1	1	1
Середнє значення інтервалу часу між двома послідовними відвідуваннями ремонтником об'єкту, год	2000	2500	2500	2000	1500
Середнє значення тривалості роботи ВС до катастрофічної відмови, год	19073	17746	15960	17122	18764

Таблиця 6. Оцінка середнього значення тривалості роботи ВС до катастрофічної відмови для різних варіантів реалізації технічного обслуговування за стратегією 2

Передбачена кількість відновлень модулів	1	2	3	3	3
Середнє значення інтервалу часу між двома послідовними відвідуваннями ремонтником об'єкту, год	3000	3000	3000	2500	2000
Середнє значення тривалості роботи ВС до катастрофічної відмови, год	15098	16718	16901	17941	19272

5. ВИСНОВКИ

Показані можливості підвищення ефективності аналізу ВС завдяки використанню

удосконаленої технології моделювання, яка дозволяє відмовитись від використання декомпозиції задачі надійнісного аналізу на задачу аналізу конфігурації ВС і задачу аналізу стратегій її ТО.

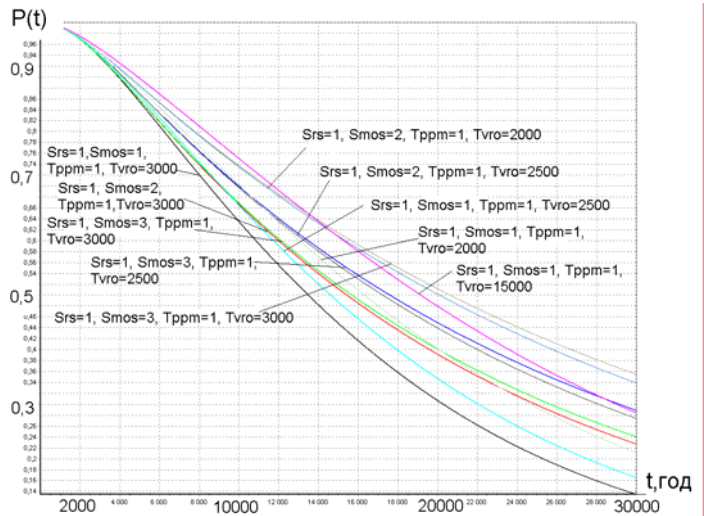


Рис. 7 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи ВС від часу при різних кількості передбачених відновлень та різних інтервалах часу між двома послідовними відвідуваннями ремонтником об'єкту (2 стратегія технічного обслуговування).

З використанням удосконаленої технології моделювання розроблено нові програмні надійнісні моделі і отримано результати надійнісного аналізу важливої для практики конфігурації ВС з загальним заміщувальним резервуванням, побудованої з однотипних модулів, для яких передбачено ковзне резервування та ТО. В розроблених програмних моделях враховано особливості поведінки системи, обумовленої використанням комбінованого структурного резервування, можливостей засобів контролю та діагностики, якості пристрою перемикавання, можливості відновлення несправних елементів ремонтним органом. Можливості ремонтного органу представлені: кваліфікацією ремонтників і їх кількістю; можливою кількістю ремонтів, яка обумовлена наявністю і кількістю запасних елементів, стратегією ТО та ремонту.

Започатковано бібліотеку структурно-автоматичних моделей ВС з комбінованим структурним резервуванням та різними стратегіями ТО, які в поєднанні з проблемно-орієнтованим програмним модулем ASNA забезпечують автоматизацію розв'язання задач їх надійнісного проектування.

6. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] *Надежность технических систем: Справочник* /Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др.; под ред. Ушакова И.А.. – М.: Радио и связь, 1985. – 608с.
- [2] Волочий Б.Ю. *Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем.* – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2004. – 220 с.
- [3] Volochiy B., Matichyn O., Ozirkovsky L. Specialized program module for forming the program models of behavior algorithms of information systems // *Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції TCSET 2006 “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії”*, Львів. – Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2006. – С. 181 – 182.
- [4] Volochiy B., Ozirkovsky L., Matichin O. Mathematical software for creation of fault-tolerant systems program models // *Proceedings of the VIIIth International Conference CADSM 2005* – P. 372.
- [5] Мандзий Б.А., Волочий Б.Ю., Матичин А.В., Озірковський Л.Д. Концепция программного модуля для моделирования структуры и поведения информационных систем // *НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. Труды международного симпозиума. Т.1* / Под ред. Н.К. Юркова. – Россия, Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. – С. 13 – 15.



Волочий Богдан Юрійович, доцент, кандидат технічних наук, професор кафедри “Теоретична радіотехніка і радіовимірювання” Національного університету “Львівська політехніка”. Стаж педагогічної діяльності у вищій школі 32 роки. Автор понад 150 наукових та науково-педагогічних праць, в тому числі 2 монографії та 1 навчальний посібник.

Наукові інтереси – теорія та практика системотехнічного проектування радіоелектронних інформаційних систем.



Озірковський Леонід Денисівич, доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри “Теоретична радіотехніка і радіовимірювання” Національного університету “Львівська політехніка”. Стаж педагогічної діяльності у вищій школі близько 10 років.

Автор понад 40 наукових та науково-педагогічних праць, в тому числі 1 навчальний посібник.

Наукові інтереси – проектування інформаційних систем, моделювання функціональної та надійнісної поведінки, надійність та живучість інформаційних систем, створення засобів автоматизації системотехнічного проектування інформаційних систем.



Мандзій Богдан Андрійович, професор, доктор технічних наук, професор кафедри “Теоретична радіотехніка і радіовимірювання” Національного університету “Львівська політехніка”. Стаж педагогічної діяльності у вищій школі близько 40 років.

Автор понад 250 наукових та науково-педагогічних праць, в тому числі 2 монографії та 6 навчальних посібників з грифом Міністерства освіти України.

Наукові інтереси – методи автоматизованого аналізу нелінійних електронних кіл і забезпечення надійності радіоелектронних пристроїв і засобів телекомунікацій.



PROGRAM MODELS FOR INTERACTIVE DESIGN OF FAULT-TOLERANT SYSTEM WITH MIXED STRUCTURAL REDUNDANCY TAKING ACCOUNT MAINTENANCE SERVICE STRATEGIES

Bohdan Mandziy, Bohdan Volochiy, Leonid Ozirkovskyy

Department of Theoretical Radio Engineering and Radiomeasurement
Institute of Telecommunications, Radioelectronics and Electronic Engineering
Lviv Polytechnic National University
12, Stepana Bandery Street, Lviv, 79013, Ukraine
lozirkovsky@polynet.lviv.ua

Abstract: *The problem of development of program models of the fault-tolerant system with the mixed structural redundancy is solved. For designing of program models an advanced technology of analytical modeling of the systems is used. This technology takes into account all features of structure and behavior of the system under the action of refusals and two variants of realization of maintenance service strategy. It provides possibility of multiple analysis at the small expenses of time. The results of researches of the fault-tolerant system, which illustrate possibilities of decision of tasks of reliability analysis and reliability synthesis, are resulted in the article.*

Keywords: *reliability, fault-tolerant system, modelling, radioelectronic systems, maintenance service strategy.*

INTRODUCTION

On systems design stage of radio-electronic systems one of the important tasks is an analysis of the chosen variant of fault-tolerant system behaviour at occurrence of refusals. Next of tasks of the reliability design of the fault-tolerant systems is a task of choice of strategy of its maintenance. In this article the problem of development of reliability models of the fault-tolerant systems with a mixed structural redundancy [1] for research of efficiency of strategies of its maintenance is solved.

Consideration of such fault-tolerant system in combination with strategies of its maintenance substantially complicates the problem of designing of reliability model. A problem is solved with application of original technology of modelling [2, 3].

At the first stage of modeling technology the software ASNA builds a designing object model as the state graph. At the second stage the software ASNA forms Kolmogorov – Chapman system of differential equations of and solves its by means of Runge-Kutta-Merson numerical method, defines and represents parameters of reliability

A structural – automatic model saved as a file of ASNA software we will name a software model in what follows.

1. THE DESCRIPTION OF MODELLING OBJECT

Configuration of fault-tolerant system with the mixed structural redundancy (Fig. 1) includes:

- Basic radio-electronic subsystem which is built from the same modules;
- Quantity of redundant units for a radio-electronic subsystem which are used as moving redundancy;
- Quantity of redundant subsystems;
- Means of control and diagnostics;
- Switches;
- Maintenance organization.

2. DESIGN OF STRATEGY MODELS

For conducting of researches two strategies of maintenance are formed, which differ the terms of conducting of works of repairs.

Research of strategies of maintenance for this fault-tolerant system must give an answer to the following questions:

1. What qualification of repairer is needed for providing of the necessary level of reliability of the fault-tolerant system?
2. What amount of repairs for the modules of the basic functional setting it is necessary to provide, to provide the necessary level of

3. What amount of maintenance with what period is needed for providing of necessary reliability on the set interval of exploitation of the fault-tolerant system? What amount (prophylactic renewal) it is necessary to provide for providing of the level of reliability in a time of guarantee service?
4. What ceiling amount of objects for one repairer is possible to fasten, that the necessary level of reliability of the fault-tolerance systems will correspond to given requirements?
5. What financing of repairs works is necessary. Is it economic expediency the maintenance? If necessary amount of maintenance, exceeds a reasonable (for example, according to economic criterion) value, decision can be made about complete replacement of apparatus after the certain term of exploitation.

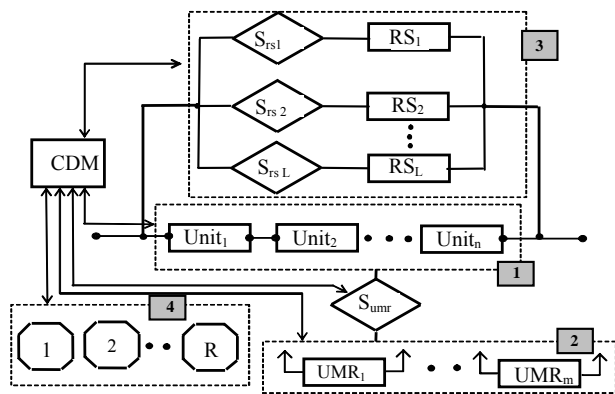


Fig. 1 – Fault-tolerant radio electronic system with a mixed structural redundancy (1 – units of radio electronic system; 2 – UMR – units of moving redundancy; 3 – RS – redundant subsystems; 4 – maintenance organization; CDM – control and diagnostic means; S – switch).

3. RESEARCH OF RELIABILITY OF FAULT-TOLERANT SYSTEM WITH CONSIDERATION OF DIFFERENT MAINTENANCE SERVICE STRATEGIES

Designed models can serve as prototypes for designing of new models of the modified fault-tolerant systems with the use of mixed redundancy.

Before conducting of researches the estimation of potential possibilities of the fault-tolerant systems with the purpose of determination of maximum values of parameters and degrees of their influence is carried out.

For research of fault-tolerant system taking account of the maintenance service strategy according to technology described in [2] structurally

automatic models have been designed. However through their bulkiness in the given article its are not shown.

Rating of reliability of fault-tolerant system taking account of maintenance service strategies. Proceeding from practical reasoning, in view of possible restrictions, for fault-tolerant system, initial values of parameters of its configuration are set: amount of units of the basic functional appointment $n=2$; amount of redundant subsystems $L=1$; Intensity of refusal of basic functional units and redundant units $\lambda m=1e-4$ 1/hour; Intensity of refusal of a working reserve subsystem $\lambda prs=1e-3$ 1/hour; Intensity of refusal of an idle reserve subsystem $\lambda nrs=1e-4$ 1/hour; Average value of connection time of reserve unit $Tprm=1e-1$ /hour; Average value of an interval of repair time of reserve subsystem $Trs=1e-1$ /hour; Average value of an interval of repair time of unit of basic subsystem $Trm=1e-1$ /hour.

A research of dependence of reliability probability of the fault-tolerant system with mixed structural redundancy and maintenance service strategies is carried out (Fig. 2, Fig. 3).

4. CONCLUSION

Opportunities of increase efficiency of fault-tolerant systems analysis of the due to use of the advanced technology of modelling which allows to refuse use of decomposition of a task of the analysis of reliability on a task of the analysis of a configuration of fault-tolerant system and a task of the analysis of strategy of its maintenance service are shown.

New reliability program models with use of the advanced technology of modelling are designed. Results of the reliability analysis of fault-tolerant system with the mixed redundancy constructed of the same units which moving redundancy and maintenance service is stipulated are carried out. The features of system behavior, caused by use of the mixed structural redundancy, an opportunity of means of the control and diagnostics, quality of the device of switching, an opportunity of renewal of faulty elements of maintenance service are taken into account in the designed program models. Opportunities of maintenance service are submitted of the next indexes: qualification of repairmen and their quantity; possible quantity of repairs which is caused by presence and quantity of redundant elements, strategy of maintenance service.

The library of structurally automatic models of fault-tolerant systems with the mixed structural redundancy and different strategies what in a combination with software ASNA provide automation of the decision of tasks of their

reliability designing of fault-tolerant systems are designed.

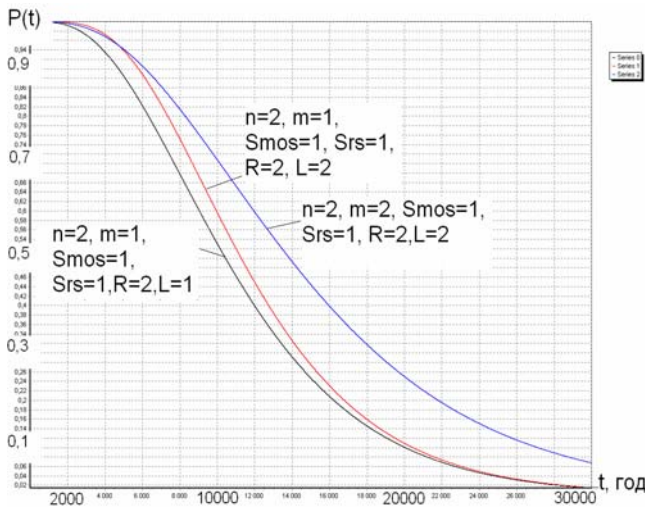


Fig. 2 – Dependence of reliability probability on time at amount of redundant units and redundant systems for Strategy 1 of maintenance.

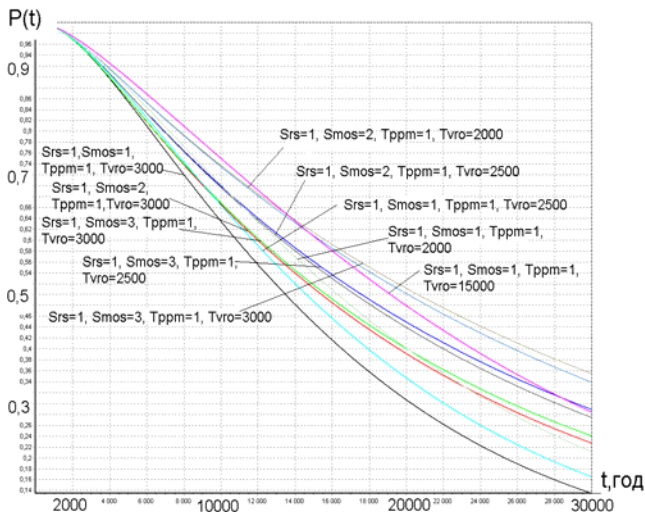


Fig. 3 – Dependence of reliability probability on time at amount of repairs for Strategy 2 of maintenance.

5. REFERENCES

- [1] *Reliability of technical systems: Reference-book* /Belyayev Yu.K., Bogatyryov V.A., Bolotin V.V. and others.; edit. Ushakov I.A. – Moscow.: Radio I Svyaz, 1985. – 608c.
- [2] Volochiy B. Lviv, *Technology of modeling of algorithms of conduct of the informative systems.* – Lviv, 2004, 220 p.
- [3] Volochiy B., Matichyn O., Ozirkovskyy L. Specialized program module for forming the program models of behavior algorithms of information systems // *International Conference TCSET 2006*, Lviv, 2006. – p. 181 – 182.
- [4] Volochiy B., Ozirkovskyy L., Matichin O. Mathematical software for creation of fault-tolerant systems program models // *Proceedings of the VIIIth International Conference CADSM 2005.* – P. 372.
- [5] Mandziy B.A., Volochiy B.Yu., Matichyn O.V., Ozirkovskyy L.D. The conception of the software module for modelling structure and behaviour of information systems // *International Symposium “Reliability and Quality”*, Penza, Russia, 2006. – C. 13 – 15.