

критерия / А.П. Воицинин // Заводская лаборатория.– 1987.– №7. – С. 68–71. 7. Дивак М. П. Метод формування допускової еліпсоїдної оцінки параметрів інтервальних моделей на основі виділення із інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь основних активних обмежень / Дивак М. П., О.Л. Козак // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2009. – Т. 11, № 2. – С.25-36. 8. Дивак М. П. Оцінювання допусків параметрів статичних систем еліпсоїдними множинами на основі аналізу інтервальних даних / М.П. Дивак, О.Л. Козак // Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону. — 2008. — Вип. 4. — С. 67–78.

УДК 004.05: 004.942: 621.37

Б.Ю. Волочій, Л.Д. Озірковський, О.В. Муляк, В.Д. Гиля
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної радіотехніки і радіовимірювань

МОДЕЛІ ДЛЯ НАДІЙНІСНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛА ПАМ'ЯТІ СЕРВЕРА ТА ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

© Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д., Муляк О.В., Гиля В.Д., 2010

Під час розроблення надійнісних моделей використовується технологія моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем, яка реалізована в програмному модулі ASNA. Робота з цим програмним модулем передбачає розроблення структурно-автоматних моделей, які являють собою вибрану конфігурацію відмовостійкої системи та її поведінку. Показано структурно-автоматні моделі вузла пам'яті сервера та джерела безперебійного електроживлення. Запропоновані надійнісні моделі цих пристроїв мають високий ступінь адекватності і уможливають розв'язання задачі багатоваріантного аналізу за прийнятних для проєктанта затрат часу. Наведені приклади розв'язання задач багатоваріантного аналізу вибраної конфігурації відмовостійкої системи.

The technology of modeling discrete-continuous stochastic systems, which is implemented in the software module ASNA uses for develop of reliability models. A process of use this software includes the development of structural-automatic models that represents a selected configuration of fault-tolerant system and its behavior. The article shows the structural-automatic model server node memory and an uninterruptible power supply. Suggested reliable models of such systems have a high degree of adequacy and allows to solve problems which contains multiple choice analysis with acceptable to the designer time expense. Problems of multivariate analysis of the selected configuration of fault-tolerant system are shown.

1. Постановка задачі. До радіоелектронних систем відповідального призначення висувають високі вимоги щодо їх надійності. Щоб забезпечити ці вимоги, пристрої таких систем проєктують як відмовостійкі системи з використанням комбінованого структурного резервування. Розглядається вузол пам'яті сервера та джерело безперебійного електроживлення, для яких є прийнятною конфігурація відмовостійкої системи з ковзним резервуванням однотипних модулів та з загальним резервуванням пристрою (рис. 1). Для надійнісного проєктування таких відмовостійких систем в теорії надійності відсутні формули для визначення показників надійності, але існує технологія розробки їх математичних моделей у вигляді дискретно-неперервної стохастичної системи [1, с. 132–228]. Однак використання цієї технології в процесі проєктування під час розв'язання задач багатоваріантного аналізу потребує значних затрат часу, що є неприйнятним для проєктанта. Тому у цій роботі використовується удосконалена технологія аналітичного моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем [2, 3, 4], яка уможливила автоматизувати процес розробки моделі

у вигляді графа станів і переходів, що, своєю чергою, зменшує затрати часу на багатоваріантний аналіз відмовостійких систем з комбінованим структурним резервуванням. Ця технологія реалізована у програмному модулі ASNA, призначеному для формування надійнісних моделей та розв'язання задач надійнісного проектування відмовостійких систем. Робота з цим програмним модулем передбачає розробку структурно-автоматної моделі об'єкта проектування, яка являє собою вибрану конфігурацію відмовостійкої системи та її поведінку.

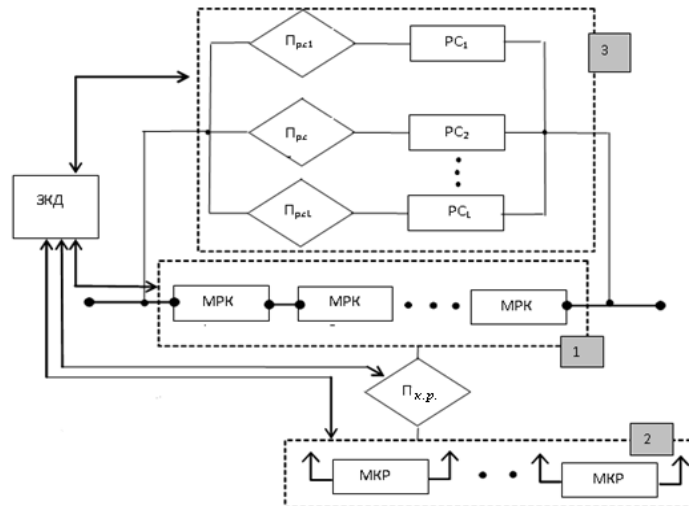


Рис. 1. Конфігурація відмовостійкої системи: 1 – модулі основного пристрою; 2 – модулі ковзного резерву основного пристрою; 3 – резервні пристрої, ЗКД – засоби контролю та діагностики

Мета роботи – розробити надійнісні моделі вузла пам'яті сервера та джерела безперебійного електроживлення (ДБЕЖ) систем відповідального призначення у вигляді структурно-автоматних моделей.

2. Досліджувані пристрої та вимоги до їхніх надійнісних моделей. Сьогодні фактично не існує радіоелектронних систем без використання керуючих серверних систем, які, своєю чергою, повинні мати високу надійність. Враховуючи практику використання радіоелектронних систем, бачимо, що особливу увагу необхідно приділити надійності таких вузлів, як: оперативна пам'ять, блок живлення, дискові масиви пам'яті та підсистеми охолодження. Вузол пам'яті сервера реалізується на блоках RAID-масиву, пристрою перемикавання, засобів контролю та діагностики (детально розглядається структура одного блока масиву, а інші виступають як загальний резерв пристрою). Структурну схему вузла пам'яті сервера показано на рис. 2.

Основною вимогою до надійності вузла пам'яті є забезпечення безперебійної роботи протягом тривалого (3–5 років) часу, який зумовлений амортизацією обладнання. Після закінчення терміну експлуатації вузла пам'яті сервера протягом вказаного періоду часу проводиться його заміна новим.

Під час побудови надійнісної моделі вузла пам'яті сервера були використані такі його параметри: кількість модулів основного пристрою n , кількість модулів ковзного резерву m , кількість резервних пристроїв L , інтенсивність відмови модулів основного пристрою та резервних модулів λ_m , інтенсивність відмови працюючого резервного пристрою λ_{pr} , інтенсивність відмови непрацюючого резервного пристрою λ_{npr} , середнє значення часу, необхідного для підключення резервного модуля T_{rpm} , середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт резервного модуля T_{rnm} , середнє значення часу, необхідного для підключення резервного пристрою T_{rpr} , середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт резервного пристрою T_{rpr} . Для модулів основного пристрою та резервних пристроїв передбачене технічне обслуговування, яке проводить один ремонтник. При цьому для модулів передбачено S_{mor} відновлень, а для резервних пристроїв – S_{rp} відновлень.

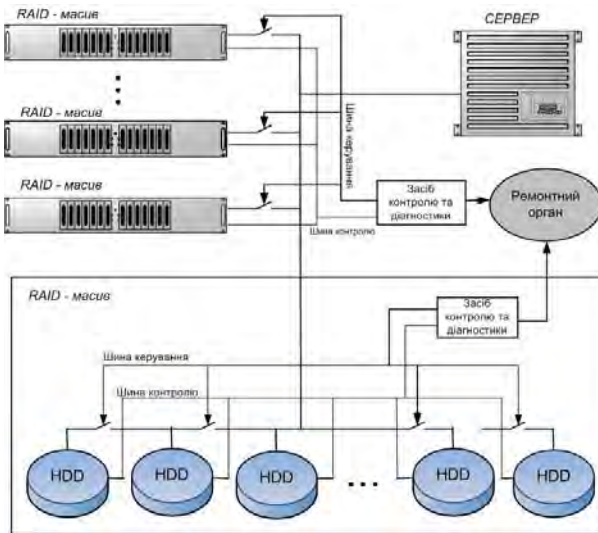


Рис. 2. Структурна схема вузла пам'яті сервера

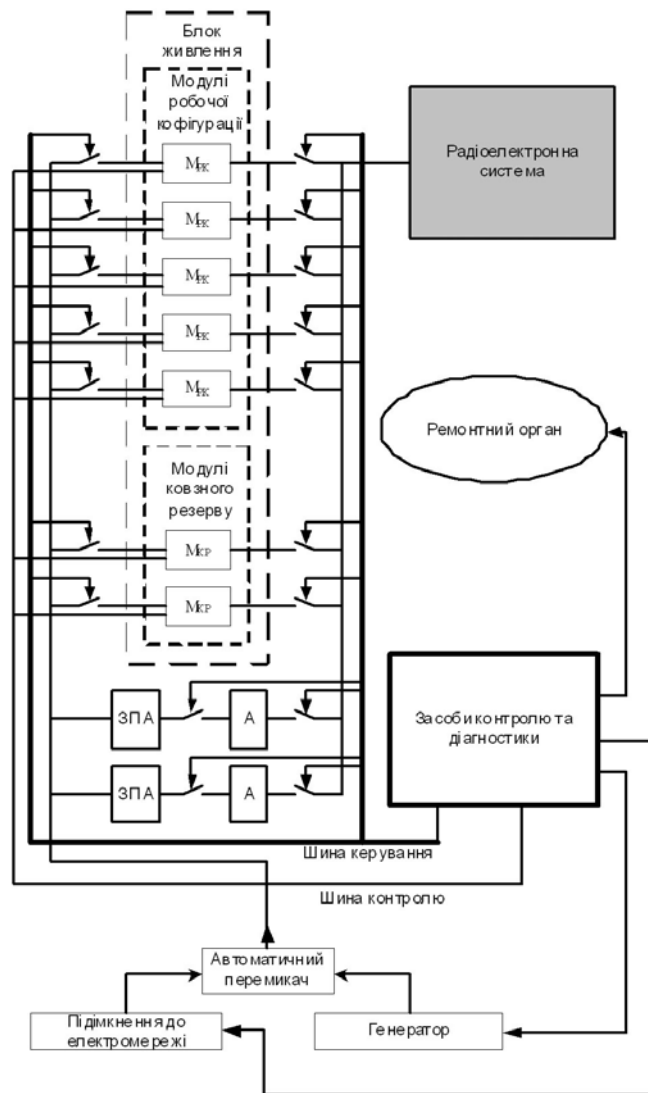


Рис. 3. Структурна схема джерела безперерйного електроживлення

До надійності джерела безперебійного електроживлення, що розглядається, ставиться аналогічна вимога щодо забезпечення працездатності протягом тривалого часу. Джерело безперебійного електроживлення складається з блока живлення, у складі якого є однотипні модулі робочої конфігурації і такі самі модулі ковзного резерву. Два акумулятори здійснюють загальне резервування блока живлення і для них передбачена певна кількість заряджань. Засоби контролю та діагностики здійснюють контроль працездатності блока живлення і локалізацію несправного модуля у ньому, а також контроль працездатності акумуляторів. Перший акумулятор підключається до навантаження у момент відмови блока живлення або під час відключення електромережі. Другий акумулятор підключається тоді, коли перший розрядився або вийшов з ладу. За відсутності електромережі живлення напруга на зарядний пристрій акумулятора подається від генератора. Функцію перемикачів електромережа/генератор здійснює автоматичний перемикач.

Структурна схема ДБЕЖ, показана на рис. 3, відображає вибрану конфігурацію відмовостійкої системи. Блок живлення представлений заданою кількістю однотипних модулів робочої конфігурації S_{MPK} і заданою кількістю таких самих модулів ковзного резерву S_{MKP} . Модулі ковзного резерву підключаються замість несправних модулів робочої конфігурації перемикачем. Підключення резервного модуля замість несправного здійснюється за час, середнє значення якого дорівнює $T_{ПРМ}$. Цей час враховує час локалізації несправного модуля та час заміни несправного модуля резервним. Підключення акумулятора здійснюється за допомогою пристрою перемикачів за 20 – 50 мсек. Усі пристрої перемикачів є надійними, і процедури підключення виконуються завжди. Надійнісна модель блока безперебійного електроживлення необхідна для визначення параметрів засобів контролю, діагностики, пристрою перемикачів та параметрів акумулятора залежно від вимог та умов його експлуатації.

3. Надійнісні моделі. Надійнісні моделі вузла пам'яті сервера та джерела безперебійного електроживлення розробляються за технологією [4], яка передбачає використання програмного модуля ASNA. Для цього необхідно здійснити розробку структурно-автоматної моделі (САМ) об'єкта проектування та її верифікацію.

Розробка САМ вузла пам'яті сервера включає: визначення базових подій, визначення компонент вектора станів, визначення умов і обставин, за яких відбуваються базові події, компонування формул розрахунку інтенсивностей базових подій (ФРІБП), компонування формул розрахунку імовірностей альтернативних переходів (ФРІАП) та формування правил модифікації компонент вектора стану (ПМКВС). Результати розробки подано у табл. 1, де $V1 - V8$ – компоненти вектора станів, які мають таке призначення: $V1$ – відображає поточну кількість працездатних модулів у робочій конфігурації основного пристрою (початкове значення компоненти $V1$ дорівнює кількості модулів робочої конфігурації n); $V2$ – відображає поточну кількість працездатних модулів ковзного резерву основного пристрою (початкове значення компоненти $V2$ дорівнює кількості модулів ковзного резерву m); $V3$ – відображає поточну кількість працездатних резервних пристроїв, які є в резерві (початкове значення компоненти $V3$ дорівнює кількості резервних пристроїв L); $V4$ – вказує, який пристрій основний чи резервний виконує задану функцію ($V4=1$, якщо цільову функцію виконує основний пристрій; $V4=2$, якщо цільову функцію виконує один з резервних пристроїв; $V4=0$, якщо основний і резервний пристрої несправні); $V5$ – відображає кількість модулів, що перебувають в ремонті (початкове значення компоненти $V5$ дорівнює нулю); $V6$ – відображає кількість резервних пристроїв, що перебувають в ремонті (початкове значення компоненти $V6$ дорівнює нулю); $V7$ – лічильник кількості проведених ремонтів модулів (початкове значення дорівнює S_{mos}); $V8$ – лічильник кількості проведених ремонтів резервних пристроїв (початкове значення дорівнює S_{rs}).

Під час розроблення САМ можливі помилки, тому для неї є обов'язковою процедура верифікації. Методика верифікації передбачає розробку тестової моделі у вигляді графа станів та переходів, яка будується за методом логічного аналізу. На рис. 4 показано тестову модель вузла пам'яті сервера з такими параметрами: кількість модулів основного пристрою $n = 2$, кількість модулів ковзного резерву $m = 1$, кількість резервних пристроїв $L = 1$. На основі виявлених

невідповідностей при порівнянні графа станів та переходів, який отримуємо за допомогою програмного модуля ASNA з тестовою моделлю, проводиться верифікація САМ.

Таблиця 1

Структурно-автоматна модель вузла пам'яті сервера

Базові події	Умови і обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
1. Відмова модуля у робочій конфігурації основного пристрою	1. $(V1=n) \text{ AND } (V4=1) \text{ AND } (V3>0) \text{ AND } (V5<V7)$	$V1*\lambda_m$	1	$V1:=V1-1; V4:=2; V3:=V3-1; V5:=V5+1$
	2. $(V1=n) \text{ AND } (V4=1) \text{ AND } (V3>0) \text{ AND } (V5=V7)$	$V1*\lambda_m$	1	$V1:=V1-1; V4:=2; V3:=V3-1$
	3. $(V1=n) \text{ AND } (V4=1) \text{ AND } (V3=0)$	$V1*\lambda_m$	1	$V1:=V1-1; V4:=0$
	4. $(V1>0) \text{ AND } (V=2) \text{ AND } (V5<V7)$	$V1*\lambda_m$	1	$V1:=V1-1; V5:=V5+1$
	5. $(V1>0) \text{ AND } (V4=2) \text{ AND } (V5=V7)$	$V1*\lambda_m$	1	$V1:=V1-1$
2. Відмова резервного модуля основного пристрою	1. $(V2>0) \text{ AND } (V5<V7)$	$V2*\lambda_m$	1	$V2:=V2-1; V5:=V5+1$
	2. $(V2>0) \text{ AND } (V5=V7)$	$V2*\lambda_m$	1	$V2:=V2-1$
3. Закінчення процедури підключення резервного модуля	1. $(V1=(n-1)) \text{ AND } (V2>0)$	$1/T_{prtm}$	1	$V1:=V1+1; V2:=V2-1; V4:=1; V3:=V3+1$
	2. $(V1<(n-1)) \text{ AND } (V2>0)$	$1/T_{prtm}$	1	$V1:=V1+1; V2:=V2-1$
4. Відмова працюючого резервного пристрою	1. $(V6=2) \text{ AND } (V3>0) \text{ AND } (V6<V8)$	λ_{rpr}	1	$V3:=V3-1; V6:=V6+1$
	2. $(V6=2) \text{ AND } (V3>0) \text{ AND } (V6=V8)$	λ_{rpr}	1	$V3:=V3-1$
	3. $(V4=2) \text{ AND } (V3=0)$	λ_{rpr}	1	$V4:=0$
5. Відмова непрацюючого резервного пристрою	1. $(V4=1) \text{ AND } (V3>0) \text{ AND } (V6<V8)$	$V3*\lambda_{nrpr}$	1	$V3:=V3-1; V6:=V6+1$
	2. $(V4=1) \text{ AND } (V3>0) \text{ AND } (V6=V8)$	$V3*\lambda_{nrpr}$	1	$V3:=V3-1$
	3. $(V4=2) \text{ AND } (V3>0) \text{ AND } (V6<V8)$	$V3*\lambda_{nrpr}$	1	$V3:=V3-1; V6:=V6+1$
	4. $(V4=2) \text{ AND } (V3>0) \text{ AND } (V6=V8)$	$V3*\lambda_{nrpr}$	1	$V3:=V3-1$
6. Закінчення процедури ремонту несправних модулів і пристроїв, що знаходяться в черзі	1. $(V5>0)$	$1/(T_{prtm}+V5*T_{trm})$	1	$V2:=V2+V5; V7:=V7-V5; V7:=0$
	2. $(V6>0)$	$1/(T_{rpr}+V6*T_{trp})$	1	$V3:=V3+V6; V8:=V8-V6; V8:=0$
Критерій катастрофічної відмови ($V4=0$)				

Розроблену структурно-автоматну модель джерела безперебійного електроживлення наведено у табл. 2, де $V1 - V9$ – компоненти вектора станів. Компоненти вектора станів мають таке призначення: $V1$ — відображає поточну кількість працездатних модулів у робочій конфігурації блока живлення (початкове значення компоненти $V1$ дорівнює кількості модулів у робочій конфігурації блока живлення S_{MPK}); $V2$ — відображає поточну кількість працездатних модулів ковзного резерву блока живлення (початкове значення компоненти $V2$ дорівнює кількості модулів

ковзного резерву $S_{МКР}$); $V4$ — лічильник кількості реалізованих циклів заряд-розряд першого акумулятора; $V5$ — вказує, в якому стані перебуває перший акумулятор ($V5 = 1$, якщо перший акумулятор працює на навантаження; $V5 = 2$, якщо перший акумулятор заряджений, але не підключений до навантаження; $V5 = 3$, якщо перший акумулятор перебуває на заряджанні; $V5 = 4$, якщо перший акумулятор несправний); $V6$ — лічильник кількості реалізованих циклів заряд-розряд другого акумулятора; $V7$ — вказує, в якому стані перебуває другий акумулятор ($V7 = 1$, якщо другий акумулятор працює на навантаження; $V7 = 2$, якщо другий акумулятор заряджений, але не підключений до навантаження; $V7 = 3$, якщо другий акумулятор перебуває на заряджанні; $V7 = 4$, якщо другий акумулятор несправний); $V8$ — вказує, в якому стані перебуває електромережа ($V8 = 1$, якщо є живлення від електромережі; $V8 = 2$, якщо живлення від електромережі відсутнє); $V9$ — вказує, в якому стані перебуває генератор ($V9 = 1$, якщо генератор не увімкнений; $V9 = 2$, якщо генератор увімкнений; $V9 = 3$, якщо генератор несправний або не заправлений паливом).

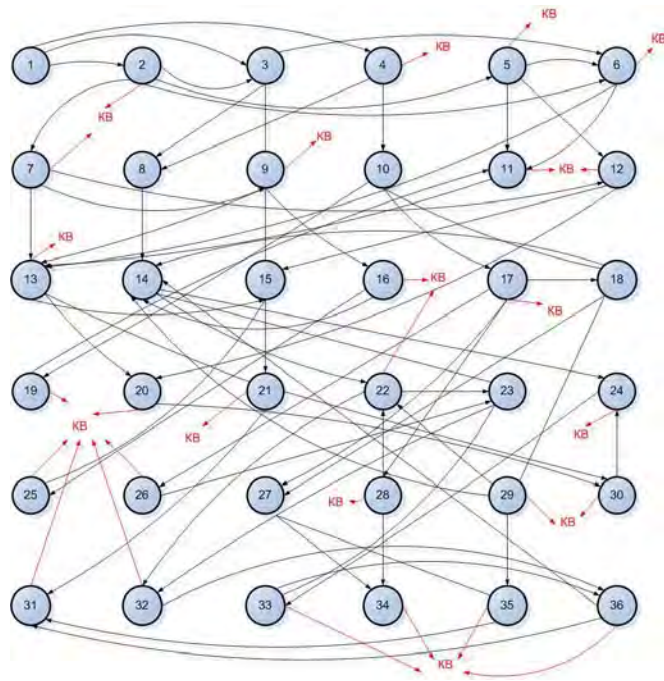


Рис. 4. Тестова модель вузла пам'яті сервера у вигляді графа станів та переходів

Параметри моделі наведено в п. 4.2.

Таблиця 2

Структурно-автоматна модель джерела безперебійного електроживлення

Базова подія	Умова і обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
1	2	3	4	5
1. Відмова робочого модуля у блоці живлення	1. ($V1=S_{МКР}$) AND ($V8=1$) AND ($V2>0$)	$V1 \cdot \lambda_{мб}$	1	$V2:=V2-1$
	2. ($V1=S_{МКР}$) AND ($V8=1$) AND ($V2=0$) AND ($V5=2$)	$V1 \cdot \lambda_{мб}$	1	$V1:=V1-1$; $V5:=1$
	3. ($V1=S_{МКР}$) AND ($V8=1$) AND ($V2=0$) AND (($V5=3$) OR ($V5=4$)) AND ($V7=2$)	$V1 \cdot \lambda_{мб}$	1	$V1:=V1-1$; $V7:=1$
	4. ($V1=S_{МКР}$) AND ($V8=1$) AND ($V2=0$) AND (($V5=3$) OR ($V5=4$)) AND (($V7=3$) OR ($V7=4$))	$V1 \cdot \lambda_{мб}$	1	$V1:=V1-1$

1	2	3	4	5
	5. (V1=S _{mpk}) AND (V8=1) AND (V2=0) AND ((V5=3) OR (V5=4)) AND ((V7=3) OR (V7=4))	V1 · λ _{мб}	1	V1:=V1-1
2. Завершення розрядження першого акумулятора	1. (V5=1) AND (V4<Sc1) AND (V7=2) AND (V9=1) AND (V8=2)	λ _{рна}	1	V7:=1; V4:=V4+1; V5:=3; V9:=2
	2. (V5=1) AND (V4<Sc1) AND (V7=2) AND (V8=1)	λ _{рна}	1	V7:=1; V4:=V4+1; V5:=3
	3. (V5=1) AND (V4=Sc1) AND (V7=2)	λ _{рна}	1	V7:=1; V5:=4
	4. (V5=1) AND (V7=4)	λ _{рна}	1	V5:=4
3. Закінчення зарядження першого акумулятора	1. (V5=3) AND (V8=1)	1/T _{за}	1	V5:=2
	2. (V5=3) AND (V8=2) AND (V9=2) AND (V7=1)	1/T _{за}	1	V5:=2; V9:=1
4. Закінчення розрядження другого акумулятора	1. (V7=1) AND (V6<Sc2) AND (V5=2) AND (V9=1) AND (V8=2)	λ _{рна}	1	V5:=1; V9:=2; V6:=V6+1; V7:=3
	2. (V7=1) AND (V6<Sc2) AND (V5=4) AND (V8=1)	λ _{рна}	1	V6:=V6+1; V7:=3
	3. (V7=1) AND (V6<Sc2) AND (V5=2) AND (V8=1)	λ _{рна}	1	V5:=1; V6:=V6+1; V7:=3
	4. (V7=1) AND (V6<Sc2) AND (V5=4) AND (V8=2)	λ _{рна}	1	V6:=V6+1; V7:=3
	5. (V7=1) AND (V6=Sc2) AND (V5=4)	λ _{рна}	1	V7:=4
5. Закінчення зарядження другого акумулятора	1. (V7=3) AND (V8=1) AND ((V5=1) OR (V5=2) OR (V5=4))	1/T _{за}	1	V7:=2
	2. (V7=3) AND (V8=2) AND (V9=2) AND (V5=1)	1/T _{за}	1	V7:=2; V9:=1
6. Відімкнення електромережі	1. (V8=1) AND (V5=1) AND (V7=3) AND (V9=1) AND (V1<S _{mpk})	λ _{всм}	1	V8:=2; V9:=2
	2. (V8=1) AND (V5=2) AND (V7=3) AND (V9=1) AND (V1=S _{mpk})	λ _{всм}	1	V8:=2; V5:=1; V9:=2
	3. (V8=1) AND (V5=3) AND (V7=1) AND (V9=1) AND (V1<S _{mpk})	λ _{всм}	1	V8:=2; V9:=2
	4. (V8=1) AND (V5=3) AND (V7=2) AND (V9=1)	λ _{всм}	1	V8:=2; V9:=2; V7:=1
	5. (V8=1) AND ((V5=3) OR (V5=4)) AND ((V7=4) OR (V7=3))	λ _{всм}	1	V8:=2
	6. (V8=1) AND (V5=1) AND ((V7=2) OR (V7=4)) AND (V1<S _{mpk})	λ _{всм}	1	V8:=2
	7. (V8=1) AND (V5=2) AND ((V7=2) OR (V7=4)) AND (V1=S _{mpk})	λ _{всм}	1	V8:=2; V5:=1
	8. (V8=1) AND ((V5=4) OR (V5=2)) AND (V7=1) AND (V1<S _{mpk})	λ _{всм}	1	V8:=2
	9. (V8=1) AND (V5=4) AND (V7=2) AND (V1=S _{mpk})	λ _{всм}	1	V8:=2; V7:=1
7. Відмова генератора	1. (V9=2) AND (V5=3) AND (V8=2) AND (V7=1)	λ _{вг}	1	V9:=3; V5:=4

1	2	3	4	5
	2. (V9=2) AND (V7=3) AND (V8=2) AND (V5=1)	$\lambda_{\text{ВГ}}$	1	V9:=3; V7:=4
8. Увімкнення електромережі	1. (V8=2) AND (V5=1) AND (V1=Smрк) AND (V4<Sc1) AND (V7=3) AND (V9=2)	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V5:=3; V8:=1; V9:=1; V4:=V4+1
	2. (V8=2) AND (V5=1) AND (V1=Smрк) AND (V4=Sc1) AND (V7=3) AND (V9=2)	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V5:=4; V8:=1; V9:=1
	3. (V8=2) AND (V7=1) AND (V1=Smрк) AND (V6<Sc2) AND (V5=3) AND (V9=2)	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V7:=3; V8:=1; V6:=V6+1; V9:=1
	4. (V8=2) AND (V7=1) AND (V1=Smрк) AND (V6=Sc2) AND (V5=4)	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V7:=4; V8:=1
	5. (V8=2) AND (V5=3) AND (V7=1) AND (V9=2) AND (V1<Smрк)	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V8:=1; V9:=1
	6. (V8=2) AND (V5=1) AND (V7=3) AND (V9=2) AND (V1<Smрк)	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V8:=1; V9:=1
	7. (V8=2) AND (V5=1) AND (V1=Smрк) AND (V4<Sc1) AND ((V7=2) OR (V7=4))	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V5:=3; V8:=1; V4:=V4+1
	8. (V8=2) AND (V5=1) AND (V1<Smрк) AND ((V7=2) OR (V7=4))	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V8:=1
	9. (V8=2) AND (V7=1) AND (V1<Smрк) AND ((V5=4) OR (V5=2))	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V8:=1
	10. (V8=2) AND ((V5=4) OR (V5=2)) AND (V7=1) AND (V1=Smрк) AND (V6<Sc2)	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V8:=1; V6:=V6+1; V7:=3
	11. (V8=2) AND (V5=1) AND (V1=Smрк) AND (V4=Sc1) AND ((V7=2) OR (V7=4))	$\lambda_{\text{ВВЕМ}}$	1	V5:=4; V8:=1
Критерій катастрофічної відмови ((V1< Smрк) OR ((V1= Smрк) AND (V8=2))) AND ((V5=3) OR (V5=4)) AND ((V7=4) OR (V7=3))				

4. Приклади розв'язування проектних задач

4.1. Дослідження варіантів реалізації вузла пам'яті сервера

Під час розроблення вузла пам'яті сервера розробника цікавить, якою повинна бути кількість резервних модулів під час визначення кількості модулів основного пристрою та резервних пристроїв. Розглянемо варіант, коли для модулів основного пристрою передбачено одне відновлення $S_{\text{мор}} = 1$ та для резервних пристроїв також передбачене одне відновлення $S_{\text{р}} = 1$. Вважаємо, що ремонт проводиться однією особою. Результати розв'язання такої задачі подано у табл. 3, де Тр_{кв} – середнє значення тривалості роботи до катастрофічної відмови, і показано на рис. 5.

Таблиця 3

Залежність середнього значення тривалості роботи до катастрофічної відмови від кількості резервних модулів

m, шт	0	1	2	3	4	5	6	7
Тр _{кв} , год	9138	11598	12879	13945	14828	15568	16194	16731

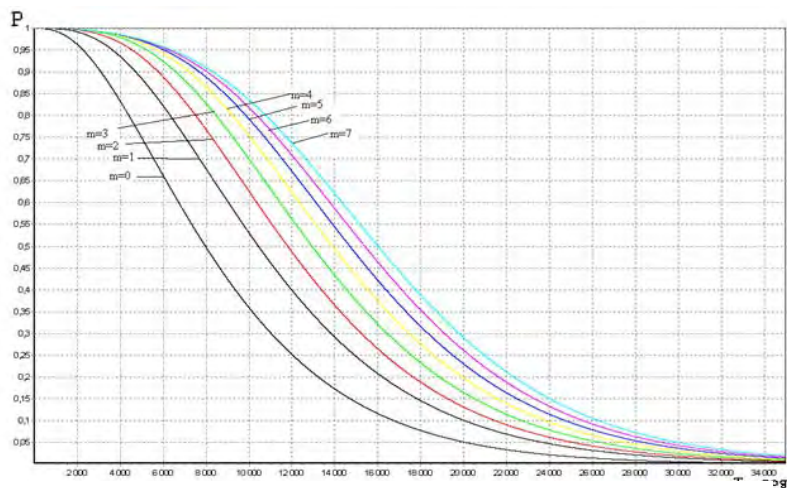


Рис. 5. Залежність імовірності безвідмовної роботи від часу за різної кількості модулів резерву

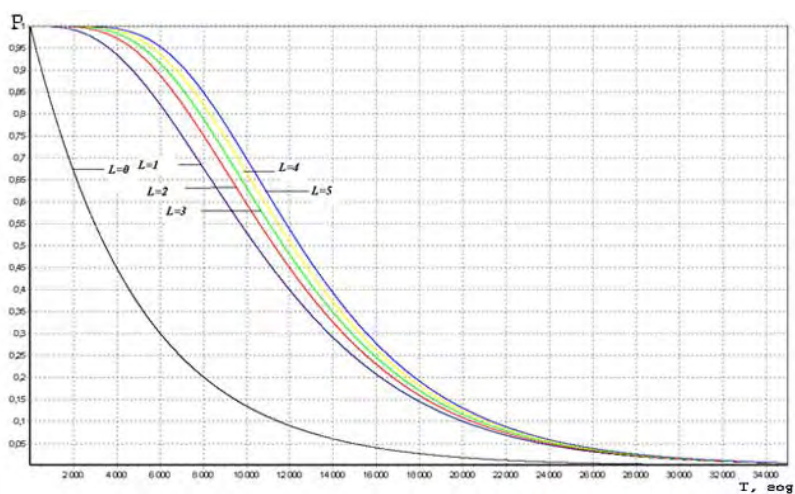


Рис. 6. Залежність імовірності безвідмовної роботи від часу за різної кількості резервних пристроїв

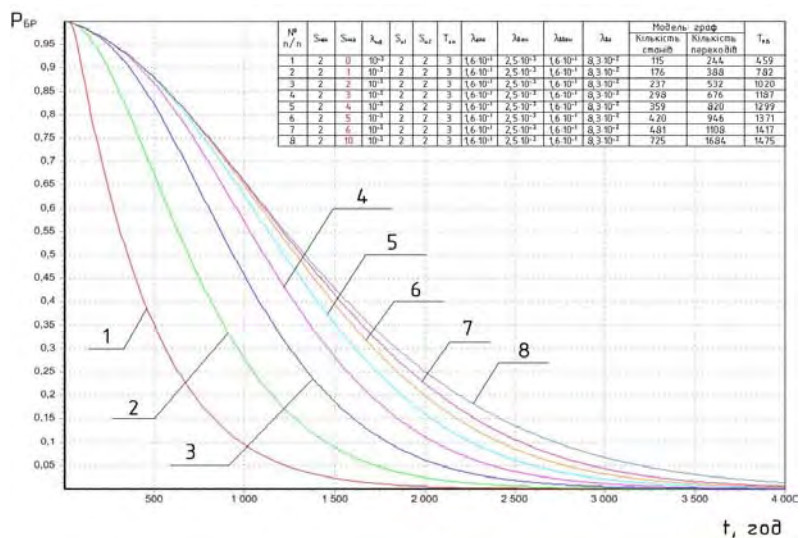


Рис. 7. Визначення впливу на надійність ДБЕЖ кількості модулів кожного резерву, типу акумуляторів та генератора за заданої ненадійності електромережі

З результатів аналізу бачимо (рис. 5), що із збільшенням кількості резервних модулів ефект від їх використання спадає. Адже приріст часу напрацювання на відмову при введенні одного резервного модуля становить 26,9 %, другого – 11,0 %, а за подальшого збільшення кількості резервних модулів приріст Т_{ркв} є незначним.

Під час проектування також необхідно визначити кількість резервних пристроїв, які повинні використовуватися у цій відмовостійкій конфігурації. Адже використання кожної додаткової резервної підсистеми є доволі дорогим і потребує ґрунтовного аргументування щодо її використання. Результати розв’язання такої задачі подано у табл. 4 і показано на рис. 6.

З результатів аналізу (рис. 6) бачимо, що використання одного резервного пристрою дуже збільшує час напрацювання до катастрофічної відмови. Використання двох і більше резервних пристроїв не дає істотного виграшу у часі напрацювання до катастрофічної відмови. Тому можна зробити висновок, що за заданих умов використання більше одного резервного пристрою не є доцільним.

4.2. Дослідження варіантів реалізації джерела безперебійного електроживлення

У першому дослідженні ставиться за мету визначити вплив на надійність ДБЕЖ кількості модулів ковзного резерву. У цій задачі було задано вісім варіантів реалізації ДБЕЖ за такими параметрами: інтенсивність відключення електромережі – $\lambda_{\text{вем}}$, інтенсивність включення електромережі – $\lambda_{\text{ввем}}$, середнє значення інтервалу часу роботи генератора – $T_{\text{рг}}$, інтенсивність відмови генератора – $\lambda_{\text{вг}}$, номінальна кількість модулів у робочій конфігурації блока живлення – $S_{\text{мрк}}$, початкова кількість модулів ковзного резерву – $S_{\text{мкр}}$, інтенсивність відмов одного модуля в блоці живлення – $\lambda_{\text{мб}}$, максимальна кількість циклів заряд-розряд акумулятора – $S_{\text{ц}}$, середнє значення інтервалу часу, необхідного для заряджання акумулятора, – $T_{\text{за}}$, інтенсивність розряду працюючого акумулятора – $\lambda_{\text{рпа}}$.

Таблиця 4

Залежність середнього значення тривалості роботи до катастрофічної відмови від кількості резервних пристроїв

L, шт.	0	1	2	3	4	5
Т _{ркв} , год	4995	11598	12379	12807	13195	13548

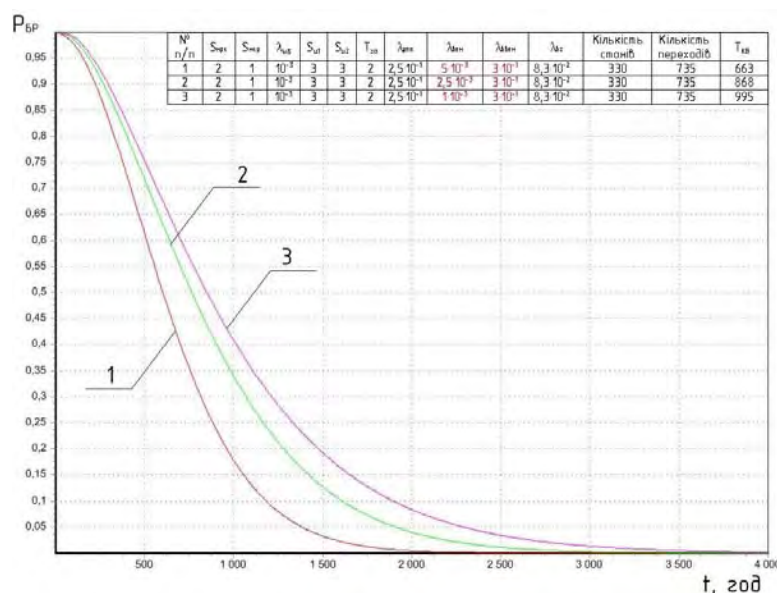


Рис. 8. Визначення допустимої ненадійності електромережі за заданих параметрів ДБЕЖ

Як приклад, розглянемо задачу визначення варіанта реалізації ДБЕЖ, який забезпечить тривалість роботи до катастрофічної відмови не менше 1000 год. Результати показують (рис. 7), що два варіанти забезпечують тривалість роботи до катастрофічної відмови менше 1000 год, шість варіантів – більше. До поставлених вимог найближчим є третій варіант реалізації ДБЕЖ.

Являє собою практичний інтерес задача визначення надійності ДБЕЖ під час роботи з ненадійною електромережею. Дослідження проведено для трьох варіантів ненадійності електромережі. На рис. 8 показано результати дослідження.

Висновки. З використанням удосконаленої технології аналітичного моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем розроблено надійнісні моделі вузла пам'яті сервера та джерела безперебійного електроживлення, які належать до класу відмовостійких систем з комбінованим структурним резервуванням.

Програмний модуль ASNA на основі розроблених структурно-автоматних моделей дає змогу формувати моделі у вигляді графа станів та переходів великої розмірності (сотні станів та тисячі переходів) (див. рис. 7 та 8). Тривалість формування моделі становить кілька хвилин, що є важливим під час розв'язання проектних задач в інтерактивному режимі.

Наведені результати досліджень ілюструють можливості розроблених моделей.

1. Половко А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: БВХ-Петербург, 2006. – 704 с. 2. Мандзий Б.А., Волочий Б.Ю., Озирковский Л.Д. Новые возможности для исследования эффективности стратегий технического обслуживания отказоустойчивых систем с комбинированным резервированием // Надежность и качество: Труды Международного симпозиума / Под ред. Н.К. Юркова. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2007. – Т.2. – С. 31 – 35. 3. Мандзий Б.А., Волочий Б.Ю., Малиновский А.В., Улыбин Д.А. Программное средство интерактивного надежностного проектирования отказоустойчивой системы с комбинированным резервированием замещением // Надежность и качество: Труды Международного симпозиума / Под ред. Н.К. Юркова. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – С. 252 – 255. 4. Волочий Б.Ю. Технология моделирования алгоритмов поведения информационных систем. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2004. – 220 с.