

МОДЕЛЬ ДЛЯ НАДІЙНІСНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЦІЛОДОВОЇ ДОВГОТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

ВОЛОЧІЙ Б.Ю., КУЗНЄЦОВ Д.С.

Пропонується надійнісна модель для автоматизації вирішення задач проектування відмовостійкої системи для джерела безперебійного електроживлення. Конфігурація відмовостійкої системи визначає склад джерела безперебійного електроживлення: блок живлення сформований з однотипних модулів, ненавантажений ковзний резерв для них, двократне загальне резервування блоку живлення двома акумуляторами, засоби контролю та діагностики. Наводиться приклад розв'язання задач проектування відмовостійкої системи.

Постановка задачі

Проблеми проектування джерел безперебійного електроживлення (ДБЕЖ) радіоелектронної апаратури відповідального призначення проєктантами приділяється велика увага, про що свідчать наукові публікації та каталоги продукції різних фірм [1 - 15].

В ряді інформаційних джерел визначені вимоги до надійності ДБЕЖ [6, 11] та способи її забезпечення шляхом використання відмовостійких систем з відповідною конфігурацією [1, 2, 7, 8, 12, 15]. У відмовостійких системах, що застосовуються в практиці, використовується комбіноване структурне резервування [3, 5, 7].

В каталогах по ДБЕЖ наводиться інформація про функціональні параметри, а також відзначається їх висока надійність. Однак конкретні значення показників надійності не наводяться [13, 14]. Це, на нашу думку, пов'язано з відсутністю відповідних надійнісних моделей ДБЕЖ, а експериментально визначені показники надійності можуть бути отримані після тривалої експлуатації.

Отже, проблема розробки надійнісних моделей ДБЕЖ з комбінованим структурним резервуванням є актуальною. Для вирішення цієї проблеми може бути використаний логіко-ймовірнісний метод моделювання. Так, у статтях [9, 10] представлена технологія надійнісного моделювання складних систем на основі загального логіко-ймовірнісного методу, в яких розглядаються задачі аналізу їх надійності, безпеки і ризику. Ця технологія може бути використана для розробки надійнісних моделей ДБЕЖ.

З використанням технології моделювання поведінки складних систем, в основі якої лежить метод простору станів, розроблено ряд надійнісних моделей ДБЕЖ, які представлені в роботах [3, 5]. Так, в монографії [3, с.139-153] представлено надійнісну модель ДБЕЖ з ковзним резервуванням модулів робочої конфігурації блоку живлення і загальним заміщувальним резервуванням за допомогою акумулятора. В [5] представлена надійнісна модель ДБЕЖ з комбінованим структурним резервуванням з двома акумуляторами і дизельною генераторною установкою.

В даній статті пропонується надійнісна модель ДБЕЖ цілодобової довготривалої експлуатації (наприклад, електроживлення апаратури телекомунікаційних мереж) з комбінованим структурним резервуванням, до складу якого входить два акумулятори; враховано також ненадійність контролю, діагностики та комутуючих елементів.

Опис структури досліджуваного джерела безперебійного електроживлення

Розглянемо ДБЕЖ, яке побудоване як відмовостійка система, де властивість відмовостійкості забезпечується комбінованим структурним резервуванням. Структура ДБЕЖ описана в працях [3, с. 134-139, 5]. Для ДБЕЖ передбачено технічне обслуговування, стратегія якого може бути різною. В даному випадку передбачено аварійний виклик ремонтника при відмові одного модуля блоку живлення. Структура джерела безперебійного електроживлення є типовою, яка включає в себе: блок живлення, що складається з однотипних модулів робочої конфігурації і таких же модулів ковзного ненавантаженого резерву; 2 акумулятори, які здійснюють двократне загальне резервування блоку живлення; засоби контролю та діагностики здійснюють контроль працездатності блоку живлення і локалізацію несправного модуля в ньому, а також контроль працездатності акумуляторів.

Фактори ненадійності складових ДБЕЖ

Ненадійність електроживлення інформаційних систем обумовлена двома факторами [4]: ненадійністю електромережі та ненадійністю самого ДБЕЖ. Задача оцінки впливу ненадійної мережі на показники надійності ДБЕЖ розглянута в статті [5].

У даній роботі вважається, що електромережа є надійною, а джерело безперебійного електроживлення повинно забезпечити напругу живлення при відмовах в блоці живлення. Модулі блоку живлення відмовляють з певною (відомою) інтенсивністю і після цього система переходить на автономну роботу від акумулятора. Відновлення працездатності блоку живлення можливе завдяки наявності ковзного резерву та ремонтного органу. Ефективність акумулятора визначають його параметри: тривалість розрядження на навантаження, тривалість заряджання, тривалість саморозрядження, тривалість роботи до відмови і передбачена кількість заряджання. Якщо акумулятор працював на навантаження і розрядився або відмовив, а блок

живлення ще не відновлено, то передбачено переключення засобами комутації на другий акумулятор, якщо він працездатний і заряджений. Якщо другий акумулятор перебуває на заряджанні або є несправним, то ДБЕЖ втрачає працездатність. Наявність в структурі ДБЕЖ двох акумуляторів дозволяє при надійній електромережі знизити вимоги до ремонтного органу. При відмові засобів комутації ДБЕЖ втрачає працездатність в момент, коли до них надходить команда від засобів контролю. Ефективність контролю та діагностики визначають вибрані методи та надійність засобів (апаратних і програмних), якими реалізовано їх функції. При невиявленні засобами контролю порушення працездатності блоку живлення або акумулятора (в момент переключення на нього навантаження) ДБЕЖ втрачає працездатність. При неуспішній локалізації несправного модуля із робочої конфігурації блоку живлення вилучається справний модуль.

Задачі надійнісного проектування

Надійнісне проектування джерел безперебійного електроживлення для об'єктів телекомунікаційних мереж передбачає вирішення таких задач:

– визначення параметрів відмовостійкої системи при заданій (вибраній) її конфігурації і заданому значенні показника надійності, а саме тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ;

– обґрунтування вибору конфігурації відмовостійкої системи для ДБЕЖ;

– визначення параметрів технічного обслуговування при заданій (вибраній) її конфігурації і заданому значенні показника надійності, а саме тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ.

Підхід до розв'язання задач надійнісного проектування

Підвищення надійності роботи ДБЕЖ може забезпечуватися різними шляхами: збільшенням кількості резервних модулів, підвищенням надійності модулів робочої конфігурації блоку живлення, встановленням акумуляторів з більшою тривалістю роботи до повного розряду та більшою кількістю циклів заряд-розряд, високими вимогами до ремонтного органу. Але зміна кожного з цих параметрів буде впливати на надійність ДБЕЖ в цілому по різному. Крім того, певний набір одних параметрів буде визначати, наскільки надійність ДБЕЖ буде чутливою до зміни інших. Тому актуальною є задача визначення чутливості показника надійності ДБЕЖ до змін параметрів відмовостійкої системи та технічного обслуговування при різних наборах значень інших параметрів джерела. Значення інших параметрів може задаватися, в тому числі, для певної ситуації, яка визначається доцільністю (технічною, економічною і т.д.) і вже для цих ситуацій проводити надійнісний аналіз з метою визначення чутливості показника надійності ДБЕЖ до зміни обраного параметру.

Представлення ступеня адекватності розробленої моделі

Для визначення показників надійності здійснюється розробка математичної моделі ДБЕЖ у вигляді графа станів і переходів. Розробка і аналіз графа для складних систем є затратною щодо часу задачею. А при потребі аналізувати різні конфігурації відмовостійких систем постає задача розробки графа для кожного з варіантів конфігурації, що різко збільшує затрати часу на розробку моделей. Тому актуальною є задача автоматизації процесу побудови надійнісних моделей відмовостійких систем та використання їх до розв'язання проектних задач.

Таку задачу вирішує удосконалена технологія аналітичного моделювання відмовостійких систем [3], в якій побудова графу станів і переходів є формалізована. Ця технологія реалізована в програмному модулі ASNA-1. Для роботи з цим програмним модулем необхідно здійснити розробку структурно-автоматної моделі відмовостійкої системи, вибраної для ДБЕЖ.

У розробленій структурно-автоматній моделі відмовостійкої системи враховано відмови працюючих модулів блоку живлення, ненадійність засобів комутації (підключення модулів холодного ковзного резерву у робочу конфігурацію, переключення навантаження на акумулятор), тривалість роботи акумулятора на навантаження, тривалість саморозряду та відмови обох акумуляторів, ефективність контролю та діагностики, ефективність ремонтного органу (своєчасне відновлення працездатності несправних модулів блоку живлення). Розроблена структурно-автоматна модель представлена у табл. 1, де вектор стану складають такі його компоненти: V1 – відображає поточну кількість працездатних модулів у робочій конфігурації блоку живлення; V2 – відображає поточну кількість працездатних модулів ковзного резерву блоку живлення; V3 – індикатор, що вказує на можливість наступного ремонту (ремонт можливий – 1; усі заплановані ремонти виконані, тобто наступний ремонт неможливий – 0); V4 – вказує, в якому стані перебуває перший акумулятор (акумулятор працює на навантаження – 1; акумулятор заряджений, але не підключений до навантаження – 2; акумулятор перебуває на заряджанні – 3; акумулятор непрацездатний (незаряджений або несправний – 4); V5 – вказує, в якому стані перебуває другий акумулятор (опис станів аналогічний V4).

Множину параметрів ДБЕЖ складають:

параметри блоку живлення: $M = M_{PK} + M_{KR}$ – загальна початкова кількість модулів блоку живлення; M_{PK} – початкова кількість модулів в робочій конфігурації блоку живлення; M_{KR} – початкова кількість модулів ковзного резерву; I_m – інтенсивність відмов одного модуля в блоці живлення;

параметри акумулятора (передбачено використання 2-х однотипних акумуляторів): $S_{ц}$ – кількість циклів заряд-розряд акумулятора; $T_{ЗА}$ – середнє значення

інтервалу часу, необхідного для заряджання акумулятора; $\lambda_{РПА}$ – інтенсивність розряджання працюючого акумулятора; $\lambda_{РНА}$ – інтенсивність розряджання непрацюючого акумулятора; λ_a – інтенсивність відмов акумулятора; $P_{ц}$ – ймовірність того, що порядковий номер поточного циклу заряд-розряд не перевищує передбачену кількість циклів для акумулятора;

параметри засобів контролю та діагностики: $P_{д}$ – ймовірність успішного виявлення втрати працездатності блоку живлення і локалізації несправного модуля в ньому; $T_{ПРМ}$ – тривалість діагностики блоку живлення;

параметр пристроїв перемикачів: $P_{ПМ}$ – ймовірність успішної комутації (переключення);

параметри ремонтного органу: S_p – кількість запланованих ремонтів для несправних модулів блоку живлення; $T_{рм}$ – середнє значення тривалості ремонту (заміни) несправного модуля блоку живлення.

При побудові структурно-автоматної моделі визначено базові події надійнісної поведінки відмовостійкої системи. Для кожної базової події визначено ситуації, в яких вона відбувається, формули розрахунку інтенсивностей базових подій (ФРІБП) та ймовірностей альтернативних переходів (ФРІАП), правила модифікації компонент вектора стану (ПКМВС), а також критерій катастрофічної відмови (ККВ).

Приклад розв'язання проектної задачі за допомогою розробленої моделі

Для розв'язання задачі визначення параметрів відмовостійкої системи, яка має забезпечити тривалість

Таблиця 1

Структурно-автоматна модель ДБЕЖ

Базові події	Умови і обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПКМВС			
1. Відмова модуля блоку живлення	1. (V1=Mrk) AND (V4=2)	$V1 \times \lambda_{LM}$	$P_{10} = P_{PM}$ $P_{11} = 1 - P_{PM}$	$V1 := V1 - 1; V4 := 1$ $V1 := V1 - 1;$			
	2. (V1=Mrk) AND (V5=2) AND ((V4=3) OR (V4=4))	$V1 \times \lambda_{LM}$	$P_{10} = P_{PM}$ $P_{11} = 1 - P_{PM}$	$V1 := V1 - 1; V5 := 1$ $V1 := V1 - 1$			
	3. (V1=Mrk) AND ((V4>2) OR (V5>2))	$V1 \times \lambda_{LM}$	1	$V1 := V1 - 1$			
2. Підключення модуля ковзного резерву в робочу конфігурацію	1. (V2>0) AND (V1<Mrk) AND (V4=1)	$1/T_{ПРМ}$	$P_{20} = P_{д} \times P_{PM}$ $P_{21} = 1 - P_{д} \times P_{PM}$	$V1 := V1 + 1; V2 := V2 - 1; V4 := 2$ $V2 := V2 - 1$			
	2. (V2>0) AND (V1<Mrk) AND (V5=1)	$1/T_{ПРМ}$	$P_{20} = P_{д} \times P_{PM}$ $P_{21} = 1 - P_{д} \times P_{PM}$	$V1 := V1 + 1; V2 := V2 - 1; V5 := 2$ $V2 := V2 - 1$			
3. Завершення розряджання 1-го акумулятора	1. (V4=1) AND (V5=2)	$\lambda_{РПА}$	$P_{310} = P_{ц} \times P_{PM}$	$V4 := 3; V5 := 1$			
			$P_{311} = P_{ц} \times (1 - P_{PM})$	$V4 := 3$			
			$P_{312} = (1 - P_{ц}) \times P_{PM}$	$V4 := 4; V5 := 1$			
	2. (V4=1) AND ((V5=3) OR (V5=4))	$\lambda_{РПА}$	$P_{320} = P_{ц}$	$V4 := 3$			
			$P_{321} = 1 - P_{320}$	$V4 := 4$			
			$P_{330} = P_{ц}$	$V4 := 3$			
3. (V4=2)	$\lambda_{РНА}$	$P_{331} = 1 - P_{330}$	$V4 := 4$				
		$P_{410} = P_{ц} \times P_{PM}$	$V5 := 3; V4 := 1$				
		$P_{411} = P_{ц} \times (1 - P_{PM})$	$V5 := 3$				
4. Завершення розряджання 2-го акумулятора	1. (V5=1) AND (V4=2)	$\lambda_{РПА}$	$P_{412} = (1 - P_{ц}) \times P_{PM}$	$V5 := 4; V4 := 1$			
			$P_{413} = (1 - P_{ц}) \times (1 - P_{PM})$	$V5 := 4$			
			$P_{420} = P_{ц}$	$V5 := 3$			
	2. (V5=1) AND ((V4=3) OR (V4=4))	$\lambda_{РПА}$	$P_{421} = 1 - P_{420}$	$V5 := 4$			
			$P_{430} = P_{ц}$	$V5 := 3$			
			$P_{431} = 1 - P_{430}$	$V5 := 4$			
5. Відмова 1-го акумулятора	1. (V4=1) AND (V5=2)	λ_a	$P_{50} = P_{PM}$	$V4 := 4; V5 := 1$			
			$P_{51} = 1 - P_{PM}$	$V4 := 4$			
			1	$V4 := 4$			
6. Відмова 2-го акумулятора	1. (V5=1) AND (V4=2)	λ_a	$P_{60} = P_{PM}$	$V5 := 4; V4 := 1$			
			$P_{61} = 1 - P_{PM}$	$V5 := 4$			
			1	$V5 := 4$			
7. Завершення заряджання 1-го акумулятора	(V4=3)	$1/T_{3A}$	1	$V4 := 2$			
			8. Завершення заряджання 2-го акумулятора	(V5=3)	$1/T_{3A}$	1	$V5 := 2$
						9. Відновлення несправного модуля блоку живлення	(((Mrk+Mkr) - (V1+V2)) > 0) AND V3=1
$P_{91} = 1/S_p$	$V2 := V2 + 1; V3 := 0$						
ККВ: (V1<Mrk) AND ((V4=2) OR (V4=3) OR (V4=4)) AND ((V5=2) OR (V5=3) OR (V5=4))							

безвідмовної роботи ДБЕЖ $T=15000$ годин, необхідно всю множину параметрів розділити на дві частини. В першу частину віднесені параметри, які слід задавати, виходячи з міркувань технічної доцільності. В другій частині залишаються параметри, які визначаються за допомогою моделі. В даному прикладі заданими параметрами є: кількість модулів у робочій конфігурації блоку живлення (M_{PK}); інтенсивність відмов модуля в блоці живлення (λ_m); кількість циклів заряд-розряд акумулятора ($S_{ц}$); тривалість заряджання акумулятора ($T_{ЗА}$); інтенсивність саморозрядження акумулятора (λ_{PNA}); інтенсивність відмов акумулятора (λ_a); тривалість діагностики блоку живлення ($T_{ПРМ}$); кількість запланованих ремонтів для несправних модулів блоку живлення (S_p); ймовірність успішного виявлення втрати працездатності блоку живлення і локалізації несправного модуля в ньому (P_d).

Шуканими (невідомими) параметрами є: кількість модулів ковзного резерву ($M_{КР}$); середнє значення тривалості роботи акумулятора на навантаження ($T_{РПА}$); середнє значення тривалості ремонту (заміни) несправного модуля блоку живлення (T_{PM}); ймовірність успішної комутації ($P_{ПМ}$).

Наступним кроком є визначення чутливості показника надійності ДБЕЖ (тривалість безвідмовної роботи) до зміни значень шуканих параметрів.

1. Дослідження залежності тривалості безвідмовної роботи від кількості модулів у ковзному резерві представлено в табл. 2 і на рис. 1.

З результатів, представлених на рис. 1, можна зробити висновок, що при поданих у табл. 2 параметрах ДБЕЖ найкращий виграш у надійності дає встановлення одного модуля ковзного резерву в порівнянні з ДБЕЖ без ковзного резервування (виграш у надійності майже у 10 разів). Встановлення двох модулів ковзного резерву незначно підвищує надійність ДБЕЖ, а встановлення трьох і більше модулів ковзного резерву, при заданих параметрах ДБЕЖ, практично не впливає на показники його надійності. Тому варто встановити лише 1 модуль ковзного холодного резерву ($M_{КР} = 1$).

З результатів, представлених на рис. 2, можна зробити висновок, що при поданих у табл. 3 параметрах ДБЕЖ зміна значення інтенсивності розряду працюючого на навантаження акумулятора у межах 0.01...12 (що відповідає діапазону тривалостей від 5 хв до 100 год.)

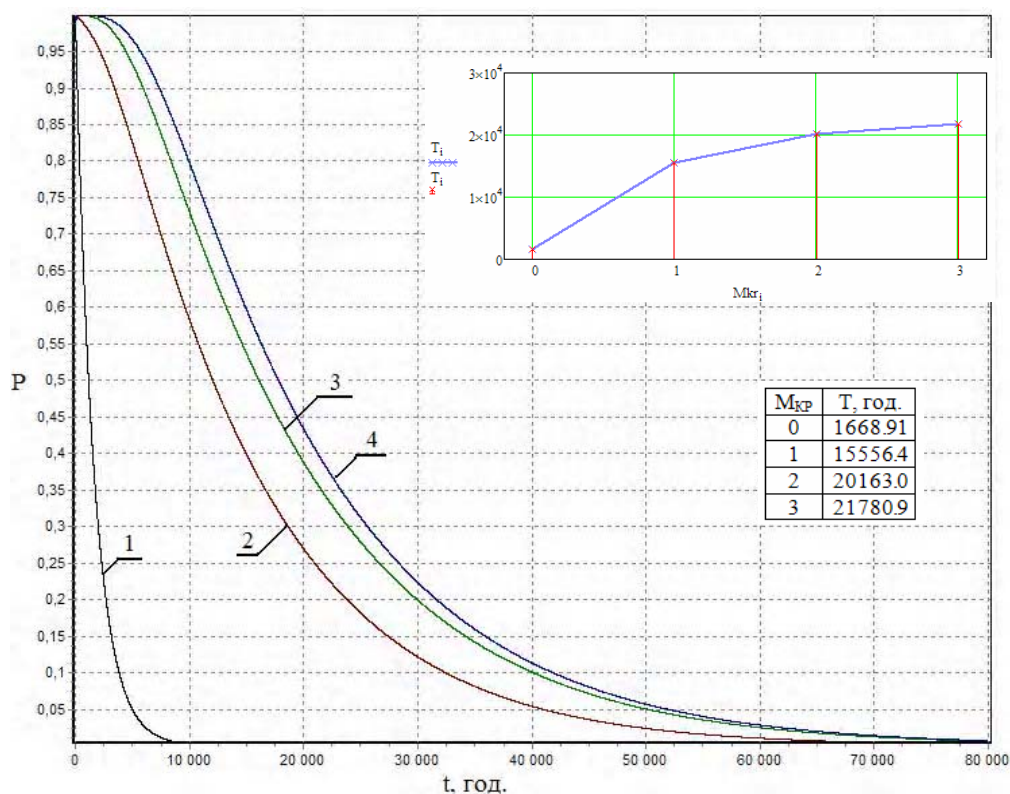


Рис. 1. Визначення чутливості тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ до зміни значення кількості модулів у ковзному резерві

Таблиця 2

Результати дослідження залежності тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ від кількості модулів у ковзному резерві

№	M_{PK}	$M_{КР}$	λ_m	$S_{ц}$	$T_{ЗА}$	λ_{PNA}	λ_{PNA}	λ_a	T_{PM}	S_p	$P_{ПМ}$	P_d	T
1	3	0	2e-4	300	3	1	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	1668.91
2	3	1	2e-4	300	3	1	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	15556.4
3	3	2	2e-4	300	3	1	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	20163.0
4	3	3	2e-4	300	3	1	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	21780.9

суттєво на показники надійності ДБЕЖ не впливає. Тому при заданих (вибраних) параметрах відмовостійкої системи ДБЕЖ немає потреби встановлювати акумулятори, які забезпечують високе значення тривалості роботи на навантаження.

2. Дослідження залежності показника надійності ДБЕЖ від значення інтенсивності розряду працюючого акумулятора представлено в табл. 3 і на рис. 2.

3. Дослідження залежності показників надійності ДБЕЖ від значення ймовірності успішного перемикання представлено в табл. 4 і на рис. 3.

4. Дослідження залежності показників надійності ДБЕЖ від значення середньої тривалості відновлення працездатності несправного модуля блоку живлення представлено в табл. 5 і на рис. 4.

З результатів, представлених на рис. 3, можна зробити висновок, що надійність ДБЕЖ сильно залежить від надійності засобів перемикання. Графік показує, що різниця між кривими 1 і 2 достатньо велика (по значеннях тривалості безвідмовної роботи надійність відрізняється приблизно у 2 рази).

При таких параметрах ДБЕЖ варто використовувати перемикачі з ймовірністю успішного перемикання 0.999 і вище ($P_{ПМ} = 0.999$).

З результатів, представлених на рис. 4, можна зробити висновок, що при поданих у табл. 5 параметрах ДБЕЖ зміна значення середньої тривалості ремонту несправного модуля не суттєво впливає на показники надійності ДБЕЖ у діапазоні зміни цього параметру від 1 до 48 годин. Але при поступовому зменшенні цього значення до середнього значення тривалості розряду

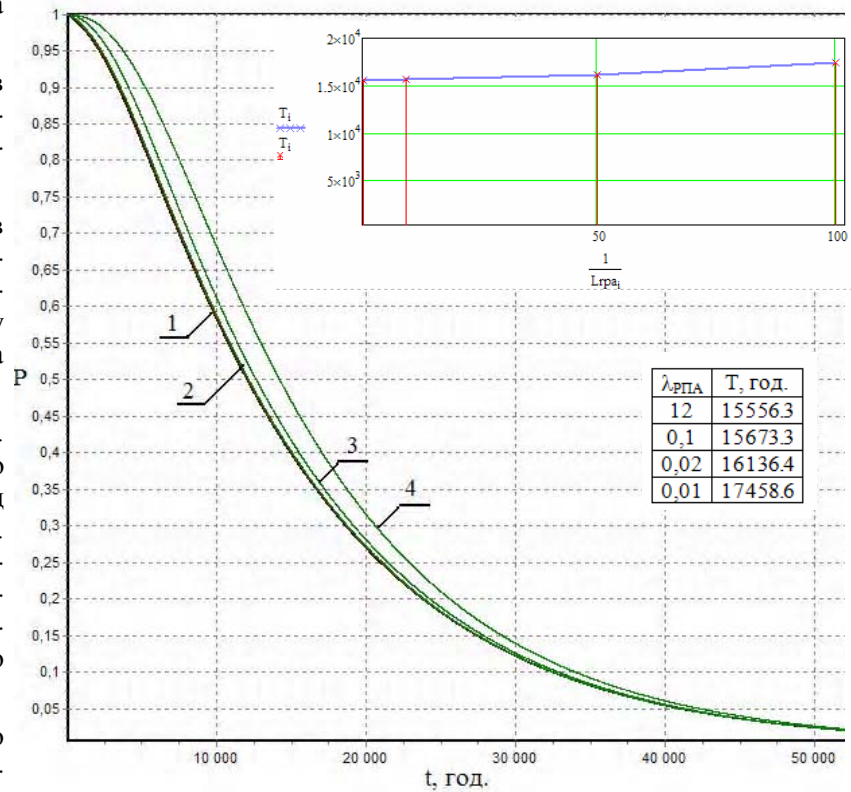


Рис. 2. Визначення чутливості тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ до зміни значення інтенсивності розряду акумулятора

Таблиця 3

Результати дослідження залежності тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ від значення інтенсивності розряду акумулятора

№	М _{РК}	М _{КР}	λ_m	S _ц	T _{ЗА}	$\lambda_{РПА}$	$\lambda_{РНА}$	λ_a	T _{РМ}	S _р	P _{ПМ}	P _д	T
1	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	15556.3
2	3	1	2e-4	300	3	0,1	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	15673.3
3	3	1	2e-4	300	3	0,02	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	16136.4
4	3	1	2e-4	300	3	0,01	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	17458.6

Таблиця 4

Результати дослідження залежності тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ від значення ймовірності успішного перемикання

№	М _{РК}	М _{КР}	λ_m	S _ц	T _{ЗА}	$\lambda_{РПА}$	$\lambda_{РНА}$	λ_a	T _{РМ}	S _р	P _{ПМ}	P _д	T
1	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.9	0.99999	6608.3
2	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.99	0.99999	13732
3	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.999	0.99999	15371
4	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	15556

Таблиця 5

Результати дослідження залежності тривалості безвідмовної роботи від значення середньої тривалості відновлення працездатності несправного модуля блоку живлення

№	М _{РК}	М _{КР}	λ_m	S _ц	T _{ЗА}	$\lambda_{РПА}$	$\lambda_{РНА}$	λ_a	T _{РМ}	S _р	P _{ПМ}	P _д	T
1	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	1	10	0.999	0.99999	18660
2	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	6	10	0.999	0.99999	18259
3	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	12	10	0.999	0.99999	17805
4	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	24	10	0.999	0.99999	16971
5	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.999	0.99999	15556

акумулятора на навантаження чутливість показників надійності ДБЕЖ до зміни значення середньої тривалості відновлення працездатності модуля блоку живлення зростає ($T_{PM} = 48$ год.).

З проведеного дослідження можна зробити висновок про те, що для того, щоб забезпечити тривалість безвідмовної роботи $T = 15000$ годин, варто вибрати 1 модуль ковзного резерву, так як саме перший модуль в резерві дає найбільший приріст надійності. Замість встановлення акумуляторів з великою тривалістю роботи на навантаження можна взяти акумулятор з цим показником на рівні 5-10 хв. Як надійний можна взяти перемикач з ймовірністю успішного перемикачання 0.999. Вимоги до ремонтного органу можна послабити через низьку чутливість надійності ДБЕЖ до середнього значення тривалості відновлення, при заданих параметрах відмовостійкої конфігурації ДБЕЖ, і встановити на рівні 48 годин (2 доби).

Висновки

Розроблена надійнісна модель джерела безперебійного електроживлення дозволяє вирішувати наведений вище перелік задач, які є актуальними при його проектуванні. Модель служить проектувант інструментом, за допомогою якого можна дати відповідь на питання про те, зміна якого з параметрів джерела дасть найбільший приріст надійності, і знайти значення параметрів представленої конфігурації відмовостійкої системи джерела безперебійного електроживлення для заданого показника його надійності.

Література: 1. *Виноградов П.Ю., Маракулин В.В., Никитин К.К., Патильх Н.Н., Шамсиев Б.Г.* Источники бесперебойного питания телекоммуникационных средств и вычислительной техники. Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Режим досту-

пу: <http://dvo.sut.ru/libr/sile/w026isbp/index.htm>. 2. *Барсков А.* Отказоустойчивые источники бесперебойного питания: модульные или моноблочные. 2009. Режим доступа: <http://www.iksnavigator.ru/vision/2910564.html>. 3. *Волочий Б.Ю.* Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. Львів: Вид-во Національного

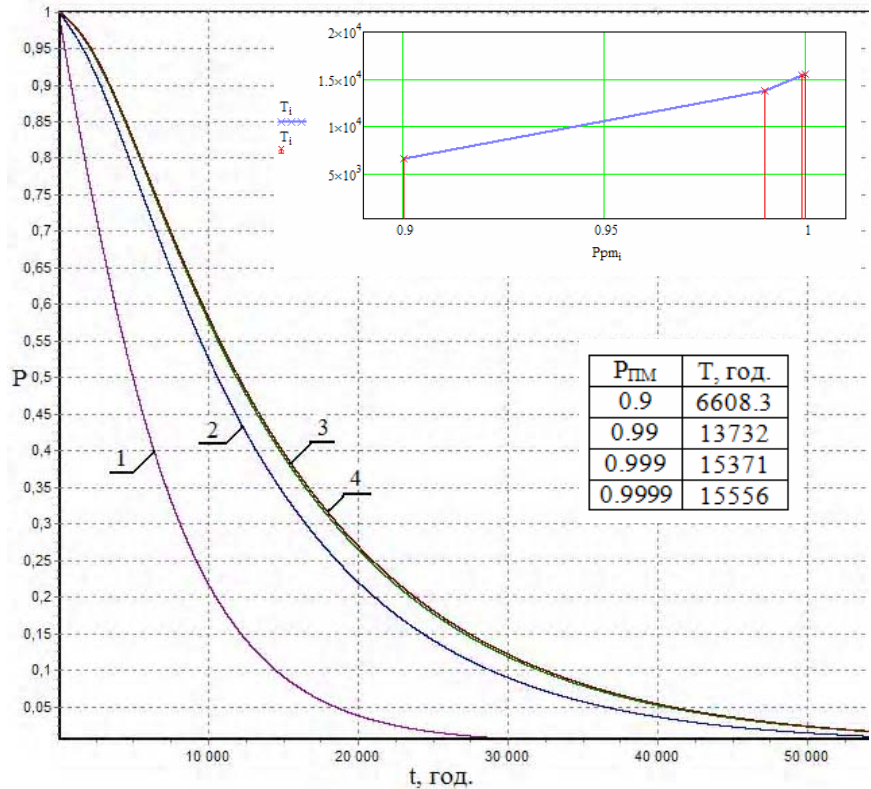


Рис. 3. Визначення чутливості тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ до зміни значення ймовірності успішного перемикачання

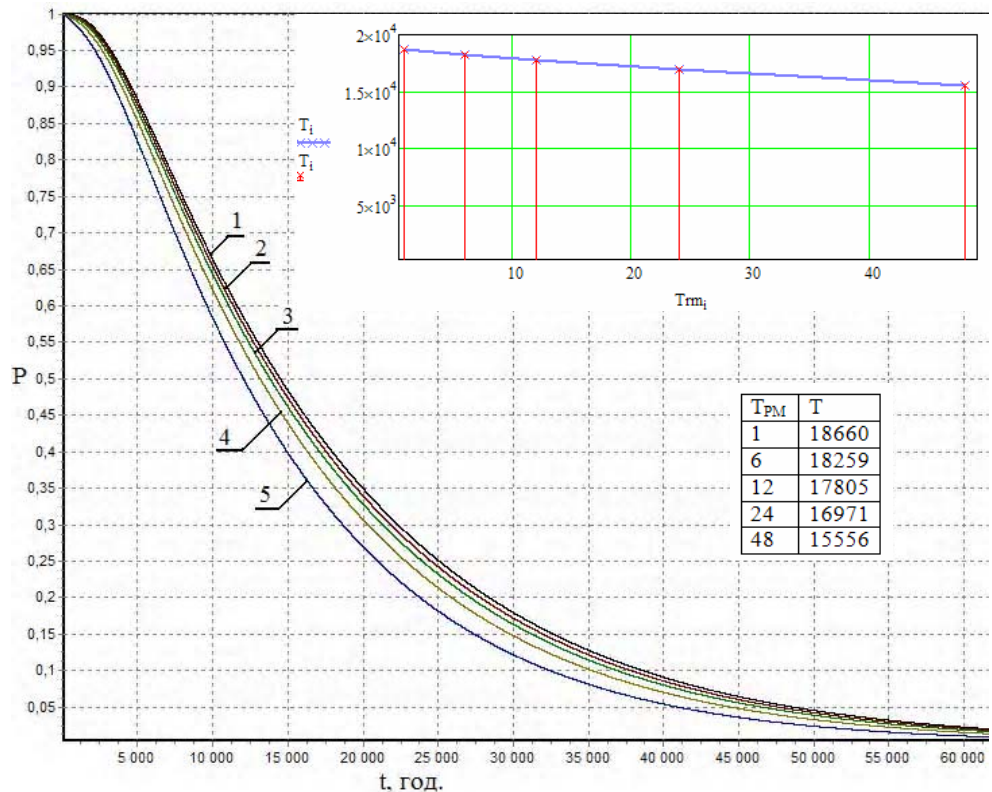


Рис. 4. Визначення чутливості тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ до зміни значення середньої тривалості відновлення працездатності несправного модуля блоку живлення

ун-ту «Львівська політехніка», 2004. 220 с. 4. *Неплохов И., Басов И.* Электроснабжение первой категории надежности и новая нормативная база по пожарной безопасности. 2009. Режим доступа: <http://articles.security-bridge.com/articles/101/12681/>. 5. *Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д., Муляк О.В., Гила В.Д.* Моделі для надійнісного проектування вузла пам'яті сервера та джерела безперебійного електроживлення // *Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник національного університету «Львівська політехніка»* №680. С. 206-216. 6. *Электроснабжение* центра обработки данных (ЦОД). Режим доступа: http://www.policom.ru/solution/engineering/power.php?sphrase_id=2533479. 7. Решения для повышения надежности систем ИБП – Абитех – Режим доступа: http://www.abitech.ru/solutions/improve_system_reliability_UPS.php. 8. Ed Spears Parallel UPS configurations – Eaton. 2009. Режим доступа: http://www.eaton.com/Electrical/USA/WhitePapers/idcplg?IdcService=GET_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Primary&dDocName=WP09-02. 9. *Еришов Г.А., Можяев А.С., Викторова В.С.* и др. Сравнительный анализ технологий деревьев отказов и автоматизированного структурно-логического моделирования, используемых для выполнения работ по вероятностному анализу безопасности АЭС и АСУТП на стадии проектирования. Отчёт о НИР. Санкт-Петербург, 2005. Режим доступа: http://www.szma.com/nir_00.pdf. 10. *Можяев А.С., Демидов Ю.Ф.* Алгоритмические основы технологии автоматизированного структурно-логического моделирования в задачах системного анализа надежности, безопасности и риска Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды международ-

ной научной школы МА БР – 2002 (Санкт-Петербург 2-5 июля, 2002). СПб.: Издательство «Бизнес-Пресса», 2002. С.106-119. 11. *Правила* устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. Режим доступа: <http://www.elec.ru/library/direction/pue.html>. 12. *Источники* бесперебойного питания (ИБП). Режим доступа: <http://www.powerinfo.ru/power-supply.php>. 13. *Каталог* продукции ООО Интеграл. Режим доступа: <http://integral.pp.ua/downloads1.html>. 14. *Системы* бесперебойного электропитания. N-Power. 2002. Режим доступа: http://www.230v.ru/_library/_refs/catalogues/2002/Catalogue-2002.pdf. 15. *Chris Loeffler* Maximizing UPS Availability – Eaton. 2011. Режим доступа: http://lit.powerware.com/ll_download_bylitcode.asp?doc_id=18350.

Поступила в редколлегию 20.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

Волочій Богдан Юрійович, д-р техн. наук, професор кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань, Національний університет «Львівська політехніка». Наукові інтереси: теорія і практика проектування структур та алгоритмів поведінки радіоелектронних інформаційних систем. Адреса: Україна, 79000, Львів, вул. Професорська, 2, тел. (032)258-21-56.

Кузнцов Дмитро Сергійович, аспірант кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань, Національний університет «Львівська політехніка». Наукові інтереси: відмовостійкі системи для джерел безперебійного електроживлення, удосконалення технології аналітичного моделювання відмовостійких систем. Адреса: Україна, 79000, Львів, вул. Професорська, 2, тел. (032) 258-21-56.