

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ПЕРЕХОДУ ВІД СТРАТЕГІЇ ОПЕРАТИВНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ДО СТРАТЕГІЇ ПЛАНОВОГО ВІДНОВЛЕННЯ

© Волочий Б.Ю., Кузнєцов Д.С., 2014

Розглянуто задачу визначення умов переходу від стратегії оперативного відновлення до стратегії планового відновлення відмовостійкого джерела безперебійного електроживлення зі збереженням його надійності. Необхідний рівень надійності забезпечується додаванням надлишкових елементів у структуру відмовостійкого джерела безперебійного електроживлення. При цьому обидві стратегії відновлення, якщо забезпечено однакові середні значення тривалостей безвідмовної роботи, володіють різними значеннями ймовірності відмови за заданої тривалості експлуатації. Для розв'язання поставленої задачі розроблено дві марковські моделі відмовостійкого джерела безперебійного електроживлення.

Ключові слова: джерело безперебійного електроживлення, відмовостійка система, технічне обслуговування, надійнісне проектування.

B. Yu. Volochiy, D. S. Kuznetsov

Lviv Polytechnic National University

DEFINITION OF CONDITIONS OF TRANSITION FROM CORRECTIVE RECOVERY TO PLANNED RECOVERY STRATEGY OF UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

© Volochiy B.Yu., Kuznetsov D.S., 2014

The problem of the conditions definition of the transition from the corrective recovery to the planned recovery strategy of an uninterruptible power supply, while a reliability is kept on the same level, is considered in this paper.

We consider the uninterruptible power supplies (UPS), which have a modular structure of the power supply unit (PSU). They are designed as a fault-tolerant systems (FTS) with $N+M$ and $2 \times (N+M)$ redundant configurations, where N - is number of the PSU modules required to power the workload, and M - the number of the redundant modules.

When there are the specific time intervals where an object, where the UPS is installed, is inaccessible, or there are problems with an access to it, it is reasonable to perform the transition from the corrective recovery (CR) to the planned recovery (PR) strategy of the UPS. In order to perform this, the parameters of the FTS and the recovery strategy must be defined. Those parameters must provide the equivalent UPS's reliability.

For the UPS with $N+M$ redundant configuration the CR strategy is applied (UPS № 1). The CR strategy is performing recovery immediately after the finding the fact that UPS reached threshold condition (but can be operable as well). From this moment begins the countdown of recovery procedure.

For an UPS with $2 \times (N+M)$ redundant configuration the PR strategy is applied (UPS № 2). It differs from the previous one in that the recovery procedure starts at the pre-determined scheduled time moments. In these time moments the condition of the UPS is compared with its threshold operable condition and a decision to send a repair crew to the

object is made. If the condition does not meet the threshold condition, the repair crew is not sent.

To solve this problem the models of fault-tolerant systems as the systems of Kolmogorov–Chapman differential equations had been developed. With its help, the dependence of the mean time of a failure-free operation (TFFO) of the UPS № 1 on the duration of the recovery of its components have been determined. For the input data, the periodicity values of the PR (TPER) for the UPS № 2, which provides the equivalent reliability with the UPS №1 by the TFFO index, have been determined. Though, those recovery strategies, while providing the same mean times of a failure-free operation, provide the different values of the probability of a failure for a given operation time.

Key words: uninterruptible power supply, fault-tolerant system, recovery, design for reliability.

Вступ. Основним методом підвищення надійності джерела безперебійного електроживлення (ДБЕЖ) і, одночасно, наділення його властивістю відмовостійкості є його проектування у вигляді відмовостійкої системи (ВС) з певною конфігурацією. Нормативними документами визначено рекомендації для підвищення надійності систем електроживлення, зокрема для ДБЕЖ, в яких подано типові конфігурації ВС [1, 2].

У проектуванні відмовостійких ДБЕЖ поширення набули змішане та комбіноване структурне резервування, реалізовані конфігураціями ВС (N+M) (рис. 1) і 2(N+M). Така назва конфігурацій означає, що робоче навантаження має забезпечуватися паралельною роботою N однотипних силових модулів блока живлення (БЖ). Крім того, передбачено M модулів, які є резервними.

Засобами моніторингу забезпечуються функції контролю стану працездатності ДБЕЖ загалом, локалізації непрацездатного модуля в БЖ, передавання сигналів для управління підключенням і відключенням складових ДБЕЖ, а також функція подачі сигналу про стан ДБЕЖ в ремонтну службу.

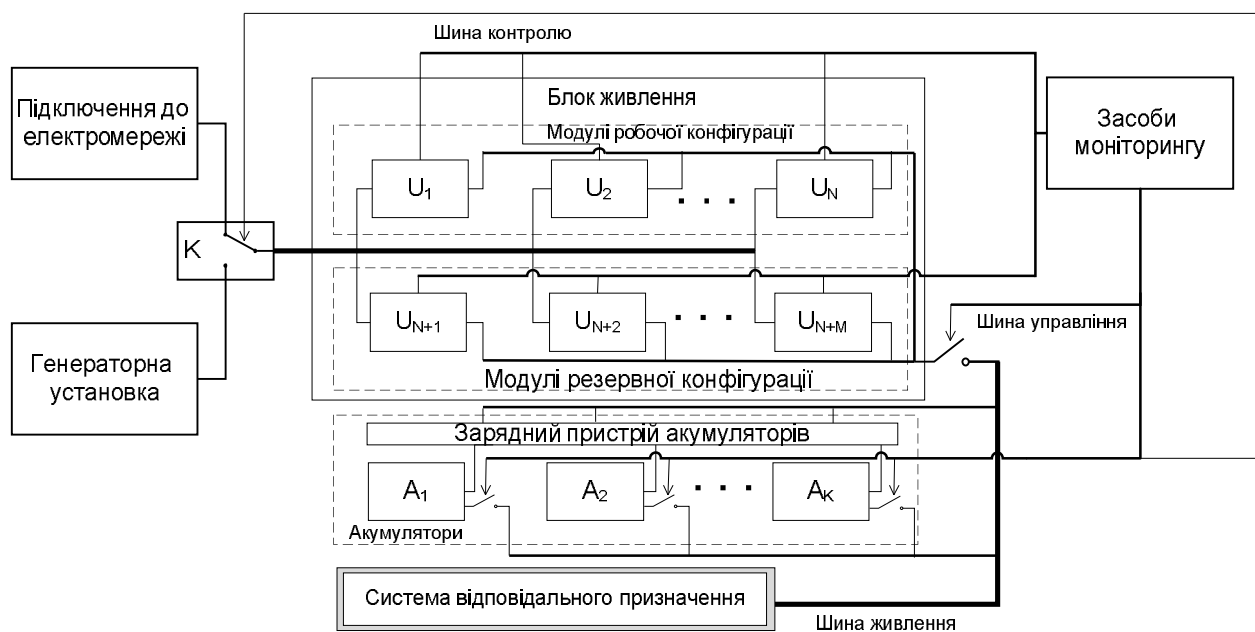


Рис. 1. Узагальнена структурно-функціональна схема відмовостійкого джерела безперебійного електроживлення

Для вирішення завдань, пов'язаних з проектуванням ВС для ДБЕЖ (вибір конфігурації ВС та її параметрів, вибір стратегії відновлення та її параметрів), проєктант повинен мати у розпорядженні математичні моделі ДБЕЖ високого ступеня адекватності, в яких детально представлені конфігурація ВС і стратегія відновлення працездатності.

Такі моделі відмовостійких ДБЕЖ дають змогу отримувати достовірні показники надійності й забезпечують можливість вирішення завдань надійнісного параметричного синтезу відмовостійких ДБЕЖ методом багатоваріантного аналізу. Разом з цим забезпечена можливість кількісно оцінювати зміни надійності відмовостійкого ДБЕЖ у разі зміни параметрів відновлення працездатності його складових, що актуально на етапі експлуатації.

Стратегії відновлення відмовостійкого джерела безперебійного електроживлення. Для ДБЕЖ передбачається відновлення працездатності його складових, яке полягає в заміні непрацездатних модулів БЖ і акумуляторів. У статті розглядаються дві стратегії відновлення складових ДБЕЖ: оперативне відновлення (ОВ) і планове відновлення (ПВ).

У кожній стратегії відновлення передбачений аварійний виїзд ремонтної бригади за умови, що ДБЕЖ втратило працездатність. При цьому здійснюється заміна всіх несправних складових ДБЕЖ.

Стратегія ОВ полягає в тому, що безпосередньо після встановлення факту досягнення відмовостійким ДБЕЖ порогового ще працездатного стану надходить сигнал у ремонтну службу. З цього моменту починається відлік часу відновлення. Параметром цієї стратегії є середнє значення тривалості відновлення, в яку входить час на дорогу до об'єкта, де встановлене ДБЕЖ, і час на виконання відновлювальних робіт. Модифікації цієї стратегії відрізняються кількістю передбачених заміन непрацездатних модулів і акумуляторів, максимальною кількістю виконуваних замін за одне відвідування об'єкта ремонтною бригадою, а також пороговим станом ДБЕЖ, з якого починається процедура відновлення.

Стратегія ПВ ДБЕЖ відрізняється від попередньої тим, що процедура відновлення починається в заздалегідь визначені за графіком моменти часу. У ці моменти часу стан відмовостійкого ДБЕЖ порівнюється з його граничним працездатним станом і приймається рішення про виїзд ремонтної бригади на об'єкт. Якщо стан ДБЕЖ не відповідає пороговому працездатному стану, то ремонтна бригада не виїжджає. Необхідність наступного планового виїзду ремонтної бригади визначатиметься згідно з графіком. Стратегія ПВ для конкретного ДБЕЖ складається з чотирьох фаз. Перша фаза – це робота ДБЕЖ (з повністю справним БЖ або з наявністю несправних його складових) до запланованого моменту часу, коли ініціюється процедура відновлення. Друга фаза – це слідування ремонтної бригади на об'єкт, де встановлене ДБЕЖ. Третя і четверта фази – це заміна модулів БЖ і акумуляторів відповідно. Кожна фаза характеризується своєю тривалістю. Модифікації цієї стратегії ідентичні попередній.

Постановка задачі. В умовах, коли існують часові проміжки, в яких доступ до об'єкта, де встановлений ДБЕЖ, обмежений, потрібно визначити умови переходу від стратегії ОВ до стратегії ПВ ДБЕЖ. Для цього потрібно визначити параметри ВС і відновлення, за яких зберігається аналогічний рівень надійності ДБЕЖ. При цьому необхідно врахувати, що кількість передбачених відновлень для модулів БЖ і акумуляторів обмежена.

Відомі математичні моделі ВС [3–7], що використовуються для вирішення завдань надійнісного аналізу, в яких враховується відновлення працездатності складових ВС, мають рівень адекватності, який не дозволяє застосовувати їх для розв'язання поставленої задачі. В цих моделях не враховуються особливості стратегії відновлення, якщо досліджується її вплив на показники надійності; не враховується наявність відновлюваних і невідновлюваних складових. Тому, щоб вирішити завдання визначення умов переходу зі стратегії ОВ на стратегію ПВ ДБЕЖ, необхідно спочатку розробити моделі відмовостійких систем з урахуванням відновлення, з вищим, ніж у наявних моделей, рівнем адекватності.

У цій статті розглядаються варіанти реалізації відмовостійких ДБЕЖ з використанням змішаного резервування, реалізовані конфігураціями ВС $(N+M)$ і $2(N+M)$. Далі показано розв'язання задачі, коли для переходу використовується заміна відмовостійкого ДБЕЖ № 1 на ДБЕЖ № 2.

1. Відмовостійке ДБЕЖ № 1 має конфігурацію $(N+M)$, з навантаженим постійним резервуванням модулів БЖ і 1 акумулятором, який забезпечує загальне резервування БЖ. Після

відмови модуля відбувається підвищення навантаження на решту модулів. Акумулятор завжди в зарядженому стані, оскільки автоматично заряджається, коли падає рівень його заряду. Для цього варіанта реалізації ДБЕЖ застосована стратегія ОВ.

Пороговим працездатним станом ДБЕЖ вважається такий, за якого БЖ непрацездатний, тобто кількість працездатних модулів БЖ, які працюють на навантаження, менша від необхідної кількості N , а електроживлення системи забезпечує працездатний акумулятор. Або навпаки, БЖ справний, а акумулятор відмовив. За одну процедуру відновлення працездатності ДБЕЖ замінюються всі непрацездатні модулі БЖ або акумулятор.

2. Відмовостійке ДБЕЖ № 2 є продубльованим варіантом ДБЕЖ № 1, причому один з БЖ виконує роль основного, а другий – резервного, забезпечуючи ненавантажене загальне резервування основного БЖ. Однак, якщо ДБЕЖ потрапляє в стан, коли обидва БЖ окремо не можуть забезпечити живлення робочого навантаження, а їх спільна паралельна робота дає змогу це зробити, то всі справні модулі резервного БЖ підключаються до основного і починають працювати на навантаження. Два акумулятори забезпечують двократне загальне резервування БЖ. Для такого ДБЕЖ передбачена стратегія ПВ. У визначений періодом ПВ момент визначається необхідність виїзду ремонтної бригади на об'єкт. Виїзд на об'єкт і відповідно початок процедури відновлення працездатності складових ДБЕЖ відбувається в двох ситуаціях, які визначають пороговий працездатний стан ДБЕЖ. У першій ситуації роботу системи ще забезпечує працездатний БЖ або акумулятор (другий акумулятор працездатний). При цьому кількість модулів, що потребують відновлення, більша від $(N+2M-1)$. У другій ситуації один або обидва акумулятори потребують заміни, а роботу системи забезпечує БЖ. Разом з акумулятором проводиться заміна наявних непрацездатних модулів. Якщо ці ситуації на поточний момент ПВ ще не виникли, то запланований виїзд ремонтної бригади відміняється. Рішення про необхідність наступного запланованого виїзду ремонтної бригади приймається у визначений періодом ПВ момент.

В обох ситуаціях за одну процедуру відновлення ДБЕЖ проводиться заміна всіх його непрацездатних складових. Якщо ДБЕЖ втрачає працездатність між процедурами планового відновлення, то використовується аварійне відновлення (аварійний виїзд ремонтної бригади).

Умова працездатності відмовостійких ДБЕЖ для описаних вище варіантів їх реалізації формулюється так: кількість працездатних модулів БЖ, які працюють на навантаження, має бути більшою або дорівнювати N , або на навантаження працює акумулятор.

Визначення умов переходу від стратегії оперативного відновлення до стратегії планового відновлення відмовостійкого джерела безперебійного електроживлення. Для розв'язання поставленої задачі розроблено надійнісні моделі відмовостійких ДБЕЖ № 1 та № 2 з використанням для них під час експлуатації стратегій ОВ і ПВ. Детально процес надійнісного моделювання ВС ДБЕЖ № 1 розглянуто в [8, 9]. Розроблення моделей проводилося з використанням технології моделювання, представленої в [10].

Для забезпечення необхідного рівня адекватності в розроблених надійнісних моделях відмовостійких ДБЕЖ враховано такі параметри ДБЕЖ та стратегії відновлення:

Ø параметри блока живлення: N – початкова кількість модулів у робочій конфігурації блока живлення; M – початкова кількість модулів навантаженого резерву; λ_{MF} – інтенсивність відмов одного модуля в БЖ; K_L – поправковий коефіцієнт для інтенсивності відмов модуля БЖ, що враховує вплив рівня його навантаження;

Ø параметри акумуляторів: S_C – максимальна кількість циклів заряд-розряд акумулятора; T_{AC} – тривалість заряджання акумулятора; T_{AD} – тривалість розряду акумулятора, що працює на навантаження; T_{ASD} – тривалість саморозряду акумулятора (для конфігурації ВС без автоматичного підзаряджання акумуляторів); λ_{AF} – інтенсивність відмов акумулятора; K_A – кількість акумуляторів;

Ø параметри стратегій відновлення: S_{MR} – кількість запланованих замін несправних модулів БЖ; S_{AR} – кількість запланованих замін несправних акумуляторів; T_R – тривалість відновлення працездатності несправного модуля БЖ або акумулятора при ОВ (об'єднує затрати часу на

формування ремонтної бригади та на її слідування до об'єкта); T_{PER} – тривалість періоду між проведеннями ПВ ДБЕЖ; T_{ARR} – час перебування ремонтної бригади в дорозі до об'єкта, де встановлено ДБЕЖ, за стратегії ПВ; T_{RP} – тривалість відновлення працездатності модуля БЖ або акумулятора за стратегії ПВ;

Ø параметр засобів моніторингу: P_D – ймовірність успішного виявлення порушення працездатності одного з БЖ у варіанті ДБЕЖ № 2 та формування сигналу для перемикання навантаження на справний БЖ;

Ø параметр засобів комутації: P_{SW} – ймовірність успішної комутації, в ДБЕЖ за умови надходження сигналу від засобів моніторингу.

Параметри конфігурації ВС для обох варіантів реалізації ДБЕЖ в цьому дослідженні представлені в табл.1.

Таблиця 1

Параметри досліджуваних відмовостійких джерел безперебійного електроживлення і стратегій відновлення

№ вар. ДБЕЖ	N	M	K_L	$I_{MF, год}^{-1}$	S_C	$T_{AC, год}$	K_A	$T_{AD, год}$		
ДБЕЖ № 1	2	1	0.67	$3 \cdot 10^{-5}$	800	90	1	60		
ДБЕЖ № 2	2	1	0.67	$3 \cdot 10^{-5}$	800	7.5	2	5		
№ вар. ДБЕЖ	$I_{AF, год}^{-1}$	P_{SW}	P_D	S_{AR}	S_{MR}			$T_{ARR, год}$	$T_{RP, год}$	
ДБЕЖ № 1	10^{-6}	-	-	3	10			-	-	
ДБЕЖ № 2	10^{-6}	0.999	0.99999	3	3	4	5	6	2	4

Надійнісна модель першого варіанта ДБЕЖ у вигляді графа налічує 36 станів і 84 переходи і представлена системою диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена (1). Надійнісна модель другого варіанта ДБЕЖ зі стратегією ПВ у вигляді графа налічує 512 станів і 2437 переходів.

Для вирішення завдання визначення умов переходу від стратегії ОВ до стратегії ПВ визначено залежність середнього значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ № 1 TFFO від тривалості відновлення працездатності його складових (рис. 2).

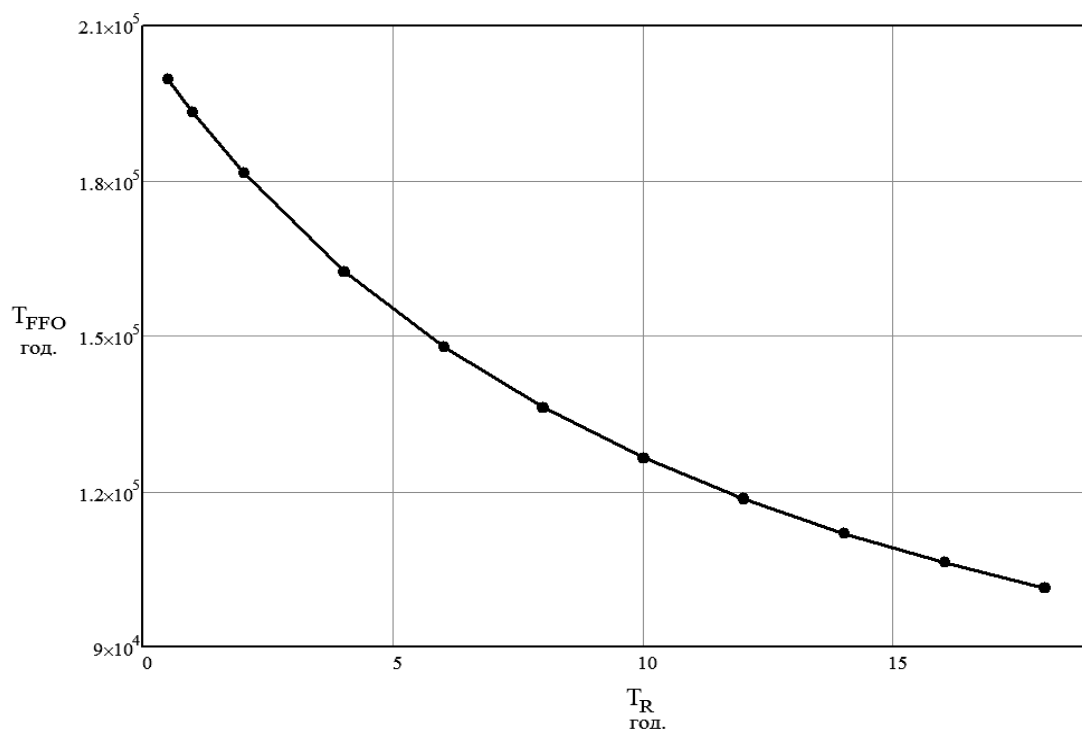


Рис. 2. Залежність тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ № 1 від тривалості відновлення працездатності (заміни) модулів блока живлення або акумуляторів

Для вихідних даних, наведених в табл. 1, були визначені значення періодичності відновлення T_{PER} для ДБЕЖ № 2, за яких досягається однакова надійність з ДБЕЖ № 1 за показником “середнє значення тривалості безвідмовної роботи” (рис. 2). Результати розв'язання задачі визначення умов переходу від стратегії ОВ до стратегії ПВ ДБЕЖ подано в табл. 2, де:

1) в затонованих рядках подано значення T_R для ОВ та відповідні їм підібрані значення періодичностей проведення ПВ за різних значень S_{MR} , які забезпечують однакову надійність ДБЕЖ з ОВ;

2) в незатонованих рядках наведено числові значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ (T_{FFO}), які забезпечуються ОВ (за різних T_R) або ПВ (за різних значень S_{MR} і періодичності ПВ).

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(N \cdot I_{MF} + I_{AF}) \cdot P_1(t) + \frac{S_{MR} - 1}{T_R \cdot S_{MR}} P_2(t) + \frac{1}{T_{AC}} P_7(t); \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= N \cdot I_{MF} \cdot P_1(t) - N \cdot I_{MF} \cdot P_2(t) - I_{AF} \cdot P_2(t) - \frac{S_{MR} - 1}{T_R \cdot S_{MR}} P_2(t) - \frac{1}{T_R \cdot S_{MR}} P_2(t) + \\
 &+ \frac{S_{MR} - 1}{T_R \cdot S_{MR}} P_4(t) + \frac{1}{T_{AC}} P_{13}(t); \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} &= I_{AF} \cdot P_1(t) - N \cdot I_{MF} \cdot P_3(t) - \frac{S_{AR} - 1}{T_R \cdot S_{AR}} P_3(t) - \frac{1}{T_R \cdot S_{AR}} P_3(t) + \frac{1}{T_R \cdot S_{MR}} P_5(t) + \\
 &+ L_{AF} \cdot P_7(t); \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} &= N \cdot I_{MF} \cdot P_2(t) - \frac{S_C - 1}{T_{AD} \cdot S_C} P_4(t) - \frac{1}{T_{AD} \cdot S_C} P_4(t) - I_{AF} \cdot P_4(t) - \frac{S_{MR} - 1}{T_R \cdot S_{MR}} P_4(t) - \\
 &- \frac{1}{T_R \cdot S_{MR}} P_4(t); \\
 \frac{dP_5(t)}{dt} &= I_{AF} \cdot P_2(t) + N \cdot I_{MF} \cdot P_3(t) - N \cdot I_{MF} \cdot P_5(t) - \frac{S_{MR} - 1}{T_R \cdot S_{MR}} P_5(t) - \frac{1}{T_R \cdot S_{MR}} P_5(t) - \\
 &- \frac{S_{AR} - 1}{T_R \cdot S_{AR}} P_5(t) - \frac{1}{T_R \cdot S_{AR}} P_5(t) + I_{AF} \cdot P_{13}(t); \\
 \frac{dP_6(t)}{dt} &= \frac{1}{T_R \cdot S_{MR}} P_2(t) - N \cdot I_{MF} \cdot P_6(t) - I_{AF} \cdot P_6(t) + \frac{1}{T_{AC}} P_{19}(t); \\
 \frac{dP_7(t)}{dt} &= \frac{S_{AR} - 1}{T_R \cdot S_{AR}} P_3(t) - N \cdot I_{MF} \cdot P_7(t) - I_{AF} \cdot P_7(t) - \frac{1}{T_{AC}} P_7(t) + \frac{S_{MR} - 1}{T_R \cdot S_{MR}} P_{13}(t); \\
 &\dots\dots\dots \\
 \frac{dP_{36}(t)}{dt} &= N \cdot I_{MF} \cdot P_{34}(t) - \frac{S_C - 1}{T_{AD} \cdot S_C} P_{36}(t) - \frac{1}{T_{AD} \cdot S_C} P_{36}(t) - I_{AF} \cdot P_{36}(t);
 \end{aligned} \tag{1}$$

Варіанти умов, коли надійність ДБЕЖ № 2 (планове відновлення) відповідає надійності ДБЕЖ № 1 (оперативне відновлення), можна встановити значення T_{FFO} при ОВ і при ПВ в кожному стовпчику табл. 2.

Порівнюючи стратегії, необхідно також враховувати параметр ймовірність виникнення аварійної ситуації P_{CF} для заданого значення тривалості експлуатації. Цей параметр визначає ймовірність аварійного виїзду ремонтної бригади.

**Варіанти умов забезпечення однакової надійності обох конфігурацій ВС
з оперативним і плановим відновленням**

$T_{R(N+M)}$, ГОД.		0.5	1	2	4	6	
$T_{FFO(N+M)}$, ГОД.		199663	193188	181593	162701	148006	
$S_{MR}=6$	$T_{PER(2 \times (N+M))}$, ГОД.	1656	3996	7200	13032	19224	
	$T_{FFO(2 \times (N+M))}$, ГОД.	199765	193174	181595	162659	147954	
$S_{MR}=5$	$T_{PER(2 \times (N+M))}$, ГОД.	-	-	2880	10080	16560	
	$T_{FFO(2 \times (N+M))}$, ГОД.	-	-	181529	162788	148012	
$S_{MR}=4$	$T_{PER(2 \times (N+M))}$, ГОД.	-	-	-	5616	12960	
	$T_{FFO(2 \times (N+M))}$, ГОД.	-	-	-	162742	147910	
$S_{MR}=3$	$T_{PER(2 \times (N+M))}$, ГОД.	-	-	-	-	7250	
	$T_{FFO(2 \times (N+M))}$, ГОД.	-	-	-	-	147976	
$T_{R(N+M)}$, ГОД.		8	10	12	14	16	18
$T_{FFO(N+M)}$, ГОД.		136275	126706	118756	112050	106318	101364
$S_{MR}=6$	$T_{PER(2 \times (N+M))}$, ГОД.	26280	34560	45000	57600	74880	97920
	$T_{FFO(2 \times (N+M))}$, ГОД.	136262	126794	118693	112144	106275	101354
$S_{MR}=5$	$T_{PER(2 \times (N+M))}$, ГОД.	23760	32112	42624	55440	72000	95760
	$T_{FFO(2 \times (N+M))}$, ГОД.	136264	126788	118669	112048	106414	101320
$S_{MR}=4$	$T_{PER(2 \times (N+M))}$, ГОД.	20304	29000	39250	52400	69000	92800
	$T_{FFO(2 \times (N+M))}$, ГОД.	136338	126635	118776	111997	106378	101294
$S_{MR}=3$	$T_{PER(2 \times (N+M))}$, ГОД.	15600	24500	34950	48000	65000	88250
	$T_{FFO(2 \times (N+M))}$, ГОД.	136219	126639	118746	112055	106321	101357

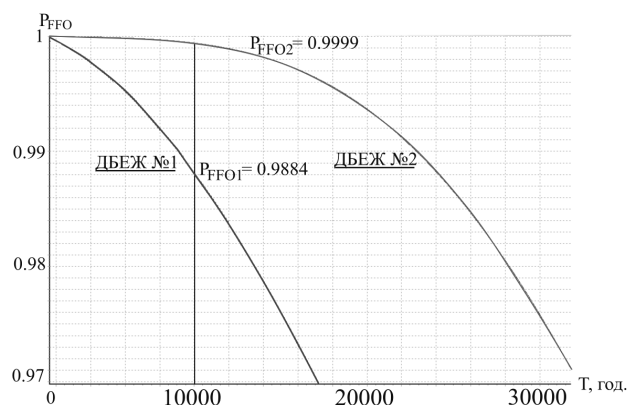


Рис. 3. Залежність ймовірності безвідмовної роботи від тривалості експлуатації для ДБЕЖ зі стратегіями оперативного і планового відновлення

Визначені залежності ймовірності безвідмовної роботи ($P_{FFO}(t)$) для варіанта ДБЕЖ № 1 з параметром $T_R = 6$ год, і для варіанта ДБЕЖ № 2 з параметрами $S_{MR}=6$ і $T_{PER}=19224$ год подано на рис. 3. Там також вказана різниця між значеннями ймовірностей виникнення аварійної ситуації на інтервалі експлуатації $T = 10000$ год у разі переходу від стратегії оперативного відновлення джерела безперебійного електроживлення до стратегії планового відновлення.

Висновки. Розглянутий приклад ілюструє методику розв'язання задачі визначення умов переходу від стратегії оперативного відновлення джерела безперебійного електроживлення до стратегії планового відновлення. Для поданих в табл. 1 вихідних даних умови переходу режиму роботи ремонтної служби від стратегії оперативного відновлення до стратегії планового відновлення такі: конфігурацію ВС $N+M$ необхідно замінити на $2(N+M)$ і встановити режим роботи ремонтної служби, вибравши будь-яку

прийнятну пару параметрів S_{MR} , $T_{PER(2 \times (N+M))}$ з табл. 2, які задовольняють умову збереження середнього значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ.

Зауважимо, що у разі такого переходу істотно знижується ймовірність виникнення аварійних ситуацій (в наведеному прикладі з $P_{CF1}=0.0116$ при ОВ до $P_{CF2}=0.0001$ при ПВ, показано на рис. 3). Цей результат свідчить про те, що з переходом від ОВ до ПВ істотно зменшується кількість аварійних виїздів ремонтної бригади.

Розроблені моделі відмовостійких джерел безперебійного електроживлення систем відповідального призначення і запропонована методика дають змогу виконувати розрахунок умов переходу від стратегії оперативного відновлення до стратегії планового відновлення для вихідних даних користувача. Наступна задача, яка потребує дослідження, – економічна оцінка доцільності такого переходу.

1. *Правила устройства электроустановок.* – Харків: Форт, 2009. – 704 с. 2. *Стандарт ТІА/ЕІА 942 “Телекоммуникационная инфраструктура центров обработки данных.”* – 2006. – 151 с. 3. *Капитанов В.А. Теория надежности сложных систем (теория и практика) / В.А. Капитанов, А.И. Медведев.* – М.: Европейский центр по качеству, 2002. – 470 с. 4. *Креденцер Б.П. Технічне обслуговування систем з почасовою надлишковістю / Б.П. Креденцер, С.В. Ленков, А.И. Міночкін, Д.И. Могилевич, М.И. Резников* – К.: Військовий інститут телекомунікацій і інформатизації Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, 2009. – 172 с. 5. *Розуліна Л.Г. Анализ надежности систем электропитания телекоммуникационного оборудования / Розуліна Л.Г. // Вестник ТГТУ.* – 2010. – Том 16. № 3. – С.698–703. 6. *Теория вероятностей: резервирование и время безотказной работы ЦОД [Електронний ресурс].* – Режим доступу: <http://telecomblgger.ru/5204> 7. *McCarthy K. Comparing UPS system design configurations: White Paper. Rev. 3 [Електронний ресурс] / McCarthy K., Avelar V.* – 2011. – 27 с. – Режим доступу: http://www.apcmedia.com/salestools/SADE-5TPL8X/S_ADE-5TPL8X_R3_EN.pdf 8. *Мандзий Б.А. Сравнение надежности источников бесперебойного электропитания с нагруженными и ненагруженными резервными модулями / Б.А. Мандзий, Б.Ю. Волочий, Л.Д. Озирковский, Д.С. Кузнецов // Надежность и качество. Труды международного симпозиума / Под ред. Н.К. Юркова.* – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2013, Т.1. – С. 132–135. 9. *Мандзий Б.А. Надежностное проектирование отказоустойчивых систем с комбинированным структурным резервированием для источников бесперебойного электропитания / Б.А. Мандзий, Б.Ю. Волочий, Д.С. Кузнецов // Надежность и качество. Труды международного симпозиума / под ред. Н.К. Юркова.* – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2012, Т.1. – С. 358 – 361. 10. *Волочий Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем / Б.Ю. Волочий.* – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2004. – 220 с.