

electroslag remelting in DC smelters.

The use of modern means, while determining the basic physical and chemical characteristics of wastes from the production of FeSi (chemical and granulometric composition, humidity, bulk density, flowability, etc.) allowed the formation of charge composition (wastes + bonding materials) to conduct research on its briquetting.

The experimental studies on wastes briquetting from the production of ferrosilicon with bonding materials were conducted. The compressible materials included dust from the smelting of ferrosilicon in furnaces of battery type, dust, caught in dust and gas cleaning units, and an organic additive. Pellets were obtained; their mechanical strength was determined.

The suggested method of obtaining the waste briquettes and their use while smelting FeSi will increase economic indicators of production and at the same time will improve the environmental situation in the area where an enterprise is located.

**Keywords:** wastes, dust, ferrosilicon, bonding material, briquetting, strength, DC smelter

Об'єктами розгляду в статті є дві модифікації відмовостійкої системи для джерел безперебійного електроживлення з конфігураціями  $(N+M)$  та  $2 \times (N+M)$ , для яких передбачено профілактичне технічне обслуговування. Подані надійнісні моделі для обох конфігурацій відмовостійких систем джерел безперебійного електроживлення, які дозволяють дослідити залежність їх надійності від періодичності профілактичного технічного обслуговування

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

Объектами рассмотрения в статье являются две модификации отказоустойчивой системы для источников бесперебойного электропитания с конфигурациями  $(N+M)$  и  $2 \times (N+M)$ , для которых предусмотрено профилактическое техническое обслуживание. Представлены надёжные модели для обеих конфигураций отказоустойчивых систем источников бесперебойного электропитания, которые позволяют исследовать зависимость их надёжности от периодичности профилактического технического обслуживания

Ключевые слова: источник бесперебойного электропитания, техническое обслуживание, смешанное резервирование, отказоустойчивая система, надёжное проектирование

УДК 621.311.68

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОФІЛАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НА НАДІЙНІСТЬ ВІДМОВОСТІЙКОГО ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

**Б. А. Мандзій**

Доктор технічних наук, професор\*

E-mail: bmandziy@polynet.lviv.ua

**Б. Ю. Волочій**

Доктор технічних наук, професор\*

Контактний тел.: 063-758-91-84

E-mail: bvolochiy@ukr.net

**Л. Д. Озірковський**

Кандидат технічних наук, доцент\*

Контактний тел.: 067-673-34-45

E-mail: l.ozirkovsky@gmail.com

**Д. С. Кузнєцов**

Аспірант\*

Контактний тел.: 063-167-35-23

E-mail: 111dk111@mail.ru

**І. В. Кулик**

Асистент\*

Контактний тел.: 098-919-47-70

E-mail: kulyk.iw@gmail.com

\*Кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювання  
Національний Університет «Львівська Політехніка»  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79000

## 1. Вступ

Показники надійності є вагомими при виборі джерел безперебійного електроживлення (ДБЕЖ). Необхідність забезпечення безперебійного електроживлення обумовлюється тим, що простій у роботі по причині відсутності електроживлення для підприємств різного типу веде до матеріальних втрат [1]. Тому надійності ДБЕЖ приділяється велика увага. У ряді публікацій [1, 2] визначаються вимоги до надійності ДБЕЖ та подаються рекомендації щодо її забезпечення. Одним з найпоширеніших способів забезпечення високої надійності ДБЕЖ є їх проектування у вигляді відмовостійкої системи (ВС) з відповідною конфігурацією. В практиці поширення набули конфігурації ВС  $(N+M)$  або  $2 \times (N+M)$ , що відповідає змішаному типу резервування. Разом із цим для забезпечення високого рівня надійності ДБЕЖ передбачено їх технічне обслуговування (ТО), яке може забезпечуватися стратегіями профілактичного, аварійного або комбінованого відновлення.

## 2. Постановка задачі

Забезпечення високого рівня надійності ДБЕЖ може досягатися різними шляхами: використанням більш надійної елементної бази, введенням більшої кількості надлишковості, технічним обслуговуванням. Метою даного дослідження є визначення впливу профілактичного технічного обслуговування на показники надійності ДБЕЖ у вигляді залежностей середнього значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ від періодичності профілактичного технічного обслуговування. Вирішення такої задачі є можливим при наявності у розпорядженні проектанта надійнісних моделей для кожної з ВС, які підлягають проектуванню. Ступінь адекватності таких моделей має визначатись тим, що в них має бути враховано структуру ВС, її поведінку при появі відмови та стратегію ТО. Одним з відомих методів аналізу надійності складних систем є метод простору станів, який полягає в розробці моделі ВС у вигляді графа станів та переходів. Так у статті [3] подана надійнісна модель джерел безперебійного електроживлення, які призначені для центрів обробки даних, а також подані розраховані значення коефіцієнтів готовності для різних конфігурацій його ВС. Однак, дана модель ВС є спрощеною, через те що використано укрупнення станів (налічує 10 станів та 22 переходи), що обумовлює ступінь її адекватності і обмежує її використання для вирішення задач надійнісного проектування. Для підвищення ступеня адекватності моделі ВС необхідно уникати укрупнення станів. Іншою причиною зниження ступеня адекватності надійнісних моделей ВС, розроблених з використанням методу простору станів, є припущення про експоненційний закон розподілу для усіх випадкових величин, які враховані в моделі ВС. Це обмеження накладається теорією марковських процесів, що в свою чергу спрощує подальші розрахунки показників надійності. Однак, таке припущення є некоректним для тривалостей процесів відновлення, заряджання та розряджання акумуляторів.

Тому, задача розробки надійнісних моделей ВС для ДБЕЖ, з вищим, ніж у відомих моделях, ступенем

адекватності, в яких враховано структуру і поведінку ВС та ТО, а також реальні закони розподілу для тривалостей відповідних випадкових процесів є актуальною і потребує свого вирішення.

## 3. Опис об'єкту дослідження

Типова узагальнена конфігурація ВС для ДБЕЖ подана в [4]. Найбільш поширеними в практиці є її модифікації, з конфігураціями ВС  $(N+M)$  або  $2 \times (N+M)$ . Відмовостійка система для ДБЕЖ з конфігурацією  $(N+M)$  включає в себе: блок живлення (БЖ) з модульною структурою, де  $N$  – кількість однотипних модулів необхідних для живлення номінального навантаження, а  $M$  – кількість надлишкових модулів (навантажений резерв), акумулятори, що забезпечують загальне заміщувальне резервування блоку живлення, а також засоби моніторингу, які забезпечують контроль працездатності модулів блоку живлення, а також контроль працездатності і ступінь розряджання акумуляторів. У конфігурації  $2 \times (N+M)$  використано дублювання конфігурації  $(N+M)$ .

Після відмови модуля в блоці живлення радіоелектронна система переходить на автономну роботу від акумуляторів. Ефективність акумулятора визначають його параметри (див. п. 5). Акумулятор завжди підтримується у зарядженому стані за рахунок контролю стану його розряджання засобами моніторингу та автоматичним підзаряджанням до зарядженого стану. Акумулятори працюють у буферному режимі разом із модулями БЖ. Тому, при відмові БЖ, переключень акумулятора на навантаження не відбувається, що усуває проблеми обумовлені ненадійністю перемикачів. Для ДБЕЖ передбачено профілактичне технічне обслуговування, яке включає заміну несправних модулів блоку живлення і акумуляторів.

## 4. Розробка надійнісних моделей відмовостійких систем для джерел безперебійного електроживлення

Моделі ВС для ДБЕЖ розроблені у вигляді графа станів та переходів за удосконаленою технологією моделювання ВС [4]. Удосконаленням даної технології в порівнянні з загальновідомою є автоматизація процесу формування моделі ВС у вигляді графа станів і переходів та визначення показників надійності. Удосконалена технологія реалізована в програмному модулі ASNA-1. Згідно з даною технологією моделювання розробці підлягають дерева правил модифікації компонент вектора стану для кожної конфігурації ВС для ДБЕЖ, які є їх формалізованим представленням. Модель ВС у вигляді графа станів і переходів генерується автоматично відповідно до вхідних даних, якими є структурно-автоматна модель ВС, вектор стану, що показує, в якому стані перебуває система в той чи інший момент часу, критерію катастрофічної відмови та значень параметрів ДБЕЖ, які враховані в моделі (див. п. 5).

Ступінь адекватності розроблених моделей ВС для ДБЕЖ визначається тим, що в них враховано відмови модулів робочої конфігурації БЖ, параметри акумуляторів та їх відмови, можливості ремонт-

ного органу, а також алгоритм поведінки ВС після появи відмови (табл. 1 і 2).

Розробка дерева правил модифікації компонент вектора стану ВС виконується в такій послідовності. Спочатку формується вербальна модель, в якій описується вся необхідна інформація про ВС. Потім вибираються параметри, які потрібно представити у моделі ВС, а також визначаються компоненти вектора стану, який буде однозначно представляти всю сукупність реальних станів ВС. Після цього формується дерево правил модифікації компонент вектора стану, що включає:

- визначення множини базових подій, які будуть мати місце при експлуатації ДБЕЖ;
- формалізований опис ситуацій, в яких відбуваються базові події;
- компонування формул розрахунку інтенсивностей базових подій (ФРІБП);
- компонування формул розрахунку ймовірностей альтернативних переходів (ФРІАП) (у випадку, коли базова подія при тих самих обставинах може привести до різних наслідків);

Таблица 2  
Дерево правил модифікації компонент вектора стану відмовостійкої системи з конфігурацією  $2 \times (N+M)$

Базові події	Умови і обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
Подія 1.0 – «Відмова модуля блоку живлення»	$(V1 \geq N)$	$V1 \times I_{ВМ} \times K_H$	1	$V1 = V1 - 1$
	$(V2 \geq N) \text{ AND } (V1 < N)$	$V2 \times I_{ВМ} \times K_H$	1	$V2 = V2 - 1$
Подія 2.0 – «Завершення розрядження акумуляторів»	$(V3 > 0) \text{ AND } (V1 < N) \text{ AND } (V2 < N)$	$I_{РПА} / V3$	$((S_{Ц} - 1) / S_{Ц})$	$V4 = V4 + V3; V3 = 0$
			$(1 / S_{Ц})$	$V3 = 0$
Подія 3.0 – «Відмова акумулятора»	$V3 > 0$	$V3 \times I_A$	1	$V3 = V3 - 1$
	$V4 > 0$	$V4 \times I_A$	1	$V4 = V4 - 1$
Подія 4.0 - «Завершення зарядження акумуляторів»	$(V4 > 0)$	$1 / T_{ЗА}$	1	$V3 = V3 + V4; V4 = 0$
Подія 5.0 - «Відновлення несправного модуля блоку живлення»	$(V1 < (N+M)) \text{ AND } (V6 = 1)$ $((V2 < (N+M)) \text{ AND } (V1 = (N+M))) \text{ AND } (V6 = 1)$	$1 / T_{PM}$	$((S_P - 1) / S_P)$	$V1 = V1 + 1$
			$(1 / S_P)$	$V1 = V1 + 1; V6 = 0$
			$((S_P - 1) / S_P)$	$V2 = V2 + 1$
Подія 6.0 - «Заміна несправного акумулятора»	$((V3 + V4) < K_A) \text{ AND } (V5 = 1)$	$1 / T_{PM}$	$((S_A - 1) / S_A)$	$V4 = V4 + 1$
			$(1 / S_A)$	$V4 = V4 + 1; V7 = 0$

- формування правил модифікації компонент вектора стану (ПМКВС), що показують, як змінюється стан ВС після настання базової події;
- формування критерію катастрофічної відмови. Для тривалостей процесів відновлення, зарядження, розрядження акумуляторів ближчим до реаль-

Таблица 1  
Дерево правил модифікації компонент вектора стану відмовостійкої системи з конфігурацією  $N+M$

Базові події	Умови і обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПМКВС
Подія 1.0 – «Відмова модуля блоку живлення»	$(V1 \geq N)$	$V1 \times I_{ВМ} \times K_H$	1	$V1 = V1 - 1$
Подія 2.0 – «Завершення розрядження акумуляторів»	$(V3 > 0) \text{ AND } (V1 < N)$	$I_{РПА} / V3$	$((S_{Ц} - 1) / S_{Ц})$	$V4 = V4 + V3; V3 = 0$
			$(1 / S_{Ц})$	$V3 = 0$
Подія 3.0 – «Відмова акумулятора»	$V3 > 0$	$V3 \times I_A$	1	$V3 = V3 - 1$
	$V4 > 0$	$V4 \times I_A$	1	$V4 = V4 - 1$
Подія 4.0 - «Завершення зарядження акумуляторів»	$(V4 > 0) \text{ AND } (V1 > 0)$	$1 / T_{ЗА}$	1	$V3 = V3 + V4; V4 = 0$
Подія 5.0 - «Відновлення несправного модуля блоку живлення»	$(V1 < (N+M)) \text{ AND } (V6 = 1)$	$1 / T_{PM}$	$((S_P - 1) / S_P)$	$V1 = V1 + 1$
			$(1 / S_P)$	$V1 = V1 + 1; V6 = 0$
Подія 6.0 - «Заміна несправного акумулятора»	$((V3 + V4) < K_A) \text{ AND } (V5 = 1)$	$1 / T_{PM}$	$((S_A - 1) / S_A)$	$V4 = V4 + 1$
			$(1 / S_A)$	$V4 = V4 + 1; V5 = 0$

ного є закон розподілу Ерланга. З метою врахування закону розподілу при розробці надійнісної моделі ВС був використаний метод фаз Ерланга та запропоновано методику удосконалення дерева правил модифікації компонент вектора стану. Згідно цієї методики потрібно виділити усі стани, у яких необхідно експоненційний закон розподілу замінити законом розподілу Ерланга, та замінити їх ланцюжком станів, тривалість перебування в кожному з яких є випадковою величиною, розподіленою експоненційно. Кількість елементів у ланцюжку буде визначати порядок закону розподілу Ерланга. Для цього потрібно сформувати ПМКВС, як описано в [6], та визначити нові значення інтенсивностей переходів.

**5. Перелік параметрів відмовостійкої системи, які представлені в дереві правил модифікації компонент вектора стану**

В перелік параметрів відмовостійкої системи входять:

- параметри блоку живлення: N – початкова кількість модулів в робочій конфігурації блоку живлення; M – початкова кількість модулів резерву; I<sub>ВМ</sub> - інтенсивність відмов одного модуля в блоці живлення; K<sub>Н</sub> – поправочний коефіцієнт для інтенсивності відмов, який враховує вплив навантаження;
- параметри акумуляторів: S<sub>Ц</sub> – максимальна кількість циклів заряд-розряд акумулятора; T<sub>ЗА</sub> - середнє значення інтервалу часу, необхідного для заряджання акумулятора; I<sub>РПА</sub> - інтенсивність розряду працюючого акумулятора; I<sub>А</sub> - інтенсивність відмов акумулятора; K<sub>А</sub> – кількість акумуляторів;
- параметри ремонтного органу:

S<sub>Р</sub> – кількість запланованих ТО; T<sub>П</sub> - середнє значення періодичності ТО ДБЕЖ; S<sub>А</sub> - максимальна кількість відновлень несправних акумуляторів.

**6. Визначення структури вектора станів системи**

Технологією моделювання передбачено визначення компонент вектора станів, якими буде визначатися той чи інший стан. Вектор станів даної відмовостійкої підсистеми електроживлення слід представляти такими компонентами:

V1 – відображає поточну кількість працездатних модулів в блоці живлення (початкове значення компоненти V1 дорівнює сумарній початковій кількості модулів в робочій конфігурації блоку живлення і в резерві (N+M)); V2 – відображає поточну кількість працездатних модулів в другому блоці живлення (для ВС з конфігурацією 2x(N+M) (початкове значення компоненти V2 те саме, що і для V1; для моделі ВС з конфігурацією (N+M) ця компонента не використовується); V3 – відображає поточну кількість працездатних заряджених акумуляторів (початкове значення рівне кількості акумуляторів в ДБЕЖ); V4 – відображає поточну кількість розряджених акумуляторів, що перебувають на заряджанні (початкове значення рівне 0); V5 – можливість відновлення акумуляторів; (1 – відновлення можливе, 0 – усі заплановані відновлення виконані (початкове значення рівне 1)); V6 – можливість відновлення модуля; (1 – відновлення можливе, 0 – усі заплановані заміни виконані (початкове значення рівне 1));

Дерева правил модифікації компонент вектора стану ВС для ДБЕЖ з конфігураціями N+M та 2x(N+M), подані у табл. 1 та табл. 2 відповідно. Обидві моделі ВС були верифіковані, шляхом порівняння результатів роботи програмного модуля ASNA-1 з тестовою моделлю ВС, яка розроблена методом логічного аналізу.

Після того як подані вище дерева правил модифікації компонент вектора стану (табл. 1, табл. 2) були розроблені, вони підлягають удосконаленню з метою урахування закону розподілу Ерланга для тривалостей процесів від-

новлення, заряджання, розряджання акумуляторів. Для цього була використана методика, яка детально описана в [6]. Дослідження показали, що для даних модифікацій ВС для ДБЕЖ при врахуванні закону розподілу Ерланга для тривалостей процесів відновлення, заряджання, розряджання акумуляторів різниця між значеннями показника надійності, визначеними при представленні цих же випадкових величин експоненціальним законом розподілу не перевищує 4% при заданих у табл. 3 його параметрах та в інтервалі значень періодичності ТО 600..10000 год.

**7. Визначення вимог до технічного обслуговування джерел безперебійного електроживлення**

За допомогою розроблених моделей визначимо значення показників надійності ВС ДБЕЖ з конфігураціями N+1 та 2x(N+1), при різних значеннях періодичності ТО. Значення інших параметрів моделі подані у таблиці 3. Результати дослідження подані у табл. 4 та на рис. 1, де T<sub>П</sub> – середнє значення періодичності ТО; T<sub>N+1</sub>, T<sub>2(N+1)</sub> – середні значення тривалості безвідмовної роботи для ВС з конфігураціями N+1 та 2x(N+1).

Таблиця 3

Параметри моделі відмовостійкої системи

N	M	λ <sub>ВМ</sub> , 1/год.	S <sub>Ц</sub>	T <sub>ЗА</sub> , год.	I <sub>РПА</sub> , 1/год.	λ <sub>А</sub> , 1/год.	S <sub>Р</sub>	S <sub>А</sub>	K <sub>А</sub>
2	1	2e-4	300	5	0.33	5,00E-04	20	10	2

Таблиця 4

Значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ при різних значеннях періодичності профілактичного ТО

T <sub>П</sub> , год.	600	800	1000	1500	2000	2500	3000
T <sub>N+1</sub> , год.	13635	11767	10564	8853	7950	7390	7000
T <sub>2(N+1)</sub> , год.	55655	52120	48100	38446	31327	26506	23220
T <sub>П</sub> , год.	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
T <sub>N+1</sub> , год.	6524	6229	6030	5886	5770	5686	5618
T <sub>2(N+1)</sub> , год.	19222	16975	15563	14610	13926	13416	13020

Звідси постає постановка ще однієї задачі, яка полягає у визначенні можливості забезпечення конфігурацією ВС (N+1) надійності рівноцінної з надійністю конфігурації ВС 2x(N+1) шляхом зміни періодичності ТО. Для цього визначимо нові значення періодичності ТО для ВС з конфігурацією N+1, при яких показники надійності даної ВС наближаються до показників надійності ДБЕЖ з конфігурацією 2x(N+1). Результати даного дослідження представлені в табл. 5, де T<sub>2(N+1)</sub> – середнє значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ з конфігурацією 2x(N+1) взято з табл. 4; T<sub>(N+1)\*</sub> – середнє значення тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ з конфігурацією (N+1), при нових значеннях періодичності ТО; T<sub>П\*</sub> - нові значення періодичності ТО.

За результатами вирішеної задачі отримуємо рекомендацію про те, на скільки треба зменшити періодичність ТО для ДБЕЖ з конфігурацією (N+1), щоб

досягти рівноцінного значення показника надійності (тривалості безвідмовної роботи), з ДБЕЖ з конфігурацією  $2 \times (N+1)$  при наведених в табл. 3 параметрах.

Таблиця 5

Умови рівноцінної надійності ДБЕЖ з конфігураціями  $N+1$  та  $2 \times (N+1)$

$T_{П}^*$ , год.	0.167	7	20	60	115	170	220
$T_{(N+1)}^*$ , год.	54570	52136	48025	38823	31092	26228	23151
$T_{2(N+1)}^*$ , год.	55655	52120	48100	38446	31327	26506	23220
$T_{П}^*$ , год.	315	400	470	520	580	610	650
$T_{(N+1)}^*$ , год.	19231	16926	15522	14707	13881	13518	13079
$T_{2(N+1)}^*$ , год.	19222	16975	15563	14610	13926	13416	13020

Після цього, знаючи вартість обох варіантів реалізації ДБЕЖ і економічні затрати на утримання ремонтної служби, варто проводити аналіз на предмет вибору кращої конфігурації відмовостійкої системи та вимог до ТО за критерієм мінімальних затрат при забезпеченні вимог до надійності. В даному випадку задача зводиться до порівняння двох варіантів реалізації ВС і вибору кращої за критерієм мінімуму економічних затрат, при умові що ТО забезпечує рівноцінну їх надійність.

## 8. Висновок

За допомогою розроблених моделей отримані залежності надійності конфігурацій відмовостійкої системи  $N+1$  та  $2 \times (N+1)$  від періодичності профілактичного технічного обслуговування. Також визначено нові значення періодичності технічного обслуговування для відмовостійкої системи з конфігурацією  $N+1$ , при яких досягається рівноцінна надійність обох конфігурацій. Для поданого набору інших параметрів моделі, з якими проводилося дослідження, визначено інтервал первинних значень періодичності технічного обслуговування, при яких обидві конфігурації відмовостійкої системи забезпечують однакову надійність ДБЕЖ. Запропонована методика удосконалення дерева правил модифікації компонент вектора стану дозволяє врахувати закон розподілу Ерланга для тривалостей випадкових величин. Разом з цим подані надійнісні моделі відмовостійких систем для джерел безперебійного електроживлення дозволяють вирішувати задачі, які є актуальними при їх проектуванні. Моделі служать проектанту інструментом, за допомогою якого можна дати відповідь на питання про те, зміна якого з параметрів джерела дасть найбільший приріст надійності, і знайти значення параметрів використаної конфігурації відмовостійкої системи джерела безперебійного електроживлення для заданого значення показника його надійності. Моделі дозволяють, володіючи економічними показниками витрат, проводити оптимізацію конфігурації ВС шляхом порівняння альтернативних варіантів та вибору кращого за критерієм мінімуму затрат при забезпеченні заданої надійності.

## Література

1. Теория вероятностей: резервирование и время безотказной работы ЦОД - Режим доступа: <http://orbita-80.ru/pages/52/54/>
2. Tier datacenter – уровни надежности дата-центра – Режим доступа: <http://dcnt.ru/?p=22>
3. Маккарти, К. Сравнение различных схематических конфигураций систем ИБП – APC – 2004. - Режим доступа: [http://www.arcmedia.com/salestools/SADE-5TPL8X\\_R0\\_RU.pdf](http://www.arcmedia.com/salestools/SADE-5TPL8X_R0_RU.pdf).
4. Волочий, Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем [Текст] / Б.Ю. Волочий. – Львів: НУЛП, 2004. – 220с.
5. Креденцер, Б.П. Технічне обслуговування систем з почасовою надмірністю [Текст] / Креденцер Б.П., Ленков С.В., Міночкін А.І., Могилевич Д.І., Резніков М.І. – К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2009. – 172 с.
6. Волочий, Б.Ю. Удосконалення технології моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем з використанням методу фаз Ерланга [Текст] / Волочий Б.Ю., Озірковський Л.Д., Кулик І.В. // Вісник Національного технічного університету України "КПІ", Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. - 2012. - № 48. - С. – 159-167.

## Abstract

Research of preventive maintenance effect on reliability of fault-tolerant uninterruptible power supply is important in determination of the requirements for maintenance. In this paper the objects under consideration are two variants of the fault-tolerant system for uninterruptible power supply with  $(N+M)$  and  $2 \times (N+M)$  redundant configurations, which are provided by preventive maintenance. There are given reliability models for both configurations of fault-tolerant system for uninterruptible power supplies, which allows investigating the dependence of their reliability on the frequency of preventive maintenance, in this paper. Reliability models for fault-tolerant systems are formed as graphs of states and transitions. Determination of the reliability parameters is associated with the solution of system of Kolmogorov Chapman differential equations, formed according to the developed graphs. These models are useful both at the design stage (to determine the structure of the fault-tolerant system) and during operation (to determine the requirements for maintenance) of uninterruptible power supply, designed as a fault-tolerant system.

**Keywords:** uninterruptible power supply, maintenance, mixed redundancy, fault-tolerant system, design for reliability.