

УДК 629.7.064.5

В. С. РЕВА, В. П. ФРОЛОВ, К. Н. ЗЕМЛЯНОЙ

*Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля»*

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ И БЕСПЕРЕБОЙНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА

Приведены и проанализированы методы резервирования для обеспечения бесперебойности работы систем электроснабжения наземных комплексов (СЭС НК) космических ракетных комплексов, из указанных методов резервирования наиболее оптимально подходящим является раздельное резервирование. В соответствии с этим была построена и приведена модель СЭС с узлами системы, являющимися наиболее критичными и подлежащими резервированию. Выделена система контроля качества электроэнергии (СККЭ) в составе системы электроснабжения, которая осуществляет контроль параметров электроэнергии, а также резервируемых элементов. Указаны основные факторы, влияющие на бесперебойность работы и возникновения ситуаций, связанных с нештатной работой системы. Определены основные мероприятия по обеспечению резервирования и бесперебойности работы системы электроснабжения наземного комплекса.

**Ключевые слова:** резервирование, бесперебойность, структура, электроэнергия, система электроснабжения, эксплуатация, качество.

### Введение

Одним из важнейших элементов космических ракетных комплексов (КРК), обеспечивающих подготовку к пуску и пуск РКН с КА, является система электроснабжения (СЭС). Система электроснабжения представляет собой совокупность систем генерирования, преобразования и распределения электрической энергии. В связи с этим основным критерием работы СЭС прорабатываемым при проектировании должна быть бесперебойность работы, для обеспечения выполнения циклограмм подготовки к пуску, принимая во внимание широкий диапазон неравномерности нагрузок потребителей [1].

Учитывая, что система электроснабжения, включает в себя большое количество элементов: трансформаторные подстанции, высоковольтные ячейки, понижающие трансформаторы, коммутационно-распределительные устройства, ИБП, кабельные сети, линии электропередач, возникает необходимость в их резервировании, что позволяет повысить надежность системы в целом, оптимизировать и обеспечить требования к бесперебойности электроснабжения [2]

### 1. Методы структурного резервирования

Структурное резервирование заключается в том, что в минимально необходимый вариант системы, состоящей из основных элементов, вводятся

дополнительные элементы, устройства или даже вместо одной системы предусматривается использование нескольких однотипных систем.

Отношение числа резервных элементов к числу резервируемых ими основных элементов называют кратностью резервирования. Резервирование, кратность которого равна единице, называют дублированием.

Простейшая система со структурным резервированием – система с параллельным соединением элементов.

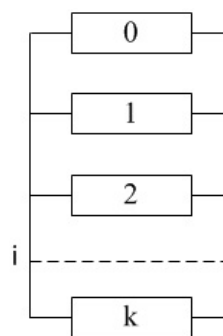


Рис. 1. Система с параллельным соединением элементов

В системах электроснабжения существуют два метода повышения надежности систем путем структурного резервирования:

*Метод 1* Общее резервирование, при котором резервируется СЭС в целом (так называемое идеальное резервирование). При отказе всех элементов возникает отказ системы. Такое резервирование на-

зывается поэлементным. Как правило, во всех расчетах надежности имеются допущения. В случае с резервированием предполагается, что элементы переключателей абсолютно надежны.

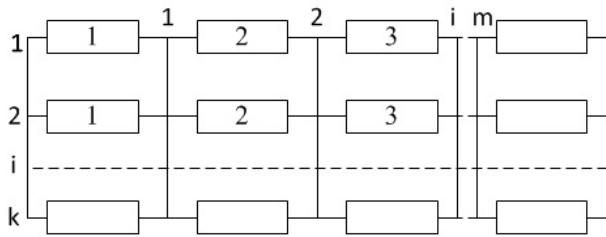


Рис. 2. Пример общего резервирования СЭС

На рисунке 2 представлен пример общего резервирования СЭС. Под блоками 1, 2, 3...m принимается количество элементов структуры СЭС, при этом блоками с обозначениями 1, 2...k определяется количество резервирующих частей каждого элемента системы. Вероятность безотказной работы определяется зависимостью [3]:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^k [1 - p_i(t)],$$

где  $p_i(t)$  - вероятность безотказной работы за время  $i$ -го (основного или резервного элементов системы).

Если вероятности  $p_i(t) = p_1(t)$  для всех элементов равны, то

$$p(t) = 1 - [1 - p_1(t)]^{k+1}.$$

Данное резервирование относительно СЭС, исходя из большого количества составных частей, является не практичным и экономически нецелесообразным.

Учитывая большое количество элементов систем электроснабжения наземных комплексов КРК, а также категорий электроприемников, основным элементом, требующим особой надежности при резервировании является источник питания СЭС наземных комплексов. Из состава электроприемников I категории выделяется особая группа электроприемников для которой требуется бесперебойная работа питания. При этом на космическом ракетном комплексе для ввода питания в систему электроснабжения предусматривают помимо основного (государственной энергосети), дополнительный (горячий) резерв, которым может быть группа дизель-электрических станций (ДЭС) обеспечивающих питание технологического оборудования. Также при-

сутствует ненагруженный (холодный) резерв, состоящий из дополнительных дизель-генераторных станций обеспечивающих питание, как технологического оборудования, так и технических систем. Для каждого отдельно проектируемого космического ракетного комплекса формируется своя технология работ источников питания исходя из внешних факторов, влияющих на выбор работы источников питания и особенностей построения КРК. В оптимальном своем соотношении [3], влияющие на работу источников питания, основными факторами являются: тип работ, проводимые на КРК, циклограмма нагрузки, надежность, структура КРК, продолжительность работ, вероятность отказа, экономический фактор.

Также, можно выделить еще один вид резервирования, называемый скользящим. При такой схеме группа или один резервный элемент может заменить любой основной элемент (рис. 3). При этом, система не будет иметь отказ если: не один из основной системы не отказал или отказал один любой элемент основной системы при исправном резервном и остальных  $k-1$  элементах основной системы.

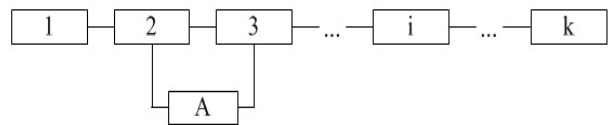


Рис. 3. Схема с одним элементом, находящимся в скользящем режиме

**Метод 2** Раздельное (поэлементное) резервирование, при котором резервируются отдельные части (элементы) системы.

В реальности в отличие от первого метода система электроснабжения, как и большинство других систем на космическом ракетном комплексе, является смешанной, поскольку резервными есть отдельные элементы или взаимосвязь.

Модель системы электроснабжения с оптимальным резервированием можно представить в соответствии с рисунком 4.

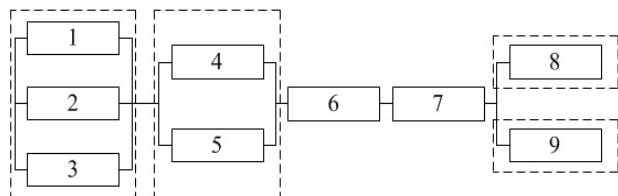


Рис. 4. Общая модель СЭС

Расчет системы представленной на рисунке 2 производится по блокам, выделенным пунктиром с

учетом элементов 6 и 7.

Так как система электроснабжения до определенного момента имеет последовательное соединение, надежность системы в большей степени зависит от источников питания, которые представлены элементами 1-3, элементами 4 и 5 являются основные и дублирующие отходящие кабельные линии (ввода), блоками 6, 7 представлены составные части системы распределительные устройства, ИБП, фильтрующие элементы. Отдельными структурами 8, 9 и до  $i$ -го элемента представлены системы получающие электроэнергию заданного номинала и отвечающую всем параметрам качества от системы электроснабжения наземного комплекса.

Следует отметить, что при расчете надежности такой системы необходимо учитывать время работы каждого элемента, поскольку не все элементы системы работают непрерывно от момента ее включения до выключения. В этом случае, считая отказы блоков событиями независимыми, вероятность безотказной работы системы в течение времени  $t$  можно вычислить по формуле [3]

$$P_c(t) = P_1(\Delta t_1)P_2(\Delta t_2) \dots P_k(\Delta t_k) = \prod_{i=1}^N P_i(\Delta t_i),$$

где  $P_i(\Delta t_i)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го блока в течение промежутка времени  $\Delta t$ .

## 2. Обеспечение бесперебойности работы системы электроснабжения

При больших суммарных мощностях возникает проблема обеспечения качества электроэнергии. В связи с этим, а также за контролем бесперебойности работы системы электроснабжения на этапах проектирования системы электроснабжения НК КРК появляется необходимость в создании и выделении системы контроля качества электроэнергии (СККЭ) как отдельной структуры в составе СЭС.

Основной задачей системы контроля качества электроэнергии (СККЭ) является обеспечение контроля параметров питания на зажимах электропотребителей технологического оборудования (ТО) посредством контроля осциллограмм напряжения переменного тока, значений напряжения 380/220 В и 28,5 В, значений частоты и коэффициента несинусоидальности напряжения переменного тока. Однако помимо контроля параметров электроэнергии при выходе их за допустимые пределы СККЭ выполняет регистрацию и отображение параметров питания электропотребителей, контроль работоспособности СЭС в целом и их составных частей с привязкой к системе единого времени. Также, СККЭ осуществляет документирование параметров питания электропотребителей и работо-

способности СЭС в целом и их составных частей с обеспечением сохранения информации не менее чем за 10 минут до возникновения нештатной ситуации. В случае возникновения нештатной работы системы электроснабжения СККЭУ проводит автоматизированное управление (переключение) между резервируемыми элементами оборудования СЭС[4].

## 3. Мероприятие по обеспечению резервирования и бесперебойности в СЭС НК

К основным мероприятиям и работам по обеспечению резервирования и бесперебойности в системе электроснабжения относят:

- разработку схемных и конструкторских решений СЭС обеспечивающих выполнение заданных требований;
- разработку РКД (КД и ЭД) СЭС с учетом мер по обеспечению надежности;
- разработку программ обеспечения надежности;
- разработку обобщенного перечня нештатных (аварийных) ситуаций и принимаемых по выходу из них мероприятий;
- разработку методик анализа, оценки, контроля и прогнозирования показателей надежности;
- анализ возможных отказов и неисправностей, приводящих к АС, с составлением перечня критичных элементов СЭС.

## Выводы

Анализ системы электроснабжения на этапах проектирования позволяет определить метод резервирования составных частей СЭС, также обозначить узлы системы, являющиеся наиболее критичными и подлежащими резервированию. Выделение системы контроля качества электроэнергии (СККЭ) позволяет не только соблюдать контроль параметров электроэнергии, а также и управлять резервируемыми элементами СЭС. Выполнение мероприятий по обеспечению бесперебойности работы системы электроснабжения позволит подтвердить выполнение требований Заказчиков пусковых услуг к электроснабжению при подготовке к запуску на НК перспективных КА.

## Литература

- 1 *Правил улаштування електроустановок [Текст]. – Х. : Форт, 2009. – 736 с.*
- 2 *Бирюков, Г. П. Основы обеспечения надежности и безопасности стартовых комплексов [Текст] / Г. П. Бирюков, Ю. Ф. Кукушкин, А. В. Тор-*

пачев. – М. : Изд-во МАИ, 2002. – 264 с.

3. Дружинин, Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем [Текст] / Г. В. Дружинин. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 479 с.

4. Обоснование необходимости создания и

структура системы контроля качества электроэнергии в составе системы электроснабжения наземного комплекса [Текст] / В. П. Фролов, К. Н. Земляной, В. С. Рева, Е. Ю. Шевченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 9(96). – С. 55-58.

Поступила в редакцию 1.06.2014, рассмотрена на редколлегии 12.06.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., К. В. Безручко, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЗЕРВУВАННЯ І БЕЗПЕРЕБІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА

*В. С. Рева, В. П. Фролов, К. М. Земляний*

Наведено та проаналізовано методи резервування для забезпечення безперебійності роботи систем електропостачання наземних комплексів (СЕР НК) космічних ракетних комплексів. З вказаних методів резервування найбільш оптимально відповідним є роздільне резервування. Відповідно до цього було побудовано і приведено модель СЕР з вузлами системи, які являються найбільш критичними та підлягають резервуванню. Виділено систему контролю якості електроенергії (СКЯЕ) у складі системи електропостачання, яка здійснює контроль параметрів електроенергії, а також резервованих елементів. Вказано основні чинники, що впливають на безперебійність роботи і виникнення ситуацій, пов'язаних з нештатною роботою системи. Визначено основні заходи щодо забезпечення резервування та безперебійності роботи системи електропостачання наземного комплексу.

**Ключові слова:** резервування, безперебійність, структура, електроенергія, система електропостачання, експлуатація, якість.

### PROVIDING OF ELECTRIC POWER BACKUP AND SLS GC PSS TROUBLE-FREE OPERATION

*V. S. Reva, V. P. Frolov, K. N. Zemlyanyi*

This paper represents overview and analysis of methods for providing of electric power backup (reservation), used in order to support trouble-free operation of Power Supply Systems (PSS) intended for Space Launch System Ground Complex (SLS GC). Among considered methods the separate reservation was determined as the most optimal and applicable method. According to this the model of PSS, with parts being the most critical and are subjects for reservation, was developed and presented. The composition of PSS includes the Power Quality Control System allocated for control of electric power parameters and parts to be reserved. The key factors which effect on trouble-free operation and can cause the off-nominal operation of the system are specified. The main arrangements for providing of power reservation and trouble-free operation GC PSS are determined.

**Key words:** reservation, backup, trouble-free operation, structure, electric power, power supply system, operation, quality.

**Рева Вадим Сергеевич** – инженер I категории, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

**Фролов Виктор Петрович** – канд. техн. наук, заместитель Главного конструктора – начальника КБ, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

**Земляной Константин Николаевич** – начальник сектора, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.