

УДК 629.7.064.5

**В.П. ФРОЛОВ***Государственное предприятие КБ "Южное" им. М.К. Янгеля, Днепропетровск, Украина*

## ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБЕСПЕЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

*В статье рассмотрены особенности построения современных систем электроснабжения стартовых комплексов. Проанализированы достоинства систем гарантированного электроснабжения применяемых в составе систем электроснабжения стартовых комплексов. Разработана технология построения структур систем электроснабжения стартовых комплексов современных ракет-носителей. Предложенная технология построения структур систем электроснабжения основана на анализе возможных сбоев и нештатных ситуаций, возникающих при работе системы электроснабжения, и их парирования. Разработанные, с помощью предложенного алгоритма, структуры систем электроснабжения отвечают современным требованиям по качеству электроэнергии и надежности.*

**Ключевые слова:** *стартовый комплекс, ракета-носитель, технологическое оборудование, источник бесперебойного питания, система электроснабжения, система гарантированного электропитания.*

### Введение

Специфика технологического процесса подготовки ракет космического назначения (РКН) к пуску выдвигает жесткие требования к надежности работы технологического оборудования и, соответственно, к работе системы электроснабжения (СЭС) технологического оборудования (ТО) ракетно-космического комплекса (РКК).

Параметры электрической сети на выходе СЭС должны определяться требованиями к электроснабжению ТО.

Система электроснабжения стартового комплекса (СК) предназначена для обеспечения электроэнергией требуемого вида и качества во всех режимах эксплуатации наземного вспомогательного электрического оборудования космического аппарата (КА) и ТО, участвующих в подготовке КА и ракеты-носителя на стартовой позиции.

### 1. Построение систем гарантированного электроснабжения

Первичным источником электроэнергии для СЭС являются независимые вводы от внешней сети системы электроснабжения.

Система электроснабжения обеспечивает:

- прием и распределение электроэнергии по потребителям гарантированного электропитания;
- автоматическое включение резервного ввода от дизеля – генераторной установки (ДГУ) при пропадании электроэнергии (или выходе параметров за пределы допусков) на обоих вводах системы внутреннего электроснабжения;

- защиту оборудования СК от токов короткого замыкания и токов перегрузок в потребителях, а также от распространения аварийных ситуаций, которые могут возникать в запитываемых потребителях, на другие потребители через общие шины электропитания.

Наземное вспомогательное электрическое оборудование КА и ТО, участвующее в подготовке КА, являются потребителями электроэнергии 1 категории особой группы. В связи с этим стартовая позиция дооборудуется системой гарантированного электропитания и источником бесперебойного питания (ИБП). Для обеспечения длительной работы в автономном режиме (т.е. при отключении входной электросети) такой комплекс дополняется одной или несколькими ДГУ.

Для ДГУ, работающих в качестве резервных источников электроэнергии, автоматический режим работы является обычным. Пропадание напряжения сети (или его значительное снижение) более чем на несколько секунд служит причиной запуска ДГУ. После запуска дизельного двигателя контакторы между основной сетью и нагрузкой размыкаются, и нагрузка переводится на дизель-генератор. После восстановления основной сети нагрузка переводится вновь на нее. Генератор продолжает некоторое время работать на холостом ходу и затем останавливается.

Диаграмма функционирования комплекса в случае аварийного отключения и последующего восстановления основного электроснабжения показана на рис. 1.

Современное развитие СЭС РКК выдвигает основополагающий принцип – электроснабжение потребителей особой группы I категории за счет ком-

плекса мероприятий по обеспечению надежного, бесперебойного электропитания ТО электроэнергией нормируемого качества, проводящихся в объеме всей СЭС комплекса. Иными словами, в условиях низкой надежности питания от внешней СЭС и значительных отклонений параметров качества электроэнергии от номинальных значений, а также в случаях длительных или кратковременных перерывов в электропитании, электроснабжение наиболее ответственных потребителей РКК осуществляется от специальной, достаточно сложной системы гарантированного электроснабжения.

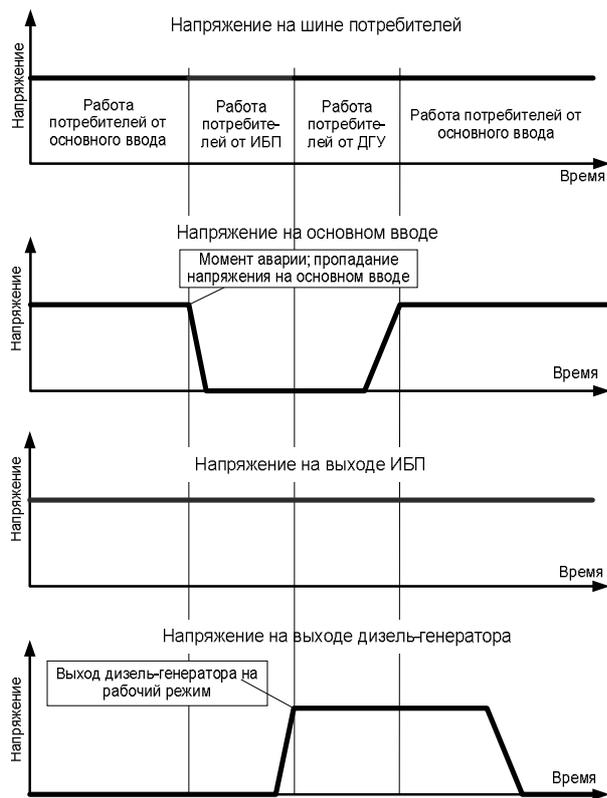


Рис. 1. Диаграмма работы комплекса ИБП - ДГУ при аварийном отключении и последующего восстановления основного электропитания

## 2. Получаемый эффект от использования систем гарантированного электроснабжения

Система гарантированного энергоснабжения работает в переходных режимах таким образом, что в течение времени перехода питание приемников электрической энергии критичной группы осуществляется от аккумуляторной батареи, имеющейся в составе ИБП.

Наличие автоматического ввода резерва и наличие двух ИБП в составе системы электроснабжения, обеспечивает выполнение принципа горячего резервирования.

Реальное время срабатывания устройств автоматического ввода резерва на порядок меньше времени включения ДГУ, поэтому электропитание технологического оборудования категории 1 группы 1А осуществляется от блоков гарантированного питания, которые получают электроэнергию от двух параллельно включенных на общую нагрузку ИБП.

Источники бесперебойного питания позволяют:

- исключить амплитудные и частотные искажения;
- работать в слабых и нестабильных сетях;
- эффективно подавлять импульсные помехи.

При пропадании входного напряжения происходит переход на питание инвертора от аккумуляторных батарей с нулевым временем переключения без скачка амплитуды и фазы входного напряжения.

Благодаря двойному преобразованию (как минимум) обеспечивается высокая изоляция выходного напряжения от влияния внешней сети и наоборот. Это существенно для защиты информации от несанкционированного доступа со стороны сети общего назначения.

Время работы от аккумуляторной батареи определяет период, в течении которого ИБП обеспечивает электропитание защищаемые устройства.

## 3. Формирование структур систем электроснабжения стартовых комплексов ракет-носителей

Для формирования структур СЭС СК наземного и шахтного базирования разработан алгоритм процесса формирования этих структур (рис. 2).

Согласно разработанному алгоритму:

1. Первым этапом построения структур является определение исходных данных. Исходными данными для формирования структур СЭС СК являются:

- а) циклограмма старта ракеты-носителя по потребителям СК:
  - потребление энергии наземного вспомогательного оборудования КА;
  - потребление энергии потребителей различных категорий.
- б) граничные значения показателей качества электроэнергии;
- в) количество и виды источников электроэнергии, особенности местности и возможность использования различных источников энергии.

2. Определение видов и количества возможных нештатных ситуаций для конкретного типа СК.

3. Составляется структуры СЭС СК (первого уровня). Определяются параметры составляющих СЭС для обеспечения заданных значений параметров качества электроэнергии.

4. Учитывая исходные данные, определяются уровни мощностей каждого элемента, входящего в СЭС СК первого уровня.



Рис. 2. Алгоритм процесса формирования структуры СЭС СК

5. Определение энергозатрат при штатном режиме работы СЭС.

6. Моделирование работы СЭС при возникновении нештатной ситуации:

а) выбор нештатной ситуации из п. 2 для моделирования;

б) включение в состав СЭС СК нового элемента для парирования заданной нештатной ситуации и при необходимости ввод в состав СЭС новых элементов для обеспечения переключения между

источниками (образовывается структура СЭС нового уровня);

г) определение уровни мощностей новых элементов с учетом выполнения требований по энергопотреблению потребителей различных категорий;

д) моделирование работы СЭС СК (включая работу всех источников) данного уровня с учетом возникновения выбранной нештатной ситуации.

7. Проверка условия обеспечения всех потребителей заданной категоричности по надежности и по количеству источников питания. Если условие не выполняется, повторяется процедура моделирования нештатной ситуации согласно п. 6.

8. При выполнении условия приведенного в п. 7 – считается структура СЭС СК сформированной. Полученная структура СЭС СК обеспечивает заданные требования по качеству электроэнергии и бесперебойности при возникновении всех выбранных видов нештатных ситуаций.

9. Проводится оценка качества сформированных структур СЭС СК по основным показателям:

а) качество электроэнергии;

б) структурная надежность;

в) стоимость разработки и изготовления;

г) стоимость эксплуатации.

## Заключение

Предложенные принципы построения СЭС позволяют создать структурные схемы электроснабжения, идентичные по структуре и составу. Это позволяет использовать одинаковые технические решения при разработке составных частей систем, обеспечивающие высокие показатели их унификации, и, следовательно, экономические показатели, как на стадии разработки, так и при эксплуатации.

При формировании структуры СЭС и определении количества элементов каждого функционального назначения в составе каждой системы должны использоваться следующие принципы построения систем:

а) питание приемников электрической энергии критической группы из состава технологического оборудования осуществляется от низковольтных комплектных устройств, в совокупности представляющих систему гарантированного электропитания, основным признаком которой является наличие в ее составе преобразовательных устройств с устройствами накопления электроэнергии, используемых как для обеспечения бесперебойной работы приемников электрической энергии, так и для повышения качества потребляемой ими электроэнергии;

б) для обеспечения требуемой надежности электроснабжения приемников электрической энергии в составе каждой СЭС используется не менее

двух источников питания, каждый из которых по мощности достаточен для питания всего технологического оборудования системы;

в) количество и структура низковольтных комплектных устройств определены с учетом установленной мощности, расположения, требований по надежности электроснабжения и качеству, требований к параметрам питающего напряжения и видам СЭС, а также возможности развития СЭС в процессе ее эксплуатации.

Наличие автоматического ввода резерва и источников бесперебойного питания в составе системы электроснабжения, обеспечивает выполнение принципа горячего резервирования, что отвечает требованиям к категоричности электроснабжения приемников электроэнергии.

Использование для питания приемников критичной группы источников бесперебойного питания, работающих в режиме "горячего" резервирования,

позволило решить две взаимосвязанные задачи, которыми являются:

– обеспечение электромагнитной совместимости источников и приемников электрической энергии, включая качество электроэнергии и ее показатели;

– обеспечение надежности электроснабжения в соответствии с заданной категоричностью.

## Литература

1. Анализ систем электроснабжения стартовых комплексов современных ракет носителей / К.В. Безручко, А.О. Давидов, К.Н. Земляной, В.П. Фролов // Вестник двигателестроения – 2008. – № 3. – С. 41-44.

2. Моторин В.М. Анализ отказов систем гарантированного электропитания / В.М. Моторин. – Л.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1990. – 28 с.

Поступила в редакцию 1.06.2010

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, профессор А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

## ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ СТРУКТУР СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СУЧАСНИХ СТАРТОВИХ КОМПЛЕКСІВ

*В.П. Фролов*

Розглянуті особливості побудови сучасних систем електропостачання стартових комплексів. Проаналізовані переваги систем гарантованого електропостачання, які використовуються у складі систем електропостачання стартових комплексів. Запропонована технологія побудови структур систем електропостачання стартових комплексів сучасних ракет-носіїв. Розроблені, за допомогою запропонованого алгоритму, структури систем електропостачання відповідають сучасним вимогам по якості електроенергії та надійності.

**Ключові слова:** стартовий комплекс, ракета-носіїв, технологічне обладнання, джерело безперебійного живлення, система електропостачання, систем гарантованого електропостачання.

## FORMATION OF RATIONAL STRUCTURES OF SYSTEMS OF AN ELECTRICAL SUPPLY OF MODERN LAUNCHING SITES

*V.P. Frolov*

Features of construction of modern power-supply system of launching sites are considered. Advantages of systems of the guaranteed electrical supply applied as a part of power-supply system of launching sites are analyzed. The technology of construction of structures of power-supply system of launching sites of modern launchers is offered. Developed, by means of the offered algorithm, structure of power-supply system meet modern requirements on quality of power and reliability.

**Keywords:** a launching site, a launcher, the fabrication system, a uninterruptible power supply, power-supply system, system of the guaranteed power supplies.

**Фролов Виктор Петрович** – заместитель начальника комплекса, начальник отдела Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.