

УДК 629.7.064.5

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

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

## **ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ И ПОДВИЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*Приведены и проанализированы основные требования при проектировании систем электроснабжения (СЭС) космических ракетных комплексов и систем автономного электроснабжения (САЭ) подвижных комплексов, определены основные этапы проектирования указанных систем. В соответствии с этим обозначены основные особенности создания систем электроснабжения, выделена общая структура формирования комплексного подхода к проектированию. На примере создания системы электроснабжения наземного комплекса КРК «Циклон-4» была рассмотрена структура комплексного подхода. Дополнительно приведены особенности создания систем автономного электроснабжения.*

**Ключевые слова:** создание, структура, комплексный подход, система электроснабжения, проектирование, качество.

### **1. Требования, предъявляемые к СЭС и САЭ**

Создание новой техники, в том числе систем электроснабжения, начинается с формирования требований, предъявляемых к ней. Общие требования к системам электроснабжения должны являться результатом решения задачи более высокого уровня.

Однако в этом процессе существуют особенности, связанные с неопределенностью, неполнотой информации, творческими (не формализованными) решениями [1].

Наиболее существенными в распределении и формировании требований по уровням иерархии являются следующие аспекты [2]:

1. На верхнем уровне, как правило, формируется не весь спектр требований, и проектиранту объектов нижнего уровня оставляется свобода в принятии решений.

2. Требования верхнего уровня, зачастую, носят описательно словесный характер (степень автоматизации, автономность и т.д.) и подчас не имеют числового выражения.

Упорядочение процесса согласования требований и характеристик создаваемых систем электроснабжения в силу этих особенностей носит итерационный характер. Сокращение шагов в этом процессе строится на научном обосновании требований и создании нормативно-технической документации. Общие технические требования, предъявляемые сегодня к системам электроснабжения, включают требования по:

- назначению;
- радиоэлектронной защите;
- живучести и стойкости к внешним воз-

действиям;

- надежности;
- эргономике и обитаемости;
- эксплуатации, удобству технического обслуживания, ремонта и хранения;
- транспортабельности;
- безопасности;
- защите конфиденциальной информации;
- стандартизации и унификации;
- технологичности;
- конструктивным решениям;
- технико-экономическим показателям;
- метрологическому обеспечению;
- математическому, программному и информационному обеспечению.

Анализируя существующую систему общих требований можно отметить, что при обосновании облика систем электроснабжения на верхнем уровне задаются:

1. Перечень свойств, численное значение показателей, которые подлежат последующему определению [3]. К таким свойствам отнесены:

- надежность;
- живучесть;
- безопасность;
- эксплуатационные свойства (удобство технического обслуживания, ремонта, хранения и т.д.);
- транспортабельность;
- технологичность;
- экономичность;
- математическое обеспечение и ряд других.

Рекомендации по преодолению неопределенностей носят весьма общий характер и сводятся к следующему [3]:

1. Обоснование тактико-технических и экономических требований, предъявляемых к САЭ

и СЭС, и сроков создания должно производиться в рамках всей системы по критерию «эффективность-стоимость».

2. Требования к системам электроснабжения по назначению определяются, в основном, путем анализа возложенных на них задач и задач наземного комплекса в различные периоды времени (режимы работы) с учетом прогноза достижимого уровня ГТХ.

3. Выбор количественных значений ГТХ основывается на использовании методического аппарата теории сложных систем, исследований операций, теории принятия решений, математической статистики, теории массового обслуживания, реализованного в методах прогнозирования, оптимизации, технико-экономических оценок, статистического моделирования и др.

4. Обоснование автономности функционирования основывается на определении временных показателей функционирования при определенном (ограниченном) материально-техническом обеспечении.

Обоснование универсальности применения основывается на использовании методов теории массового обслуживания в условиях ограничений по использованию конкретных САЭ и СЭС в рамках определенных комплексов.

Уже одно только перечисление методов, используемых и рекомендуемых при обосновании требований к космической технике, свидетельствует о чрезвычайной сложности этой проблемы, необходимости обширных знаний в различных областях науки и техники.

Также можно выделить стоимостные показатели создания СЭС и САЭ (1), которые описываются соотношением, учитывающим назначенный ресурс системы электроснабжения (R), срок его службы (T), годовые затраты на эксплуатацию ( $C_r^c$ ), стоимость разработки системы ( $C_p^c$ ) [1]:

$$C_{сэс} = C_r^c \frac{T}{R} + \frac{C_p^c}{R} \quad (1)$$

## 2. Этапы проектирования систем электроснабжения

Проектирование СЭС как любой сложной системы является многоплановым, творческим и чрезвычайно трудоемким процессом, в котором используются теоретико-расчетные методы, экспериментальные средства и методики, эвристические подходы и приемы принятия решений.

Объем и содержание проектов определяются единой системой конструкторской документа-

ции (ЕСКД). Процесс проектирования можно укрупненно представить схемой (рис.1).



Рис. 1. Укрупненная схема процесса проектирования СЭС и САЭ

Исходные данные на проектирование РКК содержатся в технических заданиях. При проектировании возможна генерация вариантов технических решений, если не учитывать эвристического начала этого процесса, который состоит из выбора (перебора) уже имеющихся вариантов технических решений.

Следует заметить, что получение новых технических решений из расширенных множеств аналогов эвристическими методами оказывается малопродуктивным.

## 3. Особенности создания систем электроснабжения

Особенности СЭС как объекта системных исследований состоят в следующем:

- глобальность решений и последствий задачи проведения подготовки к пуску и пуска РКН, наукоемкость последних достижений техники и технологии;

- высокая энергонасыщенность, энергоемкость и стоимость СЭС;

- СЭС и САЭ являются уникальными системами, практически не повторяющимися. Поэтому для них, в большинстве случаев, не применимы научные методы и оценки, построенные на основе статистических данных, из-за невыполнения условия статистической устойчивости явлений (т.е. возможности проводить массовые опыты в одних и тех же условиях);

- наличие для СЭС весьма жестких требований по своевременности проведения технологических процессов подготовки РКН к пуску [4].

Исходя из особенностей создания систем электроснабжения представлен общий алгоритм формирования структуры СЭС (рис.2).



Рис. 2. Алгоритм процесса формирования структуры СЭС с учетом моделирования нештатных ситуаций

Основными элементами, характерными для комплексного подхода создания САЭ и СЭС, являются [1]:

1. Цели. Целевой подход занимает центральное место. В задачах создания систем электроснабжения подход начинается с выявления цели, которая должна быть достигнута создаваемыми системами электроснабжения. Для систем электроснабжения главной целью является: обеспечение качественного электроснабжения потребителей технологического оборудования и технических систем, участвующих в подготовке и пуске РКН.

2. Ограничения (ресурсы). Важнейшими видами ограничений при создании и эксплуатации систем электроснабжения являются ресурсные ограничения (стоимость, затраты энергии), временные (оперативность создания, выполнения основных операций и пр.), а также ограничения по условиям эксплуатации (климатические, технологические, экологические, наличие или отсутствие целенаправленного воздействия других систем и пр.).

3. Альтернативы или варианты принятия решения. В процессе системного анализа должны быть выявлены допустимые (с учетом введенных

ограничений) альтернативы и выделены лучшие из них с какой-либо точки зрения.

Для относительно дорогостоящих систем электроснабжения не существует альтернативы.

4. Критерии - правила, по которым осуществляется сравнение и выбор вариантов. В качестве критерия выбора часто выдвигаются условия принадлежности варианта к множеству, обладающему определенными свойствами, или достижение при этом варианте экстремума по некоему показателю предпочтения. Так показателем пригодности какого-либо варианта структуры или функционального облика систем электроснабжения является возможность достижения их заданной цели в рамках сформулированных ограничений. Примером показателя предпочтения могут служить максимальная надежность, минимальные затраты ресурсов и др.

Таблица 1

Обеспечение комплексного подхода при создании СЭС НК КРК «Циклон-4»

ТТГ	ТТХ
Состав структуры СЭС	СЭСТС, СЭСТО, САДУ
1.Целевое назначение	Эффективность применения, качество работы, распределение электроэнергии, электроснабжение потребителей
Назначенный ресурс	$R \geq 10$ лет
Надежность	$P \geq 0,97$
2.Ограничение	$f, P, U$
Стойкость к атмосферным воздействиям	$t = +15+35$ °С, хлориды-300 мг/м <sup>2</sup>
3.Альтернатива	Нет
4 Критерии	$\Delta U_{\max} = \pm 10\%$ , $\Delta f_{\max} = \pm 0,5\%$
Надежность	Наработка на отказ 20000 ч., $t_{\text{восст}} = 1$ ч.
Безопасность	Определяется программой
Эргономичность	Определяется программой
Метрологичность	Определяется программой
Мощность	~6 МВт

5. Модели. Исследование альтернатив и соответствующих им показателей производится на моделях. При исследовании систем электроснабжения возникает необходимость привлечения не одной модели, а их комплекса и проведения с использованием этих моделей многокритериального анализа и синтеза. Типичными задачами анализа является ис-

следование характеристик вариантов СЭС, а типичные задачи синтеза состоят в генерации его конкурентоспособных вариантов и выбора предпочтительного варианта из множества допустимых.

6. Рекомендации. Это заключительная часть, содержащая выводы из проведенного исследования и указания по реализации его результатов.

Комплексный подход осуществляется в несколько этапов. Исходным этапом являются постановка задачи и анализ целей.

На примере космического ракетного комплекса КРК «Циклон-4» рассмотрим структуру обеспечения комплексного подхода проектирования СЭС НК (табл.1).

Для систем электроснабжения подвижных ракетных комплексов появляются несколько дополнительных критериев и ограничений (табл. 2).

Таблица 2  
Дополнительные особенности при создании САЭ

ТТТ	ТТХ
Время автономной работы	$t_{\text{авт}} = 3 \dots 14$ сут.
Ограничения	По количеству потребителей, фидеров питания, мощность, объем составных частей

## Выводы

Создание каждого нового комплекса приводит к появлению новых систем электроснабжения, по своей специфике не похожих на предыдущие структуры. При их создании практически нет никакой информации о свойствах и характеристиках.

Однако применение комплексного подхода к проектированию систем электроснабжения и систем автономного электроснабжения с использованием системного анализа (разд. 3) позволит качественно и на достойном уровне обеспечить создание новых систем.

## Литература

1. Бирюков Г. П. Основы проектирования ракетно-космических комплексов, [Текст] / Г.П. Бирюков, Б.К. Гранкин, В.В. Козлов – С-Пб. : Изд-во Алфавит, 2002. – 396 с.
2. Бирюков Г.П. Основы обеспечения надежности и безопасности стартовых комплексов [Текст] / Г.П. Бирюков, Ю.Ф. Кукушкин, А.В. Торпачев. – 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. Рева В.С. Формирование требований к системе контроля качества электроэнергии наземных комплексов для ракет космического назначения [Текст] / В.С. Рева, К.Н. Земляной, Е.Ю. Шевченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – №4(81). – С. 55-58.

Поступила в редакцию 01.06.2016

## В.С. Рева, К.М. Земляний, В.П. Фролов. Формування комплексного підходу до проектування систем електропостачання стаціонарних і рухомих комплексів

*Наведено та проаналізовано основні вимоги під час проектування систем електропостачання (СЕП) космічних ракетних комплексів і систем автономного електропостачання (САЕ) рухомих комплексів, визначено основні етапи проектування зазначених систем. Відповідно до цього визначено основні особливості створення систем електропостачання, виділено загальну структуру формування комплексного підходу проектування. На прикладі створення системи електропостачання наземного комплексу КРК «Циклон-4» було розглянуто структуру комплексного підходу. Додатково наведені особливості створення систем автономного електропостачання.*

**Ключові слова:** створення, структура, комплексний підхід, система електропостачання, проектування, якість.

**V.S. Reva, K.N. Zemlyani, V.P. Frolov. Формирование комплексного подхода к проектированию систем электроснабжения стационарных и подвижных комплексов**

*Results and analysis of the main requirements in the design of power supply systems (PSS) intended for space launch system and self-contained power supply systems (SCPSS) of mobile systems, spot the basic stages of the design of these systems. In accordance with this indicated the main features of a power supply systems, as highlighted in the overall structure of an integrated approach of design. As an example of the creation of power supply system space launch complex «Cyclone-4» was considered the structure of an integrated approach. Advanced features have been shown to create the SCPSS.*

**Key words:** *creation, structure, complex approach, power supply system, design, quality.*