

УДК 629.764.01

К.В. Безручко¹, А.О. Давидов¹, В.П. Фролов²¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина*² *Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» имени М.К. Янгеля, Украина*

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА КРК «ЦИКЛОН-4» С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА КОСМОДРОМЕ АЛКАНТАРА

В статье приведены особенности и специфические признаки технологического процесса подготовки и проведения пуска ракеты-носителя с космическим аппаратом. Приведена общая характеристика систем электроснабжения действующих ракетно-космических комплексов. Приведены общие принципы построения действующих систем внутреннего электроснабжения стартовых комплексов. Рассмотрены основные принципы разработки системы электроснабжения наземного комплекса КРК «Циклон-4». Приведены отличия системы электроснабжения наземного комплекса КРК «Циклон-4» от существующих систем электроснабжения КРК.

Ключевые слова: наземный комплекс, стартовый комплекс, система электроснабжения, Циклон-4.

Введение

Космический ракетный комплекс «Циклон-4», размещаемый на космодроме Алкантара (штат Мараньян Бразилия), представляет собой сложную взаимосвязанную систему электроприемников, состоящую из большого количества технологического оборудования и технических систем, территориально располагаемых в сооружениях наземного комплекса, функционирование которых подчинено единому технологическому процессу подготовки и пуска ракеты-носителя с космическим аппаратом.

Технологический процесс подготовки и проведения пуска ракеты-носителя с космическим аппаратом характеризуется рядом особенностей и специфических признаков [1-2]:

- жесткой циклограммой работы технологического оборудования КРК, связанной с необходимостью пуска ракеты-носителя с космическим аппаратом в строго определенное время;
- большим ущербом, связанным с нарушением технологического процесса при провалах напряжения в системе электроснабжения технологического оборудования, в том числе с потерей работоспособности технологического оборудования КРК;
- пикообразным графиком потребляемой мощности, характеризующимся относительно малым электропотреблением в режиме дежурства и профилактических работ на КРК (несколько сотен кВт) и большой потребляемой мощностью (несколько МВт) в режиме штатных работ при

подготовке и пуске ракеты-носителя с космическим аппаратом;

- высокой требуемой степенью надежности технологического оборудования, которое работает без присутствия обслуживающего персонала во время максимума нагрузки при проведении пуска ракеты-носителя с космическим аппаратом.

Перечисленные специфические особенности работы электропотребителей технологического оборудования наземного комплекса относятся практически ко всем наземным комплексам КРК, разработанным в СССР и постсоветском пространстве, и являются основополагающими при выборе структуры систем электроснабжения наземного комплекса.

В статье представлены особенности построения систем электроснабжения наземного комплекса КРК «Циклон-4» при ее эксплуатации на космодроме Алкантара.

1. Общая характеристика систем электроснабжения действующих ракетно-космических комплексов

Одним из важнейших элементов КРК, обеспечивающих подготовку и пуск ракеты-носителя, является система электроснабжения (рис. 1). Система электроснабжения представляет собой совокупность систем генерирования, преобразования и распределения электрической энергии.

Системы электроснабжения по способу питания подразделяются на системы электроснабжения, питающиеся от государственной энергосети, и автономные.

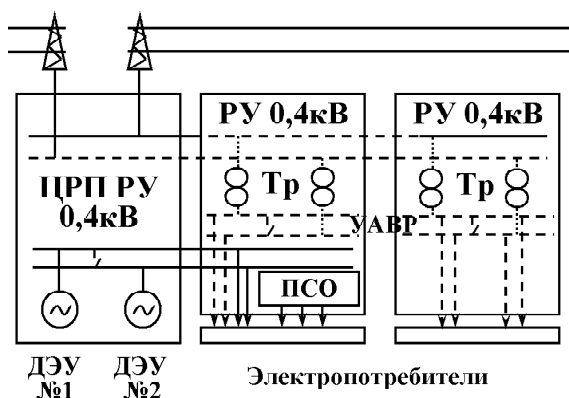


Рис. 1. Типовая схема системы электроснабжения КРК:
 ЦРП - центральный распределительный пункт;
 РУ - распределительное устройство; Тр - трансформатор; ДЭУ - дизельная энергоустановка;
 УАВР - устройство автоматического ввода резерва

В свою очередь система электроснабжения, питающаяся от государственной сети, подразделяется: на систему внешнего электроснабжения объектов наземного комплекса, систему внутреннего электроснабжения объектов КРК, систему электроснабжения технологического оборудования, систему электроснабжения технических систем.

Системы электроснабжения современного КРК должны обеспечивать [2-3]:

- надежность и экономичность;
- безопасность и удобство в эксплуатации;
- надлежащее качество электроэнергии в соответствии с требованиями нормативных документов.

Системы внутреннего электроснабжения различных космодромов отличаются большим разнообразием по составу оборудования и по схемным решениям. Это обусловлено как различным временем ввода их в эксплуатацию, так и большим разнообразием самих комплексов [2, 4-5].

В состав системы внутреннего электроснабжения (рис. 2) входят следующие элементы: центральный распределительный пункт (один или несколько); трансформаторные подстанции 6 (10)/0,4 кВ, часть которых может входить в состав центрального распределительного пункта; автономные источники электроснабжения и системы автономного электроснабжения; кабельные и воздушные линии электропередачи напряжением 6 (10) и 0,4 кВ; распределительные пункты и блоки; устройства компенсации реактивной мощности и/или фильтры высших гармоник.

Система внутреннего электроснабжения получает питание от сетевой понизительной подстанции системы внешнего электроснабжения или госэнергосистемы напряжением 6 (10) кВ.

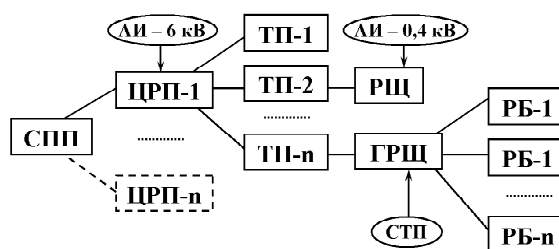


Рис. 2. Структурная схема системы внутреннего электроснабжения КРК:

ЦРП - центральный распределительный пункт;
 ТП - трансформаторные подстанции; АИ - автономные источники электроснабжения; РЩ - распределительный щит; ГРЩ - главный распределительный щит;
 РБ - распределительный блок; СПП - сетевая понизительная подстанция

Поскольку большинство приемников КРК относятся к I категории, то все трансформаторные подстанции выполняются двухтрансформаторными и запитываются по двум радиальным линиям, образуя, таким образом, два независимых источника электроснабжения [5].

Автономными источниками электроэнергии, обычно, являются дизельные энергоустановки с высокой степенью автоматизации. Они могут централизованно подключаться к центральному распределительному пункту или к главному распределительному щиту отдельных систем. В этом случае они могут совместно с питающими сетями образовывать системы автономного электроснабжения или системы гарантированного электропитания отдельных объектов КРК [6].

Качество электроэнергии определяется не только свойствами системы электроснабжения, но и свойствами электроприемников и электрических сетей потребителей, подключаемых к системе.

Особенностью электроприемников КРК является их разнообразие и сложность, выражающиеся в том, что наряду с традиционной трехфазной и однофазной нагрузкой в виде синхронных и асинхронных двигателей, систем отопления и освещения, в них присутствует большая доля приемников с явно выраженной нелинейной нагрузкой: выпрямители, различные статические преобразователи, источники вторичного электропитания с бестрансформаторным вводом, а также электроприемники средств электронно-вычислительной техники и других технических средств информационных технологий [6].

Как правило, технические условия на электрооборудование КРК не регламентируют его воздействие на источники электроэнергии, в то время как это воздействие во многом определяет показатели качества электроэнергии в точках

присоединения и существенно влияет на выбор мощности источников электроэнергии. Особенно сильно это сказывается при питании объектов КРК от автономных источников электроэнергии.

Поэтому, помимо традиционных задач по обеспечению электроэнергией, в настоящее время система внутреннего электроснабжения, с одной стороны, должна обеспечивать качество электроэнергии до уровня, необходимого для электроприемников КРК, а с другой стороны, служить буфером или фильтром, снижающим уровень воздействия этих электроприемников на питающие электрические сети и источники электроэнергии до приемлемого значения [7].

В существующих системах внутреннего электроснабжения используются устройства, обеспечивающие качество и бесперебойность электроснабжения - системами гарантийного электропитания потребителей переменного трехфазного тока.

Поскольку мощность автономных источников электроэнергии таких систем ограничена, к ним подключаются только электроприемники особой группы, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного выхода из штатной ситуации при нарушении электроснабжения КРК, предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего оборудования.

Автоматизированная система гарантированного электропитания (рис. 3) предназначена для обеспечения электрической энергией «без разрыва синусоиды» напряжения электроприемников группы 1А, во всех случаях нарушения электроснабжения от системы внешнего электроснабжения.

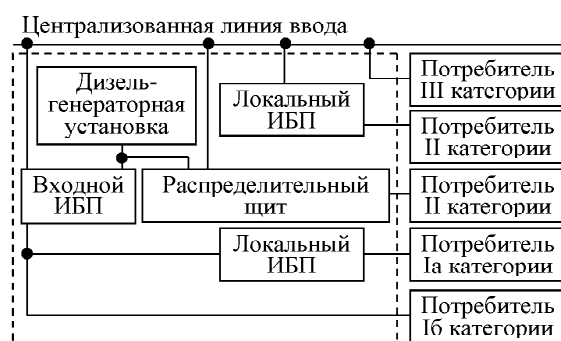


Рис. 3. Структурная схема типовой системы гарантированного электропитания

Система состоит из следующих основных частей: дизельной энергоустановки; шинно-пневматической соединительной муфты; инерционного накопителя энергии; обратимой синхрон-

ной машины, которая может работать как в режиме генератора электроэнергии, так и в режиме электродвигателя; системы комплектующих устройств [7].

Учитывая указанные особенности при подготовке и пуске ракеты-носителя с космическим аппаратом, следует отметить, что общепромышленная система электроснабжения не сможет обеспечить требуемых показателей качества электроснабжения.

Существующие стартовые комплексы КРК из-за несовершенства систем внутреннего электроснабжения, связанного с использованием в них морально и физически устаревших источников электроснабжения, требуют постоянного привлечения дорогостоящих резервных средств обеспечения электроэнергией, в частности, газотурбинных энергоустановок и обеспечивают электроэнергией с перебоями.

Использование в составе наземного технологического оборудования нелинейных потребителей электроэнергии (микропроцессорные устройства регулирования и управления, бесконтактная коммутационная и токоограничивающая аппаратура, бестрансформаторные вторичные источники электропитания и др.) приводит к тому, что энергосистема не в состоянии своими средствами поддерживать требуемые значения показателей качества.

Для улучшения показателей качества электроэнергии на стартовом комплексе используются системы автономного электроснабжения — комплексы средств преобразования и распределения электроэнергии, способные обеспечивать надежное электроснабжение потребителей, как совместно с энергосистемой, так и без связи с ней. В состав этих систем обязательно входят системы гарантированного электропитания — устройства, обеспечивающие электроснабжение ответственных потребителей без перерыва или с допустимым перерывом и заданным качеством электроэнергии в периоды штатных работ, а также при изменении режима работы энергосистемы или при нарушении работы основного источника электроэнергии.

Решение вопроса надежного электроснабжения технологического оборудования, участвующего в подготовке ракеты-носителя с космическим аппаратом, может быть обеспечено использованием в составе системы электроснабжения стартового комплекса систем гарантированного электропитания, построенных на современной элементной базе и совмещающих в себе функции гарантированного электропитания с требуемыми выходными характеристиками и обеспечением автоматического контроля.

Специфика технологического процесса подготовки ракеты-носителя к пуску выдвигает же-

стикие требования к надежности работы технологического оборудования и, соответственно, к работе системы электроснабжения технологического оборудования КРК.

Параметры электрической сети на выходе систем электропитания, устанавливаемых в рамках системы гарантированного электроснабжения, должны определяться требованиями к электроснабжению наземного технологического оборудования.

Система гарантированного электроснабжения должна обеспечивать функцию оповещения персонала о возникающих аварийных ситуациях в системах электропитания. Автоматическое закрытие информационной системы объекта с гарантированным сохранением целостности данных производится при невозможности длительного обеспечения автономной работы потребителей.

2. Отличительные особенности системы электроснабжения наземного комплекса «Циклон-4»

Учитывая рассмотренные особенности при подготовке и пуске ракеты-носителя с космическим аппаратом, а также современные технологии, применяемые в системах электроснабжения ответственных объектов, при создании систем электроснабжения наземного комплекса, при разработке системы электроснабжения наземного комплекса КРК «Циклон-4» разработчики придерживались следующих основных принципов:

- для обеспечения требуемой надежности применение в составе системы электроснабжения различных схем резервирования составных частей систем электроснабжения (несколько источников электропитания, независимые линии электроснабжения сооружений, различные взаиморезервируемые секции шин в распределительных щитах, взаиморезервируемые: трансформаторы, ИБП, устройства преобразования электроэнергии, преобразователи частоты и т.п.);
- применение серийно выпускаемых промышленных источников бесперебойного питания и устройств преобразования электроэнергии, обладающих повышенной надежностью;
- максимальное использование в разрабатываемых низковольтных комплектных устройствах унифицированных узлов и конструкций, что позволяет сократить сроки создания систем электроснабжения и снизить затраты на ее разработку;
- применение автоматизированных устройств, которые повышают надежность электроснабжения технологического оборудования и позволяют автоматизировать работу системы электроснабжения;
- создание в составе системы электроснабжения технологического оборудования автома-

тизированной системы контроля качества электроэнергии и управления, которая позволит вести непрерывный контроль показателей качества электропитания технологического оборудования и автоматическое управление составными частями системы электроснабжения с целью обеспечения оперативного выхода из нестандартных ситуаций.

Такой подход при проектировании системы электроснабжения современных КРК является основополагающим, однако, существует ряд факторов, существенно влияющих на структуру современной системы электроснабжения наземного комплекса КРК «Циклон-4» (рис. 4) применительно к территории космодрома Алкантара в Бразилии, что отличает эту систему от других существующих систем электроснабжения КРК (табл. 1).

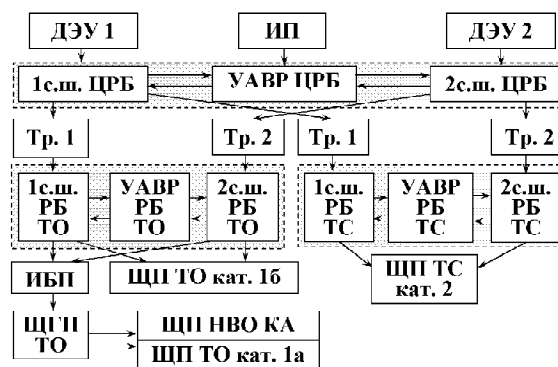


Рис. 4. Структурная схема системы электроснабжения стартового комплекса ракеты носителя «Циклон-4»: ДЭУ – дизельная энергоустановка; ИП – источник питания; с.ш. – секция шин; ЦРБ – центральный распределительный блок; УАВР – устройство автоматического ввода резерва; Тр. – трансформатор; РБ – распределительный блок; ТО – технологическое оборудование; ТС – технические системы; ЩП – щит питания; кат. – категория; ЩП ГП – щит гарантированного питания; НВО – наземное вспомогательное оборудование; КА – космический аппарат

Для обеспечения требуемой надежности электроснабжения при построении систем электроснабжения наземных комплексов требуется наличие трех независимых взаиморезервирующих источников электропитания. На существующих КРК этот вопрос решался, как правило, использованием одного-двух независимых источников электропитания от существующей государственной энергосети, а также автономных источников в виде мощных дизельных электростанций, энергопоездов, газотурбинных установок, а также местных дизельных электростанций на напряжении 380/220В.

Существующая в настоящее время на космодроме Алкантара система электроснабжения мо-

жет обеспечить только один независимый ввод переменного тока напряжением 13,8кВ частотой 60Гц, от коммерческой линии электропередач (ЛЭП) "СЕМАР", характеризующейся нестабильностью подачи электропитания, в связи с чем его нецелесообразно использовать как основной источник электроэнергии.

В связи с этим в системе электроснабжения КРК «Циклон-4» создается энергоблок, который содержит в своем составе три шины электропитания потребителей наземного комплекса и группу дизельных электрических станций на напряжение 13,8 кВ, которые в зависимости от режима

работы наземного комплекса и текущей потребляемой мощности комплекса, могут автоматически подключаться в работу на соответствующие шины электропитания и тем самым обеспечивать три независимых источника электроэнергии для нужд наземного комплекса. При таком уровне автоматизации системы удастся максимально оптимизировать, с технико-экономической точки зрения, количество применяемых в энергоблоке дизельных электростанций и сократить потребление дизельного топлива, при должном уровне обеспечения надежности системы электроснабжения.

Таблица 1
Сравнение параметров систем электроснабжения различных стартовых комплексов

Агрегат	Параметр	Стартовый комплекс ракеты-носителя «Циклон-4» на космодроме Алкантара		Стартовый комплекс космодрома в Южной Корее
		Фактически	Предлагаемая модернизация	
Источник питания	Количество, шт.	1	1	1
	Суммарная мощность, МВт	5,0	1,8	2
	Напряжение, кВ	13,8	13,8	6,0
	Энергозатраты, МВт·ч	115	41,4	48
Дизельная энергоустановка	Количество, шт.	2	2	4
	Суммарная мощность, МВт	5,0	3,6	2
	Напряжение, кВ	13,8	13,8	6,0
	Энергозатраты, МВт·ч	115	82,8	48
Центральный распределительный блок	Мощность, МВт	5,0	1,8	-
	Напряжение, кВ	13,8	13,8	-
	Энергозатраты, МВт·ч	115	41,4	-
Трансформатор	Количество, шт.	6	4	2
	Суммарная мощность, МВт	5,0	3,6	2
	Напряжение, кВ	13,8/0,38	13,8/0,38	6,0/0,38
	Энергозатраты, МВт·ч	115	82,8	48
Главный распределительный блок	Мощность, МВт	2,0/2,0/1,0	1,5; 0,3	2
	Напряжение, кВ	0,38	0,38	0,38
	Энергозатраты, МВт·ч	46	34,5	48
Блок питания технологического оборудования	Мощность, МВт	-	-	1,2
	Напряжение, кВ	-	-	0,38
	Энергозатраты, МВт·ч	-	-	28,8
Источник бесперебойного питания	Количество, шт.	12	1	1
	Суммарная мощность, МВт	0,258	0,172	0,3
	Напряжение, В	0,38/0,22	0,38	0,38
	Энергозатраты, МВт·ч	5,934	3,956	7,2
Щит гарантированного питания	Количество, шт.	4	1	1
	Мощность, МВт	0,06	0,172	0,3
	Напряжение, В	0,38/0,22	0,38	0,38
	Энергозатраты, МВт·ч	1,38	3,956	7,2

В связи с тем, что определенная часть применяемых в составе технологического оборудования электропотребителей не способна работать от сети с частотой переменного тока 60 Гц (номинальная частота для системы), в составе сис-

тем электроснабжения технологического оборудования применены преобразователи частоты 60/50 Гц.

Учитывая повышенную важность подаваемого качества электроэнергии на технологическое

оборудование, в составе системы электроснабжения технологического оборудования существует система контроля качества электроэнергии, которая позволяет вести непрерывный контроль показателей качества электроэнергии технологического оборудования и автоматически управлять составными частями системы электроснабжения с целью обеспечения предотвращения или оперативного выхода из нештатных ситуаций и обеспечения необходимой надежности электропитания.

В связи с тем, что климат окружающей среды на месте размещения космодрома Алкантара - тропический влажный с морским типом атмосферы, особое внимание уделяется исполнению оборудования составных частей системы электроснабжения, которое в отличие от оборудования космодромов, расположенных на территории России и Казахстана, должно эксплуатироваться в относительно сложных климатических условиях (высокая влажность и температура, повышенное содержание солей в атмосфере и пр.).

Наряду с перечисленными особенностями применения систем электроснабжения наземного комплекса на космодроме Алкантара, следует также отметить отдельные технические решения, которые были применены при разработке системы электроснабжения, связанные с конструктивными особенностями запитываемого технологического оборудования.

В разрабатываемых в СССР космических ракетных комплексах большинство электропотребителей технологического оборудования и их систем управления запитывалось непосредственно от системы электроснабжения нестандартным для обычной промышленности напряжением постоянного тока 28,5 В. При этом их повышенные требования к надежности электроснабжения обеспечивались применением специальных стабилизирующих статических преобразователей использующих две первичные обмотки трансформатора блока питания, подключаемые к двум независимым вводам электропитания.

С 90-х годов массовое появление на рынке постсоветского пространства надежных микроконтроллеров и прочих вспомогательных устройств, построенных на современной элементной базе, позволило их использовать в сложнейших и ответственных отраслях промышленности, в том числе и при построении современных автоматизированных систем управления технологическим оборудованием КРК. Таким образом процент электропотребителей запитываемых от системы электроснабжения напряжением 28,5В существенно снизился. В настоящее время напряжением 28,5В запитываются только бортовые приборы ракеты-носителя, ряд датчиков и клапанов, которые непосредственно касаются ракетного сегмента

КРК «Циклон-4». Эта ситуация повлияла на то, что практически все системы автоматизированного дистанционного управления в настоящее время требуют прежде всего электропитания 220В, преобразовывая его в требуемые номиналы постоянного напряжения внутри своих систем. При этом по надежности электроснабжения системы автоматизированного дистанционного управления также относятся к первой категории особой группы, для которых недопустим разрыв кривой питающего напряжения.

Таким образом, для решения этих задач системы электроснабжения технологического оборудования в своем составе в каждом сооружении имеют по два взаиморезервирующих источника бесперебойного питания, рассчитанные на питание всех ответственных электропотребителей сооружения. Помимо этого для питания электропотребителей постоянного напряжения 28,5В применяются устройства преобразования электроэнергии, построенные на современных промышленных преобразователях по схеме надежности N+1.

В большинстве случаев в электропотребителях запитываемых напряжением 380/220В дистанционно управляемых систем автоматизированного дистанционного управления отсутствуют устройства управления, которые были бы способны получая команды от систем автоматизированного дистанционного управления осуществлять коммутацию силового питания подаваемого от систем электроснабжения технологического оборудования. В связи с этим устройства управления были интегрированы в распределительные шкафы систем электроснабжения технологического оборудования, при этом согласно требованиям разработчиков на устройства управления помимо основных задач были возложены дополнительные задачи по контролю состояния объекта управления и его низкоуровневой защиты по командам от датчиковой аппаратуры самого электропотребителя (насосы, клапана, задвижки с электроприводом).

Заключение

Таким образом, мы видим, что создаваемая система электроснабжения наземного комплекса КРК «Циклон-4» обладает целым рядом современных качеств, присущих системам электроснабжения ответственных объектов промышленности, при этом она также адаптирована под конкретные условия ее применения, с целью выполнения поставленной перед ней задачи — качественное и надежное электроснабжение электропотребителей КРК «Циклон-4» во всех режимах его эксплуатации. Как видно из таблицы 1, система электроснабжения стартового комплекса ракеты-носителя «Циклон-4» на космодроме

Алкантара после модернизации, предложенной авторами, соответствует мировым аналогам по надежности и энергозатратам, а иногда и превосходит их.

Литература

1. Основы проектирования ракетно-космических комплексов. (Методология обоснования облика комплексов) [Текст] / Г.П.Бирюков и др. – С.-Петербург: изд-во «Алфавит», 2002. – 395с.
2. Кожухов Н.С. Комплексы наземного оборудования ракетной техники [Текст] / Н.С.Кожухов, В.Н. Соловьев – М.: КБТМ, 1998. – 182с.
3. Карташов В.М. Основы проектирования систем наземного обеспечения [Текст] / В.М.Карташов, А.Г. Катков, В.В. Родченко – М.: изд-во МАИ, 1998. – 312с.

4. Куландин А.А. Энергетические системы космических летательных аппаратов [Текст] / А.А.Куландин, С.В. Тимашев – М.: Машиностроение, 1979. – 319с.

5. Маликов В.Т. Наземное оборудование ракет [Текст] / В.Т.Маликов, С.Ф.Комиссарик, А.М. Коротков. – М.: Воениздат, 1971. – 340с.

6. Соловьев В.Н. Комплексы наземного оборудования ракетной техники [Текст] / В.Н.Соловьев, Н.С.Кожухов – М.: 1998. – 412с.

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

Поступила в редакцию 01.06.2012

К.В. Безручко, А.О. Давидов, В.П. Фролов. Особливості побудови системи електропостачання наземного комплексу КРК «Циклон-4» з урахуванням специфіки її експлуатації на космодромі Алкантара

В статті приведені особливості та специфічні ознаки технологічного процесу підготовки та проведення пуску ракети-носія з космічним апаратом. Приведена загальна характеристика систем електропостачання діючих ракетно-космічних комплексів. Приведені загальні принципи побудови діючих систем внутрішнього електропостачання стартових комплексів. Розглянуто головні принципи розробки системи електропостачання наземного комплексу КРК «Циклон-4». Приведені відмінності системи електропостачання наземного комплексу КРК «Циклон-4» від існуючих систем електропостачання КРК.

Ключові слова: наземний комплекс, стартовий комплекс, система електропостачання, Циклон-4.

K.V. Bezruchko, A.O. Davidov, V.P. Frolov. Features construction of power-supply system of ground space-rocket complex «Cyclone-4» with a glance the specificity of its operation on the spaceport Alcantara

Characteristics and specific features of the process of preparation and launch rocket with the spacecraft are given in the article. General description of the existing power supply systems of space-rocket complexes are given. General principles of the existing systems of internal power launch facilities are given. Basic principles for the development of power-supply system of ground space-rocket complex Cyclone-4 are considered. Differences between the power-supply system of ground-space-rocket complex Cyclone-4 from the existing power-supply systems are given.

Keywords: ground complex, launch complex, power-supply system, Cyclone-4.