

# Энергообеспечение научных установок на борту самолета

**В публикации автор рассматривает вопросы энергообеспечения научных установок и научного оборудования на борту самолетов, приводит для них конкретные примеры применения средств электроснабжения на борту самолета.**

**Сергей Шишкин**

[schischckin.sergei2014@yandex.ru](mailto:schischckin.sergei2014@yandex.ru)

При разработке, а затем при установке и функционировании научного оборудования на борту самолета обеспечение электропитанием таких приборов является первоочередным вопросом. Причем размещение на борту самолета любого вносимого оборудования, которое напрямую не связано с функционированием летательного аппарата, имеет свои особенности, и их нельзя игнорировать. Это в первую очередь связано с безопасностью полетов. Каким бы ценным и уникальным ни было научное оборудование, устанавливаемое в самолет, ничто не может быть дороже человеческой жизни. ГОСТ Р56079-2014, пункт 3.2 «Безопасность полета»: «Свойство воздушного судна, в целом характеризующее способность обеспечивать завершение полета в ожидаемых условиях эксплуатации без нанесения вреда лицам или имуществу».

Где же взять на борту самолета надежные и сравнительно недорогие источники электроэнергии для электропитания научного оборудования? Кроме требований к качеству электропитания научных установок, возрастают требования и к потребляемой мощности. Мощная научная установка может потреблять от десятков до нескольких сотен кВт·А.

Основную энергию в летательных аппаратах отбирают от генераторов, приводимых в действие от маршевых двигателей самолета (вертолета). Рассмотрим очень кратко систему электроснабжения самолета ИЛ-76МД (далее — самолет). На самолете различают первичную, вторичную и резервную (аварийную) системы электроснабжения. Первичной называется такая система электроснабжения, в которой генераторы запускаются маршевыми двигателями. Электрическую энергию вторичной системы получают преобразованием первичной системы. Резервная (аварийная) система электроснабжения — это такая система, в которой электрическая энергия собирается от резервных источников: аккумуляторных батарей, электромашинных преобразователей, питаемых от аккумуляторных

батарей, и генераторов с приводом от вспомогательной силовой установки (ВСУ). Система СПЗС4П60В переменного трехфазного тока напряжением 200/115 В и  $f=400$  Гц является первичной и основной системой электроснабжения на самолете. Такая система объединяет четыре канала (каналы однотипны) по числу синхронных генераторов ГТ-60ПЧ6А и разделяется на две независимые подсистемы: подсистему левого и правого борта с двумя генераторами, работающими отдельно или параллельно в каждой независимой подсистеме. Мощность одного генератора ГТ-60ПЧ6А 60 кВт·А. В системе СПЗС4П60В предусмотрена параллельная работа трех генераторов. Параллельная работа четырех генераторов исключается. Синхронные генераторы первого и второго авиационных двигателей относятся к подсистеме электроснабжения левого борта, третьего, четвертого — к подсистеме правого борта. При отказе одного генератора происходит автоматическое подключение на его шины второго генератора. При выходе из строя одного или двух генераторов в одной подсистеме предусматривается автоматическое (с помощью блока коммутации шин БКШ-76) и ручное объединение шин двух подсистем левого и правого борта. БКШ-76 осуществляет включение двух-трех каналов и исключает включение четырех генераторов на параллельную работу. И это только первичная система электроснабжения! Еще имеются, как упоминалось выше, вторичная и резервная (аварийная) системы электроснабжения.

Хотя, с точки зрения «земного» электротехника, в самолете есть обилие средств электроснабжения и имеется, в первом приближении, запас по мощности, авиаторы весьма ревниво относятся к подключению к СЭС самолета «постороннего» научного и прочего оборудования, даже небольшой мощности. Если уж что-то и подключается к СЭС самолета, то с ними оговариваются все параметры подключаемой нагрузки: интервал работы, характер нагрузки, потребляемая

мощность, сдвиг фаз, работа при электрическом запуске авиадвигателя и т. д.

Основной нормативный документ, определяющий общие требования и нормы качества электроэнергии на борту самолетов и вертолетов, — ГОСТ Р 54073-2010 «Системы электроснабжения самолетов и вертолетов». Данный стандарт распространяется на системы электроснабжения самолетов и вертолетов и устанавливает общие требования к бортовому оборудованию и нормы качества электроэнергии на входных выводах оборудования (приемников и потребителей электроэнергии). В соответствии с ним (пункт 4.1) на самолетах (вертолетах) допускается применение систем электроснабжения следующих типов:

- переменного тока постоянной частоты 400 Гц;
- переменного тока переменной частоты 360–800 Гц;
- постоянного тока 27 и 270 В.

Кроме того, пункт 4.5 гласит: «Внешние источники должны поставлять электроэнергию с характеристиками на входных выводах приемников, приведенными в настоящем стандарте». Для того чтобы допустить в установившихся условиях падение напряжения между электрическим соединителем внешнего электропитания и входными выводами потребляющего оборудования, напряжения на электрическом соединителе должны быть при системе:

- переменного тока 113–118 В;
- постоянного тока 27 В: 27–29,4 В;
- постоянного тока 270 В: 260–280 В.

При обеспечении электропитанием научного оборудования на борту самолета, пожалуй, следует выделить два момента:

1. Если ресурсов штатных средств системы электроснабжения самолета СЭС достаточно, то в данном случае задача сводится к согласованию вопросов по размещению и установке оборудования в летательном аппарате.
2. Если ресурсов штатных СЭС самолета не хватает, необходимо задействовать дополнительные средства электроснабжения (генераторы, выпрямители, преобразователи, ВСУ и пр.), удовлетворяющие требованиям ГОСТ Р 54073-2010.

Сформулируем основные требования к СЭС, включающей в себя ВСУ, для электропитания научной установки на борту самолета:

- СЭС должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 54073-2010;
- первичным источником электроэнергии является штатная вспомогательная силовая установка ВСУ;
- управление в части подключения нагрузки к СЭС, а также контроль питающих напряжений должны осуществляться из кабины пилотов (гермоотсека);
- СЭС должна обеспечивать контроль несимметрии фазных напряжений, обрыва фаз и порядка чередования фаз питающей сети, а также защиту от перегрузок и коротких замыканий в цепях потребителей;
- в состав системы электроснабжения должны входить аккумуляторные батареи достаточной

**Таблица 1.** ВСУ, серийно выпускаемые НПО «Аэросила»

ВСУ	Выходная электрическая мощность, кВт·А
ТА18-100	60
ТА18-200М	90
ТА18-200МС	120

**Таблица 2.** ВСУ, выпускаемые АО «Мотор Сич»

ВСУ	Выходная электрическая мощность, кВт·А
АИ-24УБЭ	480
АИ-450-МС	40
АИ9-3Б	16

**Таблица 3.** Преобразователи, модули питания, выпускаемые НТЦ «АКТОР»

Преобразователь	Входное напряжение	Выходная электрическая мощность, кВт·А	Выходное напряжение, В
ПНАБ33-20/220/50-И	115 В, 400 Гц, 3 фазы	20	380 В, 50 Гц
ПНАБ31-3-02И		3,5	
ПНАБ11-3-02И	115 В, 400 Гц, 1 фаза		2,5
ПНАБ31-2/220/50-И	115 В, 400 Гц, 3 фазы	4,0	
ПНАБ31-4/220/50-19И			

емкости для электропитания оборудования заказчика; необходимо наличие устройства для подзарядки аккумуляторной батареи;

- необходимо устройство ввода и устройство распределения электроэнергии;
- при пропадании внешнего бортового напряжения от ВСУ потребители должны гарантированно осуществлять электропитание в течение заранее заданного интервала времени резервной системы электроснабжения, не связанной с резервной (аварийной) системой электроснабжения самолета. Как правило, при пропадании внешнего сетевого напряжения потребители сразу переходят в режим пониженного энергопотребления.

При пусконаладочных работах, при настройке и проверке составных частей установки, а также при проведении экспериментов на земле (на аэродроме) можно задействовать аэродромные подвижные электроагрегаты АПА-50, АПА-100 или им аналогичные, подключаемые к СЭС самолета. Они служат автономными источниками электрической энергии и предназначены для питания постоянным и переменным током бортовой электро- и радиоаппаратуры летательных аппаратов при наземном обслуживании, а также для питания электрических систем запуска авиационных газотурбинных двигателей. Их можно переключить на РУ СЭС научной установки. Данные электроагрегаты могут выдавать как трехфазный переменный ток, так и постоянный ток. Выходная мощность у АПА-100 достигает 100 кВт·А. Электроагрегаты укомплектовываются кабелями со штепсельными разъемами для соединения с бортовыми разъемами аэродромного питания самолетов. К ИЛ-76 можно подключить по одному подобному электроагрегату с каждого борта через штепсельный соединитель аэродромного питания ШРАП-400-3Ф. То есть суммарную мощность, подключаемую на земле к научной установке, можно довести до 200 кВт·А (по трехфазной сети 115 В, 400 Гц). ВСУ в самолете при этом не запускается.

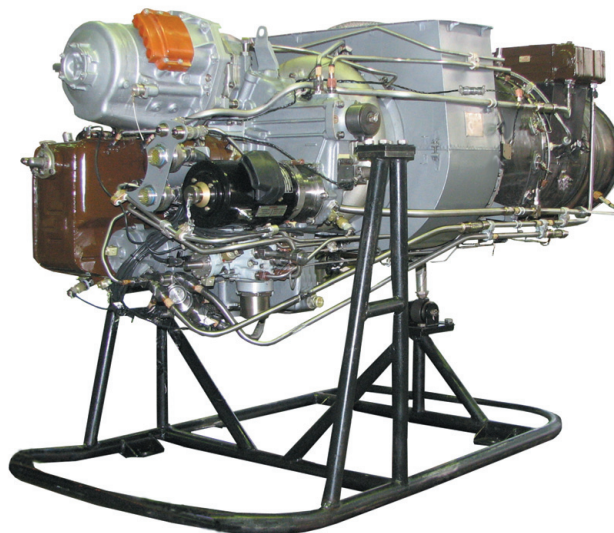
В настоящее время имеются ВСУ как отечественного, так и иностранного производства. Некоторые ВСУ, серийно выпускаемые НПО «Аэросила» [1], приведены в таблице 1. ВСУ, выпускаемые АО «Мотор Сич» [2], приведены в таблице 2. Внешний вид бортовой энергетической установки ТА18-200МС приведен на рис. 1. Преобразователи, модули питания, выпускаемые НТЦ «АКТОР» [3], приведены в таблице 3.

В настоящее время имеются ВСУ как отечественного, так и иностранного производства. Некоторые ВСУ, серийно выпускаемые НПО «Аэросила» [1], приведены в таблице 1.

ВСУ, выпускаемые АО «Мотор Сич» [2], приведены в таблице 2.

Внешний вид бортовой энергетической установки ТА18-200МС приведен на рис. 1.

Преобразователи, модули питания, выпускаемые НТЦ «АКТОР» [3], приведены в таблице 3.



**Рис. 1.** Внешний вид бортовой энергетической установки ТА18-200МС



Рис. 2. Внешний вид преобразователя ПНАБ31-4/220/50-19И

Внешний вид преобразователя ПНАБ31-4/220/50-19И представлен на рис 2.

Зачастую в научной установке задействованы лабораторные и промышленные приборы и оборудование, которые должны работать на земле, в помещении, в лаборатории при нормальных климатических условиях по ГОСТ15150-69. Сформулируем основные требования к средствам электропитания и электроснабжения в научной аппаратуре, которая функционирует в лаборатории на земле:

- электропитание осуществляется от стационарной промышленной трехфазной сети переменного тока с глухо заземленной нейтралью напряжением 380/220 В частотой 50 Гц с качеством питания по ГОСТ 13109-97 или от передвижной электростанции, обеспечивающей питание потребителей трехфазным переменным током с изолированной нейтралью напряжением 380 /220 В

частотой 50 Гц с качеством питания по ГОСТ 21671-82;

- система электроснабжения должна обеспечивать контроль несимметрии фазных напряжений, обрыва фаз и порядка чередования фаз питающей сети, а также защиту от перегрузок и коротких замыканий в цепях потребителей;
- СЭС должны обеспечивать защиту обслуживающего персонала от поражения электрическим током.

Разработчик СЭС должен найти компромисс и учесть требования вышеуказанных нормативных документов, чтобы спроектировать систему электропитания, которая в итоге все-таки удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 54073-2010. В общем случае задача сводится к адаптации лабораторного и промышленного оборудования к бортовой сети самолета.

Структурная схема системы электропитания на борту для научной аппаратуры с

требуемой мощностью до 30 кВ·А приведена на рис. 3.

Выходное напряжение с ВСУ поступает на распределительное устройство РУ (обозначение А5). Основная функция РУ — распределение энергии на составные части научной установки. В зависимости от состава, количества питающих напряжений на самолете может быть размещено несколько нештатных РУ в дополнение к приведенным на рис. 3. Панель контроля и коммутации А4 необходима для подключения/отключения (управления) выходных напряжений шкафа преобразователей А6 к нагрузкам научной установки, а также для контроля выходных напряжений. Данная панель может быть встроена в автоматизированное рабочее место оператора научной установки. Аэродромные подвижные электроагрегаты А1, А3 подключаются к СЭС самолета только на аэродроме. При размещении составных частей СЭС научной установки, а также при размещении и укладке силовых жгутов и кабелей в самолете необходимо учесть вопросы электромагнитной совместимости и помехозащищенности со штатными системами самолета.

Далее рассмотрим особенности подключения к бортовой сети системы электропитания управляемого технологического процесса. Пусть в научной установке имеется технологический процесс, в котором необходимо осуществлять управляемый нагрев (охлаждение) объекта регулирования. Управление многоканальное. В каждом канале имеется нагреватель с номинальной мощностью в несколько единиц кВ·А. Каналов управления может быть несколько сотен. Соответственно, общая

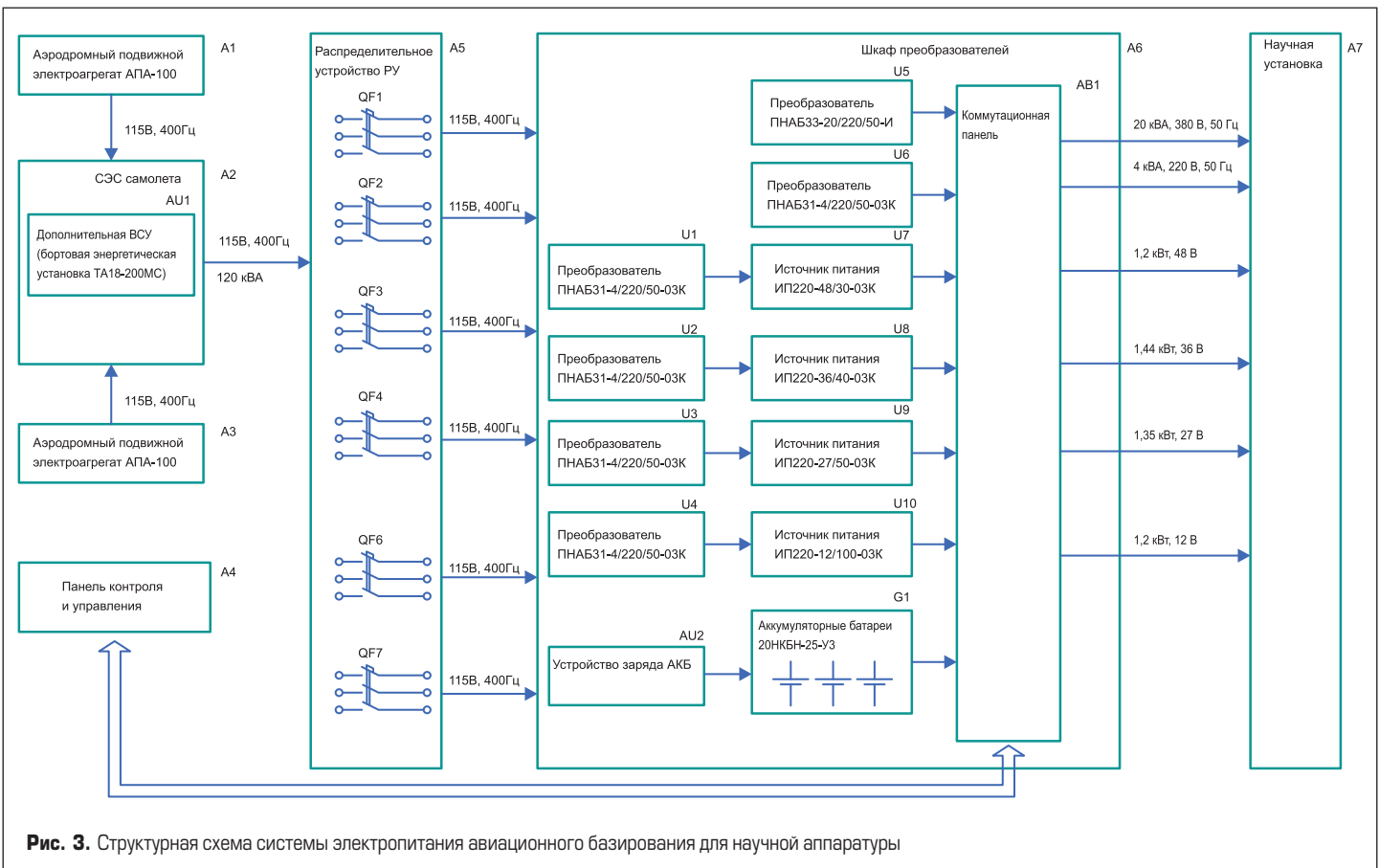


Рис. 3. Структурная схема системы электропитания авиационного базирования для научной аппаратуры

мощность потребления системы может достигать нескольких сотен кВт·А. В общем случае блок-схема одного канала представлена на рис. 4.

Коротко напомним алгоритм работы блок-схемы. Построение системы автоматического управления предполагает подключение к объекту регулирующего устройства (регулятора) и введение обратной связи в системе. На вход регулятора поступает сигнал рассогласования — разница между измеренным сигналом  $X$  и заданным уровнем  $W$  (уставкой). Задача регулятора состоит в том, чтобы так управлять исполнительным устройством (нагревателем) через регулирующий элемент, чтобы сигнал рассогласования свести к нулю при наличии возмущений. Отметим, что регулятор отделен от объекта регулирования исполнительным устройством, регулирующим элементом и датчиком.

При больших потребляемых мощностях целесообразно подключать регулирующий элемент к бортовой сети (после РУ по рис. 3), минуя преобразователи напряжения. Тем самым значительно уменьшая аппаратную часть системы электропитания и исключая лишние потери. Пример подключения регулирующего элемента на базе микросборки 2625КВ014 приведен на рис. 5.

Микросборка 2625КВ014 предназначена для использования в качестве одноканальных нормально разомкнутых полупроводниковых ключей для коммутации цепей переменного тока величиной до 25 А и напряжением до 280 В. Частота коммутируемого напряжения может быть 40–400 Гц.

Основные технические характеристики данной микросборки приведены на сайте предприятия-изготовителя [4]. На рис. 5 показана схема управления одним сигналом. Схемотехника микросборки 2625КВ014 позволяет также реализовать ее управление двумя сигналами (разрешение, управление).

Отдельно следует упомянуть о металлизации экранирующих покрытий проводов и жгутов, элементов конструкции и агрегатов самолета, в том числе и ЭЭС. Металлизация — соединение металлических элементов самолета и его агрегатов надежными электропроводящими связями для приведения всех элементов к одному электрическому потенциалу. Все требования для металлизации самолета в полной мере относятся

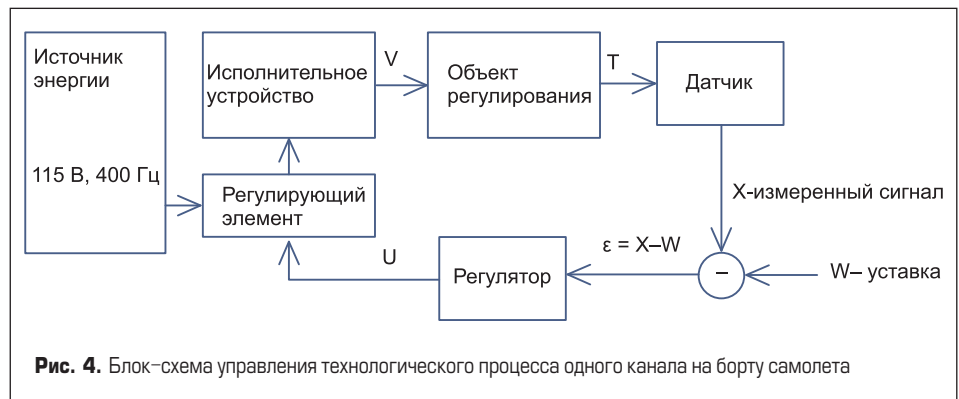


Рис. 4. Блок-схема управления технологического процесса одного канала на борту самолета

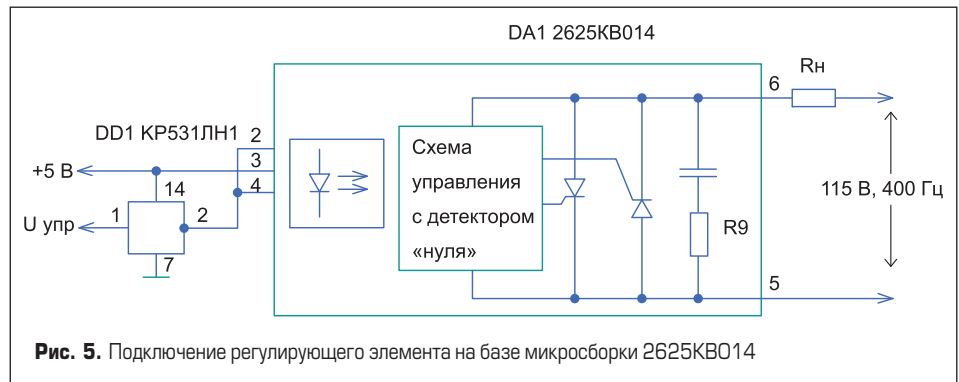


Рис. 5. Подключение регулирующего элемента на базе микросборки 2625КВ014

как к средствам электроснабжения научной установки, так и к ней самой. На этапе изготовления опытного образца все части научной установки (в том числе экранированные жгуты и кабели) должны быть металлизированы. Нормативный документ, в соответствии с требованиями которого должна производиться металлизация, — ОСТ 1 01025-82. Металлизация должна проводиться по конструкторской документации, утвержденной в установленном порядке.

### Заключение

При разработке системы электропитания для энергообеспечения научных установок на борту самолета имеется несколько факторов, которые нельзя игнорировать. В первую очередь необходимо учитывать фактор безопасной эксплуатации воздушного судна, который является преобладающим над всеми остальными. Мощность потребления для

мощной научной установки ограничивается выходной электрической мощностью ВСУ, устанавливаемой на борту летального аппарата. В части комплектующих и материалов отечественная промышленность выпускает почти все необходимые для разработки и изготовления систем электроснабжения и электропитания на борту самолетов для научных установок. Широкая номенклатура комплектующих представлена в перечне МОП 44 001.01-21 и в отраслевых авиационных перечнях.

### Литература

1. [www.aerosila.ru](http://www.aerosila.ru)
2. [www.tnp.motorsich.com](http://www.tnp.motorsich.com)
3. [www.aktor.ru](http://www.aktor.ru)
4. [www.proton-impuls.ru](http://www.proton-impuls.ru)
5. Система электроснабжения самолета ИЛ-76МД. Учебн. пособие. Сост. Кикоть Н. С. Ульяновск, УВАУГА, 2004.