

К вопросу обеспечения электропитанием

научных установок и оборудования на борту самолета

В публикации рассматриваются вопросы электропитания научных установок и оборудования на борту самолетов, их практическая реализация, а также приводятся конкретные примеры применения средств электроснабжения для научных установок.

Сергей Шишкин

На борту самолета (вертолета) могут быть размещены научные установки и оборудование, на которых проводятся актуальные исследования как фундаментального, так и прикладного характера. Среди них экологический мониторинг атмосферы, изучение озонового слоя, грозовых явлений, облаков вулканического пепла и другие. Изучение физики атмосферы — большая, неотъемлемая тема. Кроме того, сам самолет является объектом исследований и на земле, и в небе. Размещение и эксплуатация научного оборудования на борту воздушного судна, обеспечение его электропитанием при проведении подобных работ — актуальная задача не только нынешнего дня. Даже художественная литература 50–60-х годов прошлого века дает представление о масштабах и глубине научных работ, проводимых на борту самолета. Ну как здесь не вспомнить эпохальный роман Д. Гранина «Иду на грозу». Конечно, тогда существовали другие нормативные документы, требования, оборудование было попроще, да и самолеты были иные (не ИЛ-76, а ИЛ-12, ИЛ-14 и др). Но суть проблемы с тех пор несколько не изменилась. Чтобы все научное оборудование, размещенное в самолете, функционировало в штатных режимах, необходимо решить вопрос качественного электропитания на борту, то есть нужны соответствующие средства электропитания и электроснабжения. Они должны отвечать нормативам по электробезопасности, электромагнитной совместимости, помехоустойчивости, пожаробезопасности и регламентам качества электроэнергии.

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 правила для бортового оборудования и нормы качества электроэнергии на входных выводах оборудования (приемников и потребителей электроэнергии). В соответствии с ним (пункт 4.1) на самолетах и 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 от 113 до 118 В;
- постоянного тока 27 В, от 27 до 29,4 В;
- постоянного тока 270 В, от 260 до 280 В.

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

- Достаточно ресурсов штатных средств системы электроснабжения самолета СЭС. В данном случае задача сводится к согласованию вопросов по размещению и установке оборудования в летательном аппарате.
- Если ресурсов штатных СЭС самолета не хватает, то необходимо задействовать дополнительные средства электроснабжения (генераторы, выпрямители, силовые установки), которые должны удовлетворять требованиям ГОСТ Р 54073.

Зачастую научная установка состоит из приборов и оборудования, которые работают в лаборатории при комнатной температуре. Оставим за скобками проблемы, связанные с устойчивостью научного оборудования в установке к климатическому и механическому воздействию на борту самолета.

Сформулируем основные требования к средствам электропитания и электроснабжения научной аппаратуры, которая функционирует в лаборатории на земле:

- электропитание осуществляется от стационарной промышленной трехфазной сети переменного тока с глухозаземленной 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 и спроектировать систему электропитания, которая в итоге удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 54073-2010. В общем случае, задача сводится к вопросу адаптации лабораторного оборудования, подключаемого на земле в полевых условиях или в лаборатории к бортовой сети самолета.

Основную энергию в летательных аппаратах отбирают от генераторов, приводимых в действие маршевыми двигателями самолета (вертолета). Рассмотрим очень коротко систему электроснабжения самолета ИЛ-76МД (далее — самолета). На самолете различают первичную, вторичную и резервную (аварийную) системы электроснабжения. Первичной называется такая система электроснабжения, в которой генераторы приводятся маршевыми двигателями. Электрическая энергия вторичной системы получается преобразованием первичной системы. Резервная (аварийная) система электроснабжения — это такая система, в которой электрическая энергия получается 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. Данная 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 совместно или

параллельно в каждой независимой подсистеме. Мощность одного генератора ГТ-60ПЧ6А 60 кВ·А. В системе СПЗС4П60В предусмотрена параллельная работа трех генераторов. Параллельная работа четырех генераторов исключается. Синхронные генераторы 1-го и 2-го авиационных двигателей относятся к подсистеме электроснабжения левого борта, 3-го и 4-го — 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.

В качестве вторичной системы переменного тока с $U_n = 36$ В и $f = 400$ Гц используются два трансформатора ТС320СО4А. Также в качестве вторичной системы на самолете применяется система электроснабжения постоянного тока с номинальным напряжением 27 В. Преобразование электрической энергии трехфазного переменного тока в энергию постоянного тока осуществляется выпрямительными устройствами ВУ-6А (4 шт.). В подсистемах левого и правого борта, работающих в нормальном режиме раздельно, имеется по два выпрямительных канала (все каналы — 4 шт. — однотипны). Оба канала в подсистеме действуют только параллельно. Подсистемы электроснабжения левого и правого борта объединяются вручную с помощью выключателя объединения бортов и контакторов при отказе электроснабжения в отдельном канале. В состав каждого канала входят: выпрямительное устройство ВУ-6А, аппарат защиты ДМР-200ВУ (дифференциально-минимальное реле), аккумуляторная батарея 20НКБН-25-

У3, контакторы и реле включения, отключения выпрямительным устройством, контакторы включения аккумуляторных батарей на бортовую сеть, контакторы отключения аварийных шин А. Сила тока на выходе ВУ-6А составляет 200 А.

Резервными (аварийными) источниками переменного тока являются генератор ГТ-40ПЧ6 трехфазного переменного тока с напряжением 200/115 В и $f = 400$ Гц с приводом от ВСУ (ТА-6А) для питания потребителей электроэнергии на земле и в воздухе до высоты 7000 м при отказе основных генераторов. Электромашинные преобразователи ПТ-125Ц и ПО-750А используются как аварийные источники энергии при отказе первичной системы электроснабжения в воздухе на высоте полета более 7000 м. Питание преобразователей в этом случае осуществляется от аккумуляторных батарей.

Резервным (аварийным) источником постоянного тока является стартер-генератор ГС-12ТО. С приводом от ВСУ он используется для питания потребителей постоянного тока на земле и в воздухе до высоты 7000 м при отказе основных генераторов. Аккумуляторные батареи — это аварийные источники постоянного тока до включения генераторов ВСУ. Они обеспечивают электропитание жизненно важных потребителей 1-й категории: агрегатов запуска основных двигателей и ВСУ, приборов контроля работы двигателей, системы пожаротушения при посадке с убранными шасси, механизмов управления триммерами, преобразователей ПО-750А, ПТ-125Ц и др. Аккумуляторные батареи обеспечивают питание указанных потребителей в течение 20 мин полета. Размещение источников энергии переменного тока, блоков управления и защиты на самолете ИЛ-76МД приведено на рис. 1.

Несмотря на то, что с точки зрения «земного» электротехника в самолете имеется обилие средств электроснабжения и электропитания

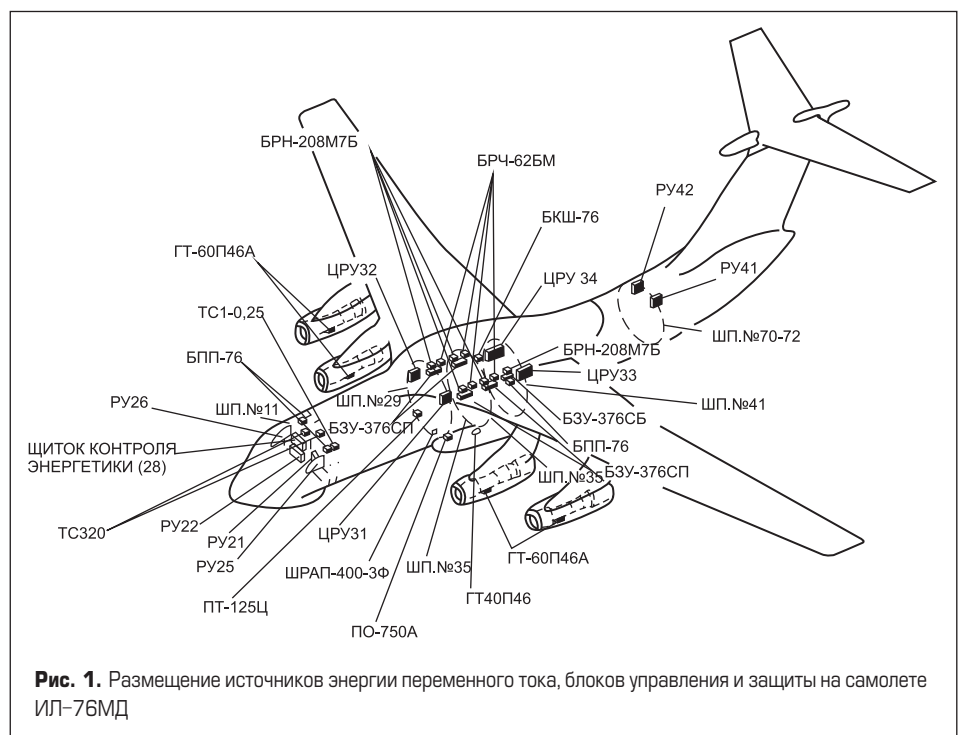
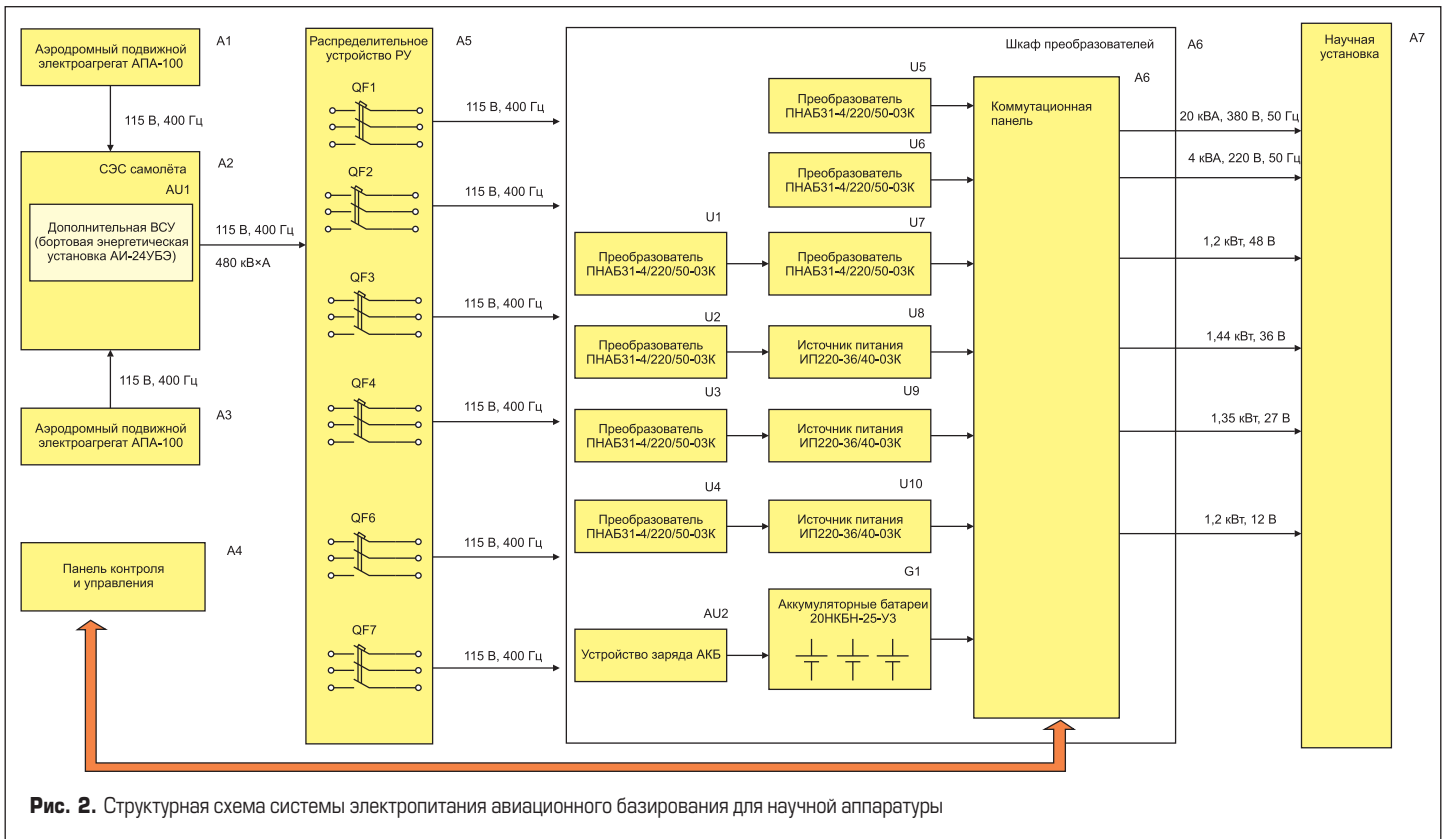


Рис. 1. Размещение источников энергии переменного тока, блоков управления и защиты на самолете ИЛ-76МД



и солидный 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, то с пилотами оговариваются все параметры нагрузки. Это, прежде всего, интервал работы, характер нагрузки, потребляемая мощность, сдвиг фаз, работа при электрическом запуске авиадвигателя, операции, связанные с переходом (переключением) с питания от одних источников электроэнергии на другие, включая переходы с питания или на питание от внешних источников и пр.

Если мощности штатной системы электропитания самолета (вертолета) не хватает, если речь идет о научной установке, потребляющей десятки или даже сотни киловольтампер (киловатт), то на летательном аппарате может быть установлена ВСУ с генератором (генераторами).

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

- СЭС должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 54073-2010;
- первичным источником электроэнергии является 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 доста-

точной 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, потребители при пропадании внешнего сетевого напряжения переходят сразу 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 аэродромный подвижной электроагрегат АПА-50 или АПА-100, 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 кВ·А. Электроагрегаты укомплектованы кабелями со штепсельными разъемами для соединения с бортовыми разъемами аэродромного питания самолетов. К ИЛ-76 можно подклю-

чить по одному подобному электроагрегату с каждого борта через штепсельный соединитель аэродромного питания ШРАП-400-3Ф. То есть суммарную подключаемую мощность на земле к научной установке можно довести до 200 кВ·А (по трехфазной сети 115 В, 400 Гц). ВСУ при этом не запускается.

Структурная схема системы электропитания для научной аппаратуры с потребляемой мощностью до 30 кВ·А приведена на рис. 2.

Вспомогательная силовая установка АУ1 и распределительное устройство А5 являются принадлежностью самолета и, как правило, устанавливаются предприятием, эксплуатирующим самолет-носитель. В качестве ВСУ могут быть задействованы следующие бортовые энергетические установки: АИ-24УБЭ (выходное напряжение 200/115 В частотой 400 Гц, выходная мощность до 480 кВ·А); АИ-450-МС (выход-



ное напряжение 200/115 В частотой 400 Гц, выходная мощность до 40 кВ·А); АИ9-3Б (выходное напряжение 200/115 В частотой 400 Гц, выходная мощность до 16 кВ·А). Внешний вид бортовой энергетической установки АИ-450-МС приведен на рис. 3.

Выходное напряжение с ВСУ поступает на распределительное устройство 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. 2. Шкаф преобразователей А6 выполнен на базе источников питания и преобразователей НТЦ «АКТОР» (Москва, г. Зеленоград). Внешний вид преобразователя ПНАБ31-4/220/50-03К представлен на рис. 4.

Панель контроля и коммутации А4 необходима для управления (подключения/отключения) 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 для электропитания установки только на аэродроме. Резервная (аварийная) система электропитания выполнена на аккумуляторной батарее G1. При работе ВСУ А1 или аэродромных подвижных электроагрегатов А1, А3 аккумуляторная батарея G1 заряжается через устройство заряда АУ2. Конечно, в каждом случае количество линий питающих напряжений как для основной, так и для резервной (аварийной) СЭС может быть разным. При размещении составных частей СЭС научной установки, а также при размещении и укладке силовых жгутов и кабелей в самолете необходимо учитывать помехозащищенность и электромагнитную совместимость исследова-



Рис. 4. Внешний вид преобразователя ПНАБ31-4/220/50-03К

тельской аппаратуры со штатными системами самолета. Если в научной установке есть приемники, которые удовлетворяют требованиям ГОС Р 54073, например входное питающее напряжение составляет 115 В, 400 Гц, то они могут быть подключены через устройства защиты напрямую к генераторам ВСУ.

Отдельно следует упомянуть о металлизации экранирующих покрытий проводов и жгутов, элементов конструкции и агрегатов самолета, в том числе и СЭС. 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 как к средствам электропитания 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 выполняться по конструкторской документации, утвержденной в установленном порядке.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает почти все необходимые комплектующие для разработки и изготов-

ления систем электроснабжения и электропитания на борту самолетов для научных установок. Можно применить комплектующие (контакты, автоматические выключатели, клеммные колодки и пр.) из перечня МОП 44 001.01-21 и отраслевых авиационных перечней. В настоящее время узким местом является поставка бортовых энергетических установок. Все приведенные в публикации бортовые энергетические установки выпускались ПАО «Мотор Сич» (г. Запорожье). В результате последних событий на Украине практически прекращены поставки комплектующих изделий и авиационных компонентов в Россию. Разработка и изготовление средств электроснабжения для электропитания научного и прочего оборудования на борту самолета — мероприятие очень затратное. Конечно, самый простой способ — найти контрагента, который поставит СЭС со всей нужной эксплуатационной документацией и сможет осуществить необходимое техническое сопровождение, присутствовать при пусконаладочных работах и т. д. Но, как показывает опыт, для крупных научных установок, потребляющих несколько сотен киловольт-ампер и имеющих большой спектр разного научного оборудования на десятки и сотни миллионов рублей, — найти готовую СЭС просто невозможно. Стоимость СЭС (с бортовой энергетической установкой) может быть сопоставима со стоимостью подключенной к ней научной установки.

Литература

1. www.aktor.ru
2. www.acmz.ru
3. Система электроснабжения самолета ИЛ-76МД. Учебное пособие / Сост. Н. С. Кикоть. Ульяновск: УВАУГА, 2004.
4. ГОСТ Р 54073-2010 Системы электроснабжения самолетов и вертолетов.