

УДК 629.7.064.5

DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-6-54-64

## ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРИЕМНИКОВ ПЕРВОЙ КАТЕГОРИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

А.В. КЕЧИН<sup>1,2</sup>, А.В. ЛЕВИН<sup>2</sup>, С.П. ХАЛЮТИН<sup>2</sup>, Б.В. ЖМУРОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт», г. Москва, Россия

В статье рассматривается вопрос обеспечения электроэнергией приемников первой категории в аварийном режиме работы систем электроснабжения перспективных и модернизируемых воздушных судов. Производится анализ опубликованных научных работ, выполненных как в России, так и за рубежом и направленных на решение задач анализа ненормальных режимов работы, синтеза систем электроснабжения и управления ими с целью предотвращения опасных последствий. Авторами рассмотрены оригинальные технические решения, направленные на обеспечение электропитанием необходимого качества приемников электрической энергии первой категории в аварийных режимах работы систем электроснабжения для безопасного завершения полета и посадки воздушного судна. Выполнена работа по анализу и обобщению данных по техническим характеристикам существующих агрегатов и устройств, разработанных ведущими мировыми производителями авиационного оборудования и применяемых в качестве аварийных источников электрической энергии на борту современных воздушных судов гражданской авиации. Определены преимущества и недостатки каждого технического решения, а также сформированы ограничения на область их применения. Проведен анализ перспективных вариантов аварийных источников электрической энергии, в том числе и таких, которые ранее не применялись в авиации из-за их недостаточного технического совершенства, например, водородных электрохимических генераторов. Определены преимущества и недостатки рассматриваемых вариантов, а также сформулированы ограничения на область их применения. На основании выполненного анализа предлагается решение, позволяющее улучшить режимы работы аккумуляторных батарей. Предложенное решение позволяет повысить надежность и долговечность аккумуляторных батарей, а также длительность питания от них приемников электрической энергии первой категории.

**Ключевые слова:** система электроснабжения самолета, аварийный режим, приемники первой категории.

### ВВЕДЕНИЕ

Система электроснабжения (СЭС) является одной из основных (кроме гидравлической и пневматической) энергосистем, применяемых в существующих воздушных судах (ВС).

Исследования [1, 2] показывают, что электрическая энергия (ЭЭ) имеет ряд существенных преимуществ по отношению к другим видам энергии:

- универсальность, т. е. принципиальная возможность питания любого типа оборудования;
- относительная простота реализации алгоритмов управления СЭС на основе микропроцессорных систем;
- достаточно высокий КПД передачи и преобразования энергии по сравнению с другими видами;
- существенно более низкая стоимость эксплуатации.

Данные преимущества приводят к тому, что на борту появляется все большее количество оборудования, питание которого осуществляется от СЭС. Согласно стандарту ГОСТ Р 54073-2010, приемники ЭЭ делятся на три категории, среди которых стоит особо выделить приемники первой категории. Приемники первой категории – это приемники, которые применяются (необходимо) для обеспечения завершения полета и безопасной посадки. В то же время этот же стан-

дарт определяет следующие режимы работы СЭС: нормальный, ненормальный и аварийный, при этом в любом из данных режимов должно осуществляться питание приемников первой категории<sup>1</sup>. Наиболее критичным с точки зрения обеспечения ЭЭ приемников первой категории является аварийный режим работы СЭС, так как согласно определению аварийный режим – это режим работы в полете при отказавших или отключенных первичных источниках электроэнергии, установленных на маршевых двигателях и вспомогательной силовой установке, когда происходит переход на электропитание от аварийных источников электроэнергии. Несмотря на неработоспособность маршевых двигателей, электропитание приемников первой категории должно обеспечиваться не менее 30 минут для средне- и дальнемагистральных двухдвигательных пассажирских ВС<sup>2,3,4</sup>, что при полете над сушей считается достаточным для совершения аварийной посадки. При полете над водной поверхностью требование к времени обеспечения аварийного питания приемников первой категории в соответствии с требованиями «Правил выполнения полетов...»<sup>5</sup> ужесточается и составляет величину 60 минут.

В то же время многочисленные исследования<sup>6</sup> [3, 4] показывают, что существует реальная перспектива повышения уровня электрификации ВС. Так в процессе проведения исследований были сформулированы концепции полностью электрического самолета (ПЭС) и более электрического самолета (БЭС). В рамках работ по развитию данных концепций проводится множество работ, как на территории РФ, так и за ее пределами<sup>78</sup> [3, 4, 5, 6], которые реализовались при создании самолетов Boeing B787 и Airbus A380, АВФ-32НС.

Поэтапное повышение уровня электрификации приводит к переводу потребителей пневмо- и гидросистем на электропитание, что уже реализовано на современных ВС Boeing B787 и Airbus A380. Так, согласно требованиям «Авиационных правил...» в системе управления полетом (СУП) должны применяться три независимых канала управления рулевыми поверхностями. На борту Ил-86, Ил-96-300, Ту-204<sup>9</sup> [7, 8] для обеспечения работы рулевых поверхностей применяются гидроприводы, запитанные от трех независимых гидросистем, что позволяет выполнить указанные требования. Однако на борту современных ВС (B787, A380) в СУП два исполнительных механизма СУП получают питание от двух независимых гидросистем, а в третьем канале управления используется электрическая энергия, при этом вместо электрогидроприводов применяются электромеханические или электрогидростатические приводы.

На борту современных средне- и дальнемагистральных ВС установленная мощность приемников первой категории в большинстве случаев находится в диапазоне от 10 до 20 кВт, а на борту B787 установленная мощность только приемников первой категории достигает величины 40 кВт, что подтверждает тенденцию к повышению электрификации самолетов.

<sup>1</sup> ГОСТ Р 54073-2010. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии. М.: Стандартинформ, 2011.

<sup>2</sup> Авиационные правила. Ч. 23. Нормы летной годности гражданских легких самолетов. 4-е изд. с поправками / Межгосударственный авиационный комитет. АВИАИЗДАТ, 2014.

<sup>3</sup> Авиационные правила. Ч. 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. 5-е изд. с поправками / Межгосударственный авиационный комитет. АВИАИЗДАТ, 2015.

<sup>4</sup> Radio Technical Commission for Aeronautics. DO-160G Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment. December 8, 2010.

<sup>5</sup> Правила выполнения полетов увеличенной дальности воздушными судами с двумя газотурбинными двигателями. (ЕТОПС): утв. приказом ФСВТ России № 94 от 21 апреля 2000 г.

<sup>6</sup> Исследования по перспективному электроэнергетическому комплексу в концепции более электрического самолета: отчет о составной части НИР. Ч. 1. М.: Экспериментальная мастерская НаукаСофт, 2016.

<sup>7</sup> Исследования по перспективному электроэнергетическому комплексу в концепции более электрического самолета: отчет о составной части НИР. Ч. 1. М.: Экспериментальная мастерская НаукаСофт, 2016.

<sup>8</sup> Исследования по перспективному электроэнергетическому комплексу в концепции более электрического самолета: отчет о составной части НИР. Ч. 2. М.: Экспериментальная мастерская НаукаСофт, 2016.

<sup>9</sup> Самолет Ил-86. Руководство по технической эксплуатации. 2-е изд. / ОКБ имени С.В. Ильюшина. М., 1981.

## АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ АВАРИЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Наиболее часто для аварийного питания приемников первой категории применяются АКБ. АКБ нашли широкое применение не только в авиации гражданского назначения, но и в авиации специального назначения. Это обусловлено рядом факторов:

- полной независимостью от маршевого двигателя;
- возможностью обеспечения питанием потребителей при неработающих маршевых двигателях;
- независимостью от условий полета.

В дополнение к указанным факторам, влияющим на выбор АКБ в качестве аварийного источника ЭЭ, используются и другие свойства, например, работа в буферном режиме, что позволяет при параллельном подключении АКБ к шинам основных источников существенно улучшить качество напряжения питания приемников в динамическом режиме работы СЭС. При параллельном включении АКБ с основным источником ЭЭ, обеспечивается бесперебойность питания потребителей при возникновении отказов и реконфигурациях СЭС. Кроме указанных функций применение АКБ позволяет обеспечить автономность ВС при запуске маршевого двигателя.

В связи с тем, что АКБ обладают конечным запасом энергии, их автономная работа с потребителями ЭЭ ограничена временем, которое однозначно определяется емкостью АКБ и потребляемым током, зависящим от циклограммы потребления ЭЭ приемниками первой категории.

Одним из основных показателей качества ВС в целом является его масса. Исходя из этого в авиации, как правило, применяются удельные, относительно массы, характеристики. Так, вместо абсолютной характеристики «энергоемкость» (Вт·ч) используется характеристика «удельная энергоемкость» (Вт·ч/кг). Данная характеристика удобна тем, что позволяет производить сравнительный анализ, в частности АКБ с различными электрохимическими системами (ЭХС).

Наиболее распространенными в авиации являются АКБ никель-кадмиевой ЭХС. Кроме данной ЭХС активно ведутся разработки, направленные на получение ЭХС, обладающих улучшенными показателями энергоемкости. В данном направлении достигнут существенный прогресс, связанный с появлением широкой номенклатуры литий-ионных АКБ. Такими аккумуляторными батареями впервые оснастили самолет В787, однако, несмотря на существенный рост энергоемкости, появились проблемы, связанные с высокой пожароопасностью данных батарей.

Основные технические характеристики АКБ с различными ЭХС приведены в табл. 1.

Применение на борту ВС нескольких типов вторичных энергосистем позволяет рассмотреть вопрос передачи, при необходимости, части энергии от одной системы в другую. Так, на борту ВС ТУ-204-300 и ТУ-214 [7] применяется привод-генератор ГП-27, состоящий из гидромотора, электромагнитного клапана, дренажной емкости и канала генерирования КГА-3, который состоит из бесконтактного синхронного генератора переменного тока и статического преобразователя напряжения, выполненных в едином корпусе<sup>10</sup>. Данное изделие вырабатывает электроэнергию постоянного тока напряжением 28,5 В при мощности на выходе не более 2,7 кВт. Изделие позволяет обеспечить питание нагрузки мощностью 4 кВт в течение ограниченного времени, равного 60 с. Основные технические данные изделия приведены в табл. 2.

<sup>10</sup> Самолет Ту-214. Руководство по технической эксплуатации / ОАО «Туполев». М., 2000.

Таблица 1  
Table 1

Основные технические характеристики АКБ  
Main technical characteristics of the battery

Тип АКБ	Никель-кадмиевая	Никель-металлгидридная	Литий-железо-фосфатная	Литий-железо-сульфидная	Литий-полимерная
Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг	до 65	до 75	до 150	до 120	до 120
Удельная мощность, Вт/кг	до 500	н/д	до 6600	до 50С	до 50С
Срок службы, циклы	до 1000	до 1000	до 5000	до 2000	до 900
Рабочая температура	-50...+40	-60...+55	-30...+55	-30...+45	-20...+45
Пожароопасность	Низкая	Нет	Низкая	Средняя	Высокая

Аналогичные системы применяются и иностранными разработчиками. Так, крупнейшие авиастроительные корпорации Boeing и Airbus оснастили свои самолеты B757 и B767 (EROPS версии), A320, A321, A330 и A340 изделиями подобного типа. Установленная мощность одного привод-генератора на этих ВС достигает величины 10 кВА<sup>11,12,13</sup>.

Таблица 2  
Table 2

Основные технические характеристики ГП-27  
Main technical characteristics of the HEGS-27

Номинальная электрическая мощность, кВт	2,7
Номинальное напряжение постоянного тока, В	27
Ток, потребляемый электромагнитом клапана включения, А, не более	1,5
Номинальная частота вращения вала генератора, об/мин	11000
Давление нагнетания на входе в привод-генератор, кгс/см <sup>2</sup>	от 190 до 220
Потребляемый расход, л/мин, не более	27
Давление в линии слива, кгс/см <sup>2</sup>	от 2 до 10
Масса (без рабочей жидкости), кг, не более	15
Рабочая жидкость	НГЖ-4, НГЖ-5

Несомненными преимуществами данного решения являются:

- отсутствие ограничений на продолжительность работы источника;
- независимость от условий полета (высота, скорость и пр.);
- стабильная частота вращения генератора.

<sup>11</sup> Airbus A318, A319, A320 & A321 Overview. Eaton's Aerospace Product Capabilities. Data List C5-12D / Eaton Corporation Aerospace. Jackson, Mississippi, April 2014.

<sup>12</sup> Airbus A330/A340 System Overview. Eaton's Aerospace Product Capabilities. Data List C5-23 / Eaton Corporation Aerospace. Jackson, Mississippi, December 2004.

<sup>13</sup> Hydraulic Electrical Generating Systems. Data List TF500-6B / Eaton Corporation Aerospace. Jackson, Mississippi, June 2013.

Однако данное решение обладает и рядом существенных недостатков:

- зависимостью источника гидроэнергии от авиадвигателя, так как масляные насосы приводятся в работу, как и генераторы, авиадвигателем или ВСУ;
- необходимостью наличия гидросистемы;
- относительно высокой удельной массой.

Еще один вариант – использование энергии набегающего потока воздуха, т. е. применение Ram Air Turbine (RAT), который заключается в использовании воздушной турбины и установленного на его валу генератора. Данное решение реализовано на большом количестве гражданских ВС, например, им оснащены аварийные системы электроснабжения самолетов SSJ-100, MC-21, A380, Boeing 787.

Стоит отдельно отметить, что на борту A320 применяется комплексное решение, заключающееся в применении RAT, на валу которого установлен гидронасос, нагнетающий давление в одну из трех гидросистем. Данная энергия используется для управления ВС и одновременно для питания привод-генераторов. Номинальная мощность подобного рода систем не превышает 40 кВА (на B787) и, как правило, составляет величину порядка 10–20 кВА.

Несомненными преимуществами данного решения являются:

- отсутствие ограничений на продолжительность работы источника;
- полная независимость от маршевого двигателя;
- стабильная частота вращения генератора, обеспечиваемая винтом изменяемого шага.

Однако данное решение обладает и рядом существенных недостатков:

- зависимостью от условий полета, а именно от высоты и скорости полета;
- ограничением мощности единичного RAT, однозначно определяемой диаметром турбины.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АВАРИЙНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Одними из наиболее перспективных источников ЭЭ, применение которых возможно на борту ВС, являются топливные элементы (ТЭ), осуществляющие непосредственное преобразование химической энергии в электрическую [9]. К настоящему времени разработано большое количество типов ТЭ:

- низкотемпературные PEMFC (рабочая температура 50–80 °С, топливо – газообразный водород);
- низкотемпературные DMFC (рабочая температура ~80 °С, топливо – метанол);
- среднетемпературные PAFC (рабочая температура 180–250 °С, топливо – газообразный водород, синтез-газ);
- высокотемпературные MCFC (рабочая температура 450–600 °С, топливо – водород, природный газ, синтез-газ);
- высокотемпературные SOFC (рабочая температура 850–1100 °С, топливо – водород, синтез-газ, углеводородное топливо).

Очевидным недостатком применения PAFC, MCFC и SOFC ТЭ является их достаточно высокая рабочая температура, что ограничивает возможность их применения на борту ВС. Исходя из этого в данной статье рассматриваются только PEMFC и DMFC ТЭ. Так как работа PEMFC и DMFC ТЭ основана на одних и тех же физических принципах, то данным ТЭ должны быть в равной степени присущи основные свойства, среди которых стоит отметить практически полное отсутствие перегрузочной способности, и, как следствие, невозможность их использования в качестве источника для стартера.

Главным отличием ТЭ от АКБ является отсутствие фиксированных ограничений по времени работы, которое определяется объемом топливного бака (баллона), что обуславливает необходимость наличия дополнительной системы хранения и доставки топлива.

ТЭ типа PEMFC используют в качестве топлива газообразный водород, который является самым легким и, как следствие, наименее плотным из газов. Исходя из этого для обеспечения ТЭ топливом необходимы большие объемы, что неприемлемо, так как это приводит к увеличению габаритов системы в целом.

Основным способом увеличения количества запасаемого водорода является создание повышенного давления, что позволяет сократить объем, занимаемый водородом, пропорционально давлению. Так, современные системы хранения водорода выдерживают давление до 700 атм. Их использование позволяет достигнуть весовой доли хранения водорода порядка 5–7 %. Удельная энергоёмкость баллонной системы хранения водорода составляет до 0,8–1,3 кВт·ч/кг.

Альтернативным способом хранения водорода является хранение в связанном виде. Для реализации данного метода используются вещества, химическая реакция которых связана с выделением водорода, который поступает в ТЭ.

Основным преимуществом данного способа является отсутствие необходимости создания систем хранения повышенного давления, обладающих рядом недостатков, среди которых особо стоит выделить:

- утечки водорода сквозь стенку баллона, для снижения которых необходимо утолщение стенок и, как следствие, рост массы баллона;
- пожаро- и взрывоопасность водорода.

В то же время применение систем хранения водорода в связанном виде ухудшает удельные характеристики системы хранения топлива, так как необходимо хранение не только водорода, но других химических элементов, участвующих в реакции. Например, наиболее неприхотливый сплав, применяемый для многократных циклов заправки напрямую от электролизера (без дополнительной осушки газа и очистки), – интерметаллический сплав типа AB5 (например, на основе LaNi5), поглощает и выделяет водород в диапазоне температур окружающей среды. Сплав имеет весовое содержание водорода 1,38 %, что в пересчете соответствует 0,244 кВт·ч эквивалентной энергоёмкости на 1 кг сплава.

Стоит упомянуть еще один способ получения водорода – использование риформера углеводородного топлива (природный газ, пропан, бутан и др.), применение которого представляется перспективным в СЭС ВС для получения водорода.

Еще одним перспективным аварийным источником ЭЭ на борту ВС являются суперконденсаторы. Особенностью данных источников является высокая удельная мощность (до 10 кВт/кг), что позволяет обеспечивать высокую выходную мощность, однако суперконденсаторы обладают очень низкой удельной энергоёмкостью до 20 Вт·ч/кг. Однако известны работы по графеновым суперконденсаторам<sup>14</sup> удельная энергоёмкость которых достигает 85 Вт·ч/кг [9].

Основными преимуществами суперконденсаторов, по отношению к АКБ являются их высокий ресурс (до  $10^6$  циклов заряд-разряд) и отсутствие ограничений по глубине разряда.

Исходя из возможностей суперконденсаторов, наиболее вероятным способом их применения является их комбинация с АКБ, РАТ и/или привод-генератора. На рис. 1 приводится график токовой нагрузки на источники СЭС при совместном применении АКБ и суперконденсатора на импульсную нагрузку.

Данный график показывает, что применение суперконденсатора позволяет существенно снизить импульсный ток, отбираемый от АКБ, что приводит к резкому улучшению условий его эксплуатации. При этом в случае отсутствия импульсных (высоких) токов разряд суперконденсатора практически отсутствует, и вся мощность отдается от АКБ.

<sup>14</sup> Графеновый суперконденсатор – быстрозаряжающаяся альтернатива аккумуляторам [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.facepla.net/index.php/the-news/electronics-news-mnu/892-graphene-based-supercapacitor> (дата обращения: 01.07.2018).

Применение данного метода позволяет существенно увеличить ресурс АКБ.

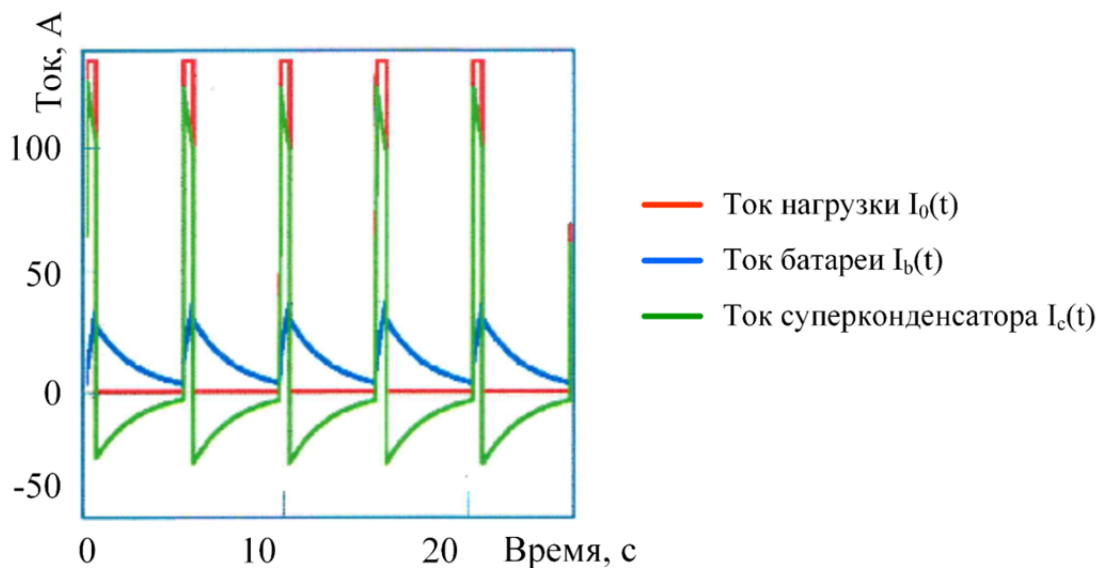


Рис. 1. Совместная работа АКБ и суперконденсатора на импульсную нагрузку  
Fig. 1. Joint operation of the battery and supercapacitor on the impulse load

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходя из анализа основных технических характеристик, определена область применения каждого из технических решений:

- АКБ – вспомогательный аварийный источник, обеспечивающий бесперебойность питания приемников первой категории в период времени между отказом основной СЭС и запуском источников аварийной (вспомогательной) СЭС; область применения – все ВС;
- привод-генератор – основной аварийный источник ЭЭ; область применения – среднемагистральные ВС, снабженные тремя гидросистемами при установленной мощности приемников первой категории не более 10 кВА;
- RAT-генератор – основной аварийный источник ЭЭ; область применения – средне- и дальнемагистральные ВС при установленной мощности приемников первой категории более 10 кВА или ВС, снабженные двумя гидросистемами, вне зависимости от мощности;
- топливный элемент – основной аварийный источник ЭЭ; область применения – перспективные ВС вне зависимости от мощности приемников ЭЭ;
- суперконденсатор – дополнительные аварийные источники относительно низкой энергоемкости, предназначенные для оптимизации режимов работы основных и вспомогательных аварийных источников в части, касающейся снижения импульсных токов нагрузки, которые возникают, в частности, при электростартерном запуске ВСУ (маршевых двигателей).

Таким образом, с точки зрения авторов, наиболее перспективной структурой аварийной СЭС является:

- АКБ перспективной (литий-ионной) ЭХС, обладающая емкостью, достаточной для выполнения полета в течение 30 минут и трехкратного запуска ВСУ;

- РАТ-генератор (привод-генератор) номинальной мощностью, достаточной для обеспечения ЭЭ всех потребителей в течение длительного времени, перегрузочная способность – отсутствует, в качестве электромеханического преобразователя – магнитоэлектрический генератор как машина, наиболее полно удовлетворяющая требованиям при заданных параметрах;
- суперконденсатор ограниченной емкости. Емкость должна быть достаточной для компенсации пусковых токов, возникающих при запуске ВСУ (маршевого двигателя). Необходимость обеспечения трехкратного пуска за счет емкости суперконденсатора при этом отсутствует.

Описанная структура приведена на рис. 2. Схема является избыточной, так как в ней приведены оба основных аварийных источника ЭЭ. Выбор конкретного типа основного аварийного источника ЭЭ (включая вариант применения обоих типов) является сложной оптимизационной задачей, которая решается при проектировании ВС в целом и не является предметом проводимых исследований.

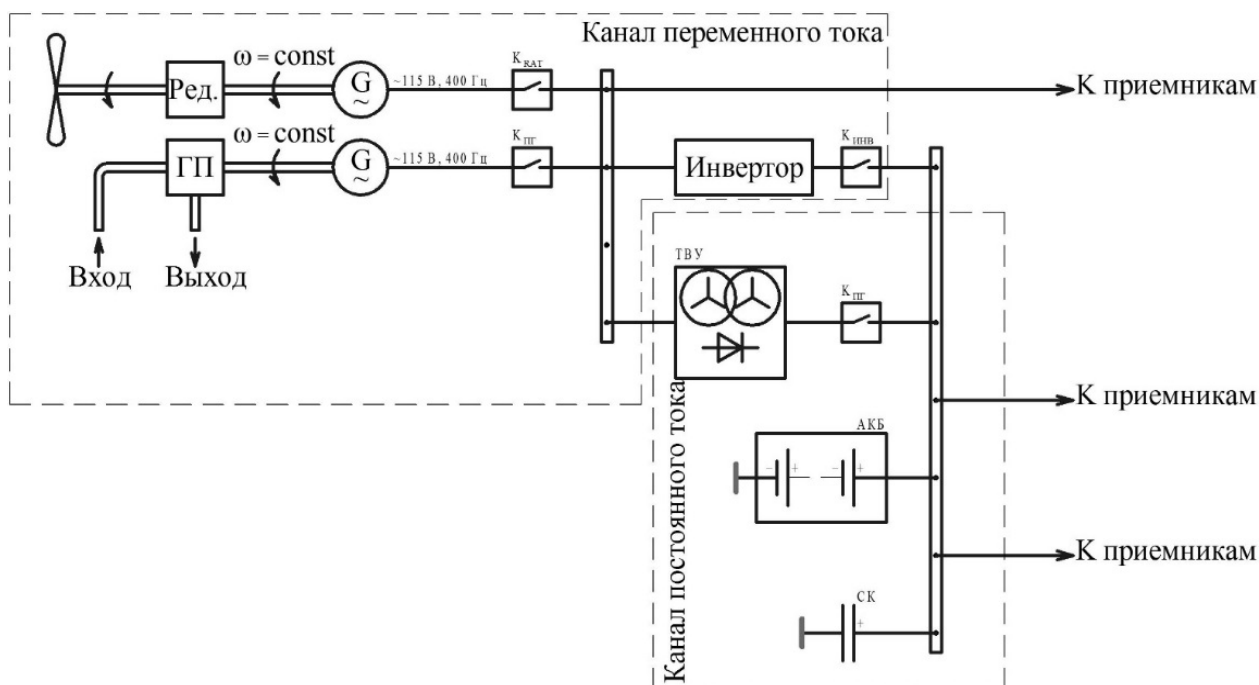


Рис. 2. Обобщенная структурная схема канала аварийной СЭС  
Fig. 2. Generalized block diagram of the emergency power supply system channel

Предлагаемое решение позволяет существенно снизить импульсную нагрузку на АКБ и РАТ-генератор (привод-генератор), которая возникает, например, при запуске ВСУ.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе проведено обобщение данных о существующих и перспективных аварийных источниках ЭЭ применение которых с технической и практической точки зрения наиболее перспективно на борту ВС. В статье приводится анализ параметров этих источников, на основании которого сделаны выводы об области применения различных аварийных источников ЭЭ. Предложена обобщенная схема канала аварийной СЭС, обладающая оптимальными с точки зрения АКБ параметрами.



В работе рассмотрен вопрос обеспечения электроэнергией приемников первой категории в аварийном режиме работы систем электроснабжения перспективных и модернизируемых воздушных судов. Проведен анализ научных работ, посвященных решению задач анализа ненормальных режимов работы, синтеза систем электроснабжения. Предложены технические решения, направленные на обеспечение электропитанием приемников электрической энергии первой категории в аварийных режимах работы. Проведен анализ и обобщение данных по техническим характеристикам существующих агрегатов и устройств, разработанных ведущими мировыми производителями авиационного оборудования и применяемых в качестве аварийных источников электрической энергии на борту современных воздушных судов гражданской авиации.

Определены преимущества и недостатки каждого технического решения, а также сформулированы ограничения на область их применения. Проведен анализ перспективных вариантов аварийных источников электрической энергии, в частности водородных электрохимических генераторов. Определены перспективы применения рассматриваемых вариантов, а также сформулированы ограничения на область их применения. На основании выполненного анализа предлагается обобщенная структура аварийной СЭС, позволяющая улучшить режимы работы аккумуляторных батарей. В состав аварийной СЭС должны входить: АКБ перспективной (литий-ионной) ЭХС, обладающая емкостью, достаточной для выполнения полета в течение 30 минут и трехкратного запуска ВСУ; РАТ-генератор (привод-генератор) номинальной мощностью, достаточной для обеспечения ЭЭ всех потребителей в течение длительного времени, в качестве электромеханического преобразователя – магнитоэлектрический генератор как машина, наиболее полно удовлетворяющая требованиям при заданных параметрах; суперконденсатор, емкость которого определяется параметрами конкретной циклограммы потребления электроэнергии. Емкость должна быть достаточной для компенсации пусковых токов, возникающих при запуске ВСУ (маршевого двигателя).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Левин А.В.** Электрический самолет: концепция и технологии / С.М. Мусин, С.А. Харитонов, К.Л. Ковалев, А.А. Герасин, С.П. Халютин. Уфа: УГАТУ, 2014.
2. **Левин А.В., Алексеев И.И.** Энергетический комплекс полностью электрифицированного самолета // Известия Академии электротехнических наук РФ. 2009. № 2.
3. **Warwick G.** Hamilton Sundstrand ground-test 787 electrical system // Aviation Week and Space Technology. July 2008.
4. **Волокитина Е.В.** Исследования по созданию системы генерирования и запуска маршевого двигателя в концепции полностью электрифицированного самолета. Ч. 1 // Электроснабжение и электрооборудование. 2011. № 4.
5. **Masson P.J.** HTS machines as enabling technology for all-electric airborne vehicles / G.V. Brown, D.S. Soban, C.A. Luongo // Supercond. Sci. Technol. 2007. № 20. Pp. 748–756.
6. **Ganev E.** High Performance Electric Generators for Aerospace More Electric Architectures // Aerospace Engineering & Technology / Honeywell International. 2006.
7. **Ломанцов Б.Н., Чухин В.С.** Электротехническое оборудование самолета Ту-204-300 и его летная эксплуатация. Ульяновск: УВАУ ГА, 2007.
8. **Воробьев В.Г., Лещинер Д.В.** Самолет Ил-96-300. М.: МИИГА, 1989.
9. **Халютин С.П.** Когда гражданская авиация перейдет на электрические самолеты?! // Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского. 2018. С. 67–76.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кечин Александр Викторович**, аспирант кафедры электротехнических комплексов автономных объектов и электрического транспорта Национального исследовательского университета «МЭИ», инженер-конструктор ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт», akechin@xlab-ns.ru.

**Левин Александр Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт», a.v.levin@yandex.ru.

**Халютин Сергей Петрович**, доктор технических наук, профессор, генеральный директор ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт», skhalutin@xlab-ns.ru.

**Жмуров Борис Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора – главный конструктор ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт», bzhmurov@xlab-ns.ru.

## ORGANIZATION OF POWER SUPPLY OF THE FIRST CATEGORY RECEIVERS FOR PERSPECTIVE CIVIL AVIATION AIRCRAFT

Alexander V. Kechin<sup>1,2</sup>, Alexander V. Levin<sup>2</sup>, Sergei P. Khaliutin<sup>2</sup>, Boris V. Zhmurov<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia  
<sup>2</sup>LLC "Experimental Laboratory NaukaSoft", Moscow, Russia

### ABSTRACT

The article deals with the issue of providing electric power to the first category receivers in the emergency mode of the power supply systems operation of perspective and modernized aircraft. The analysis of the published scientific works performed both in Russia and abroad, and aimed at solving problems of analyzing abnormal operations mode, synthesizing power supply systems and controlling them in order to prevent dangerous consequences is carried out. The authors considered the ingenious technical solutions aimed at providing the necessary quality power supply for the first category receivers in the emergency operation modes of the aircraft power supply systems for the safe completion of flight and landing. The research analysis and generalization of data on the technical characteristics of units and devices developed by the world's leading manufacturers of aviation equipment and used as emergency sources of electrical power on board modern civil aviation aircraft has been completed. The advantages and disadvantages of each technical solution are determined, as well as limitations to the area of their application are formed. The analysis of perspective emergency sources of the electric power including those, which previously were not applied in aviation because of their insufficient technical perfection, for example, hydrogen electrochemical generators is carried out. Based on the performed analysis, a solution which allows improving the operating modes of the electrical batteries is proposed. The offered solution makes it possible to increase the reliability and durability of electrical batteries, as well as the power supply duration of the first category receivers from them.

**Key words:** aircraft power supply system, emergency mode, the first category electric power receivers.

### REFERENCES

1. Levin, A.V., Musin, S.M., Kharitonov, S.A., Kovalev, K.L., Gerasin, A.A. and Khaliutin, S.P. (2014). *Elektricheskiy samolet: kontseptsiya i tekhnologii* [Electric plane: concept and technology]. Ufa: UGATU, 388 p. (in Russian)
2. Levin, A.V. and Alekseev, I.I. (2009). *Energeticheskiy kompleks polnostyu elektrifitsirovannogo samoleta* [The energy complex of a fully electrified aircraft]. Proceedings of the Academy of Electrotechnical Sciences of the Russian Federation, no. 2. (in Russian)

3. **Warwick, G.** (2008). *Hamilton Sundstrand ground-test 787 electrical system*. Aviation Week and Space Technology, July 2008.
4. **Volokitina, E.V.** (2011). *Issledovaniya po sozdaniyu sistemy generirovaniya i zapuska marshhevogo dvigatelya v kontseptsii polnostyu elektrifitsirovannogo samoleta. Ch. 1* [Researches on the creation of a system for generating and launching a propulsion engine in the concept of completely electrified aircraft. Part 1]. Electrical supply of electrical equipment, no. 4. (in Russian)
5. **Masson, P.J., Brown, G.V., Soban, D.S. and Luongo, C.A.** (2007). *HTS machines as enabling technology for all-electric airborne vehicles*. Supercond. Sci. Technol., no. 20, pp. 748–756.
6. **Ganev, E.** (2006). *High Performance Electric Generators for Aerospace More Electric Architectures*. Honeywell International. Aerospace Engineering & Technology, Torrance, CA, USA.
7. **Lomantsov, B.N. and Chukhin, V.S.** (2007). *Elektro-tekhnicheskoe oborudovanie samoleta Tu-204-300 i ego letnaya ekspluatatsiya* [Electrotechnical equipment of Tu-204-300 aircraft and its flight operation]. Ulyanovsk: UVAU GA, 2007.(in Russian)
8. **Vorobyev, V.G. and Leshchiner, D.V.** (1989). *Samolet Il-96-300* [The IL-96-300 aircraft]. Moscow: MIIGA, 1989. (in Russian)
9. **Khalyutin, S.P.** (2018). *Kogda grazhdanskaya aviatsiya pereydet na elektricheskiye samolety?!* [When will civil aviation transfer to electric planes?!]. Nauchnye chteniya po aviatsii, posvyashchennye pamyati N.E. Zhukovskogo, pp. 67–76. (in Russian)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alexander V. Kechin**, Post-graduate Student at the Chair of the Electrotechnical Complexes of Autonomous Objects and Electric Transport, Research Institute "Moscow Power Engineering Institute", Design Engineer, LLC "Experimental Laboratory NaukaSoft", akechin@xlab-ns.ru.

**Alexander V. Levin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy CEO for Research LLC "Experimental Laboratory NaukaSoft", a.v.levin@yandex.ru.

**Sergei P. Khaliutin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, CEO LLC "Experimental Laboratory NaukaSoft", skhalyutin@xlab-ns.ru.

**Boris V. Zhmurov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy CEO – Chief Designer, LLC "Experimental Laboratory NaukaSoft", bzhmurov@xlab-ns.ru.

Поступила в редакцию 24.07.2018  
Принята в печать 20.11.2018

Received 24.07.2018  
Accepted for publication 20.11.2018