

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2024

А. Д. Кондряков аспирант кафедры «Конструкция и проектирование двигателей»;
Московский авиационный институт;
начальник бригады статора конструкторского отдела компрессоров;
ОКБ им. А. Льюльки филиал ПАО «ОДК-УМПО», Москва;
tetra1337@mail.ru

М. К. Леонтьев доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкция
и проектирование двигателей»;
Московский авиационный институт;
генеральный директор;
ООО «Альфа-Транзит», Москва;
lemk@alfatran.com

Представлен обзор разработок по электрификации существующих и созданию новых гибридных силовых установок в России и за рубежом концепции более электрического и полностью электрического самолёта. На основе обзора выделены перспективные направления по электрификации существующих и созданию новых гибридных силовых установок летательного аппарата.

Турбореактивный двигатель; электрификация; гибридная силовая установка; электрический самолёт; стартер-генератор; электроприводные агрегаты

Цитирование: Кондряков А.Д., Леонтьев М.К. Электрические силовые установки летательных аппаратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2024. Т. 23, № 2. С. 49-61. DOI: 10.18287/2541-7533-2024-23-2-49-61

Введение

Опираясь на результаты осуществляемых в данный момент проектов, иностранные и отечественные разработчики авиационной техники ведут работы над программами создания самолётов и двигателей шестого поколения, которые по своим параметрам будут существенно превосходить изделия прошлого поколения. Технологии, которые будут в них применены, направлены на повышение эффективности изделий и снижение стоимости их жизненного цикла [1].

Среди множества направлений развития авиационной техники перспективным является разработка летательных аппаратов с электрическими силовыми установками (СУ), питающими электрические агрегаты самолётов. К этому направлению подключается всё больше и больше различных авиационных фирм по всему миру [2]. Прогнозируется, что через 20-30 лет, учитывая существенный прогресс в создании элементов электрических систем, ожидается появление летательных аппаратов с гибридными и электрическими силовыми установками [3].

Гибридная силовая установка для летательных аппаратов представляет собой систему из традиционного турбореактивного двигателя, вся мощность или часть мощности которого используется для работы электрического генератора, который в свою очередь питает электрический привод систем самолёта.

Рассматриваемые в статье наработки зарубежных и отечественных производителей авиационной техники позволяют выделить несколько основных направлений в области электрификации силовой установки:

1. Электрификация газотурбинного двигателя. Введение в его состав различных электрических элементов.

2. Гибридная силовая установка. Создание тяги производится тепловыми двигателями совместно с электроприводными устройствами.

3. Гибридная силовая установка. Создание тяги производится электроприводными винтами, питание которых осуществляется от газотурбинного двигателя или вспомогательной силовой установки.

4. Полностью электрическая силовая установка без теплового двигателя. Создание тяги электроприводными винтами, питание которых осуществляется от аккумуляторов и (или) топливных элементов.

Опыт разработок по электрификации силовых установок за рубежом

Анализ сферы перспектив развития авиационной техники демонстрирует, что наиболее предпочтительными с точки зрения энергоэффективности и экологичности является переход к более электрическому или полностью электрическому самолету. В США и странах Европы на синтез данных технологий обеспечиваются большие финансовые вливания.

Для программы More Electric Aircraft, в которой участвуют около 40 фирм Европы, на период в 4 года выделено около 400 млн. евро. Концепт программы More Electric Aircraft представлен на рис. 1 [4].



Рис. 1. Концепт программы More Electric Aircraft

С 2007 года в течение трёх лет осуществлялось финансирование совместной американо-европейской программы More Open Electrical Technologies, по результатам которой появились летательные аппараты Airbus A-380, Boeing-787, F-35, БПЛА «Барракуда». Данные летательные аппараты можно определять как более электрические [5].

В связи с ростом требований к летательным аппаратам шестого поколения в части стоимости эксплуатации, технологичности, экологичности и энергоэффективности в программе более электрического самолёта существует ряд проблем: различные параметры электрических сетей летательного аппарата и силовой установки, обеспечение надёжной работы электрических систем в условиях повышенных температур, вибраций, электромагнитного излучения, дублирование систем летательного аппарата и силовой установки в случае отказа электрических систем и другие. Для решения данных

проблем необходимо пересмотреть энергетическую архитектуру летательного аппарата, обеспечить охлаждение нагревающихся компонентов электрической системы, обеспечить прочность силовых элементов конструкции, вести разработки в направлении повышения стойкости электроники к внешним возмущениям.

На западных летательных аппаратах концепции More Electric Aircraft используются генераторы, мощность которых превышает 160 кВт. Организация Hamilton Sundstrand спроектировала стартер-генератор, который в генераторном режиме вырабатывает мощность равную 200 кВт [6]. На Boeing-787 на коробках самолётных агрегатов установлены четыре генератора переменного тока по два на каждом двигателе, привод которых осуществляется от ротора авиационного двигателя. Также два генератора мощностью 180 кВт установлены на вспомогательной силовой установке. Суммарная мощность источников электрической энергии на этом самолёте составляет более 800 кВт [7]. Распределение роста электрической мощности по годам на западных летательных аппаратах представлено на рис. 2.

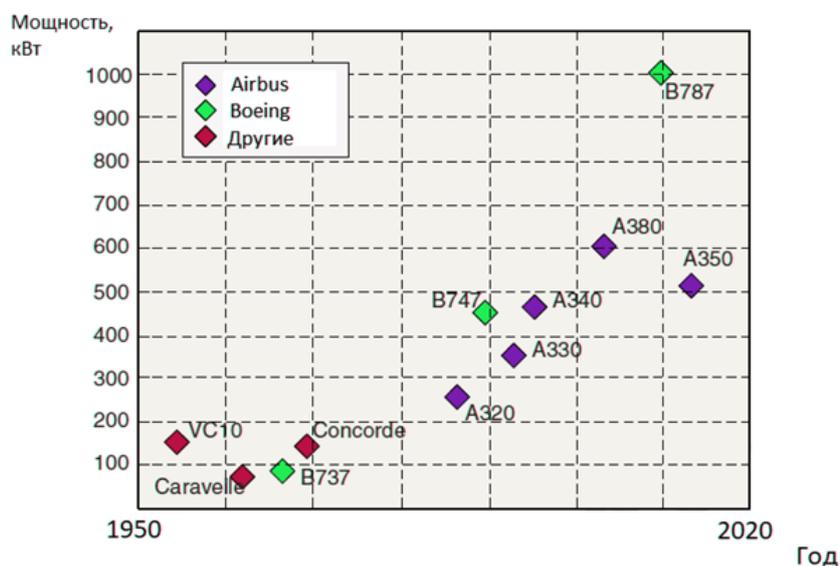


Рис. 2. Распределение электрической мощности западных летательных аппаратов по годам

На Airbus A-380 мощность одного генератора электроэнергии составляет 120 кВт, а суммарная мощность всех электрических генераторов достигает 670 кВт [4]. Для резервного регулирования различных секций руля высоты, направления и флаперонов используется электрический привод. Данное решение позволило упростить конструкцию гидросистемы, что обеспечило снижение массы летательного аппарата на 450 кг.

Аналогичное решение реализовано на военном самолёте F-35. В данном случае снижение массы относительно традиционного аналога составило порядка 300 кг [8].

Существует крупная разработка гибридного летательного аппарата, который синтезирован в кооперации Airbus и Rolls-Royce, носящий имя E-Thrust, главная особенность которого – высокая степень двухконтурности электрического авиационного двигателя. Степень двухконтурности в данном случае характеризуется отношением суммарного расхода воздуха через электроприводные вентиляторы к расходу воздуха газогенератора газотурбинного двигателя в хвосте летательного аппарата. Данное решение позволяет уменьшить расход топлива, шум и вредные выбросы. Концепция самолёта E-Thrust представлена на рис. 3.

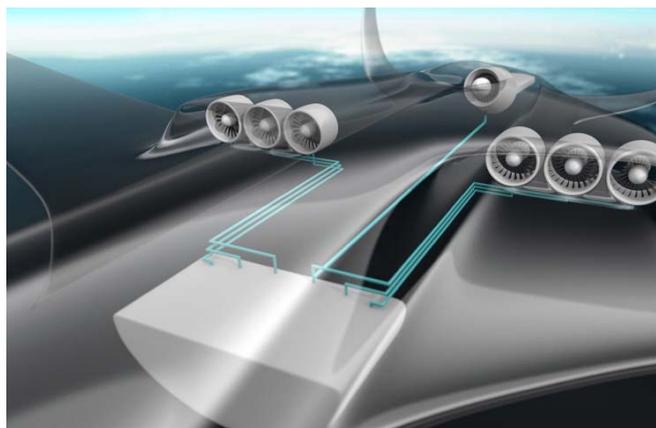


Рис. 3. Концепция гибридного летательного аппарата E-Thrust

Организация Airbus планирует разработку Airbus E-FAN 4,0 с четырьмя пассажирами. В данной разработке применена гибридная силовая установка [9].

В рамках программ More Electric Aircraft и Power Optimized Aircraft компанией Rolls-Royce разработан двигатель-демонстратор Trent 500. В данном двигателе полностью заменены традиционные системы. Для циркуляции топлива и смазки в системе используются электроприводные насосы, механизация поворотных аппаратов компрессора обеспечивается за счёт электропривода. Задняя опора турбины низкого давления содержит магнитный подшипник, для которого не требуется смазка [10].

Safran разрабатывает целую линейку электродвигателей для электрических и гибридных летательных аппаратов мощностью до 500 кВт по программе Safran EngineUS, где название двигателя соответствует постоянной вырабатываемой мощности. Опытный образец двигателя первого этапа EngineUS 45 развил максимальную мощность 70 кВт и постоянную мощность 45 кВт, демонстрируя удельную мощность 2,5 кВт/кг при 2500 об/мин и КПД более 94%. Safran сообщает о своих планах запустить сертификационную программу электрической силовой установки для лёгких самолётов EngineUS 100 в 2023 году, после чего фирма продолжит совершенствовать свои двигатели, повышая мощность силовых установок до 500-750 кВт¹. Процесс проведения испытаний электрического двигателя EngineUS в исследовательском центре Safran представлен на рис. 4.



Рис. 4. Процесс проведения испытаний электрического двигателя EngineUS в исследовательском центре Safran

¹ Warwick G. Safran Motors to power VolAero's hybrid-electric Cassio 330. Aviation Week Network. July, 20, 2022.

Мощность двигателя EngineUS 500, эквивалента турбовинтового двигателя серии Pratt & Whitney PT6A, достаточна для оснащения им региональных самолётов².

Фирма Diamond Aircraft подписала соглашение с Safran на оснащение полностью лёгкого электрического одномоторного самолёта eDA40 электрическим двигателем EngineUS. Аккумулятор аппарата будет способен заряжаться от источника постоянного тока менее, чем за 20 минут, и обеспечивать время полёта до 90 минут, снижая эксплуатационные расходы более, чем на 40% по сравнению с существующими двигателями³.

Safran прорабатывает возможности интегрирования электрического двигателя в турбокомпрессорную группу ТВДД, при котором часть мощности на привод вентилятора может взять на себя электродвигатель, разгрузив тем самым турбину, открывая возможность снизить расход воздуха на охлаждение лопаток за счёт уменьшения частоты вращения ротора газогенератора и температуры газа⁴.

В соответствии с техническими предложениями Safran, часть мощности, производимой на турбине, может быть использована для подзарядки аккумуляторов электрического двигателя. В сочетании с турбокомпрессорной группой электрические двигатели могут стать эффективным способом сокращения выбросов углекислого газа в силовых установках новых поколений⁵.

Опыт разработок по электрификации силовых установок в России

В России также ведутся работы по электрификации авиационных двигателей, летательных аппаратов и их систем, а также работы по созданию новых электрических летательных аппаратов и гибридных электрических силовых установок.

С целью повышения конкурентоспособности будущей российской авиационной техники, учитывая старт программ «Самолёт-2020» и второго поколения самолётов Sukhoi Superjet 100 и MC-21, разработана системная государственная программа по созданию полностью электрического самолёта [4].

Сарапульский электрогенераторный завод представил на форуме «Армия» двигатель-генератор для российского электрического самолёта АВФ-32НС. При разработке энергетической системы данного самолёта применена информационно-энергетическая методика. По результатам создания облика летательного аппарата с точки зрения аэродинамики и компоновки электрических систем определены характеристики массы и габаритов изделия. Расчёт аэродинамики основных параметров летательного аппарата осуществил возможность для определения потребных характеристик электрических силовых установок. Оценка назначения требуемого электрооборудования и электроагрегатов полностью электрического самолёта дала возможность рассчитать потребную мощность для обеспечения эксплуатации самолёта. В результате получена силовая часть структурной схемы электроэнергетического комплекса и определены режимы его работы благодаря распределению соотношения между источниками и потребителями электричества в полностью электрическом самолёте, учитывая время полёта, возможность обмена и запаса электроэнергии [4].

На магистральном самолёте MC-21 следующего поколения прогнозируется электрификация бортовых систем и установка мощных генераторов электрической энергии [11].

² Zart N. Airbus moves in with Daher & Safran to build hybrid aircraft by 2022. Clean Technica. June, 29, 2019.

³ Thurber M. SAFRAN to power Diamond's electric DA40 light aircraft. Aviation Week. April, 27, 2022

⁴ Alcock Ch. For aircraft engine giant Safran, opportunity knocks on the door leading to electric aviation. Aviation International News (AIN). April, 21, 2022

⁵ Flottau J. Safran sees no overall improvement in supply chain performance. Aviation Week Network. February, 17, 2023

Концерном «Радиоэлектронные технологии» завершен проект по разработке системы полностью электрического самолёта. Данные работы выполнены в рамках научно-исследовательских работ по улучшению электрификации самолётов. Разработанная система удовлетворяет все нужды по электрической энергии и является одной из основных для летательного аппарата будущего. Были определены наилучшие характеристики генераторов электрической энергии и разработаны технические задания по выбору типа и характеристик электрической бортовой сети полностью электрического самолёта [12].

ЦИАМ в кооперации с СибНИА и ЗАО «СуперОкс» на базе самолета Як-40 разрабатывает демонстратор технологий с гибридной силовой установкой. Для привода винта используется электрический двигатель, питание которого обеспечивает электрический генератор [13]. Процесс испытаний гибридной силовой установки самолёта Як-40 показан на рис. 5.



Рис. 5. Процесс испытаний гибридной силовой установки самолёта Як-40

В данный момент для летательных аппаратов гражданского и военного назначения отечественного производства широко используются генераторы серии ГТ, разработка которых началась ещё в прошлом веке. Данные генераторы применяются как главные, дублирующие и аварийные генераторы электрической энергии переменного тока [14].

В рамках работ по демонстрации технологий электрического ГТД по инициативе ЦИАМ на ОАО АКБ «Якорь» разработан демонстратор электрического стартер-генератора [15]. В качестве типа электрической машины выбран вентильный электродвигатель, который представляет собой бесконтактную электрическую машину с магнитоэлектрическим возбуждением. Магнитное поле генерируется постоянными высокоэнергетическими магнитами на основе самарий-кобальтового сплава, которые расположены на роторе. Статор стартер-генератора состоит из стакана, который выполнен из специальной электротехнической стали, обладающей повышенными магнитными свойствами. Стакан содержит прорези, в которые уложены электрические обмотки. Конструкция стартер-генератора обеспечивает оптимизацию массогабаритных характеристик при высоком КПД. Провода имеют полиамидную изоляцию и технологическую пропитку. Данное сочетание обеспечивает требуемую электрическую стойкость изоляции при высоких температурах. Между прорезями в стакане и электрическими обмотками имеются каналы, которые возможно использовать для охлаждения активной части стартер-генератора. Конструкция стартер-генератора подобного типа представлена на рис. 6.

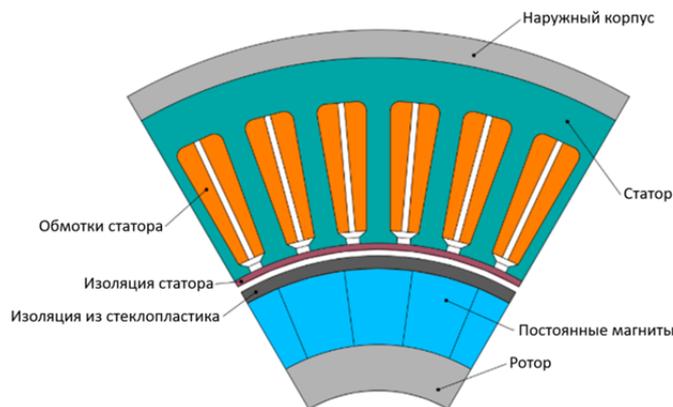


Рис. 6. Конструкция стартёр-генератора с постоянными магнитами

Демонстратор стартёр-генератора монтируется на коробку самолётных агрегатов двигателя вместо штатного генератора постоянного тока ГС-9БК РС. В стартёрном режиме генератор обеспечивает крутящий момент до 30 Н·м при оборотах ротора в 4500 об/мин, обеспечивая мощность 4,5кВт при напряжении в нагрузке 270 В.

На базе ТРДД АИ-25ТЛ в ЦИАМ в кооперации с разработчиками агрегатов разработан и испытан демонстратор электроприводной системы автоматического управления [16].

При выборе параметров электрической системы автоматического управления (САУ) важно учесть потребную мощность электроприводных насосов, которая может меняться в зависимости от режима работы двигателя, полётного цикла и возможностей стартёр-генератора работать с перегрузкой по крутящему моменту. Данный анализ позволит улучшить удельную мощность стартёр-генератора. Большое влияние на данный удельный параметр оказывает и тип охлаждения стартёр-генератора и его инвертора [16].

При разработке стартёр-генераторов и электроприводных агрегатов отечественные производители авиационной техники опираются на прогноз западных стран в области развития электрических удельных параметров, прогноз развития которых по годам представлен на рис. 7.

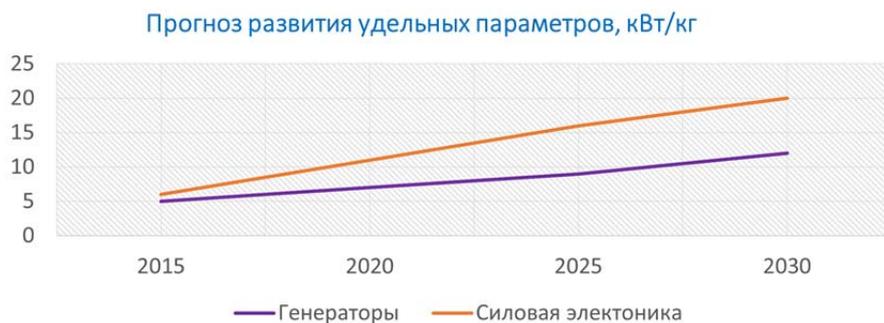


Рис. 7. Прогноз развития электрических удельных параметров по годам

В СНПО им. Н.Д. Кузнецова создан концепт «электрического» трёхвального двигателя, электрическая САУ которого регулирует подачу топлива в камеру сгорания, управляет перепуском воздуха из компрессоров среднего и высокого каскадов, управ-

ляет заслонками подачи воздуха для регулирования зазоров компрессоров, турбин и других систем. В основе электрической САУ лежит электрический стартер-генератор, который смонтирован на роторе каскада среднего давления. Масляная система содержит электроприводные насосы и центробежный воздухоотделитель. Для регулирования перепуска воздуха из компрессоров используются электропневмоклапаны. Электропривод со встроенным электродвигателем передает крутящий момент на ротор насоса-дозатора топливной системы с целью обеспечения подачи топлива в первый и второй каскад форсунок камеры сгорания. Шестерённые насосы заменены на электрические высокооборотные центробежные, что увеличивает ресурс и снижает массу двигателя. Заданный расход топлива обеспечивается за счёт цифровой электронной САУ двигателя.

На предприятии ОАО «Электропривод» осуществлены работы по проектированию и изготовлению опытных образцов электрического привода ЭПА-2 для механизации поворотного входного направляющего аппарата компрессора ГТД наземного применения НК-38СТ. Задачей работы являлся синтез автоматизированного электрического привода входного направляющего аппарата, регулируемого согласно командами САУ [17].

Пример реализации технологий электроприводных агрегатов в российской промышленности – электрический привод реверсивного устройства решетчатого типа ЭРУ-ПД14 разработки фирмы «Диаконт» для гражданского двигателя ПД-14. Электрический привод содержит три электромеханизма МПРУ-ПД14 и его блок управления – БУРУ-ПД14 [18].

Известны разработки Омского моторостроительного конструкторского бюро 1960-1980 годов по созданию ТРДД-50, предназначенного для крылатой ракеты авиационного базирования Х-55 (РКВ-500; обозначение НАТО – AS-15 «Kent») разработки МКБ «Радуга», и ВСУ-10, вспомогательной силовой установка на базе газотурбинного двигателя со свободной турбиной, вращающей приводной компрессор и генератор переменного тока через редуктор-мультипликатор. Отличительной особенностью ТРДД-50 было наличие встроенного электрогенератора мощностью 4 кВт. ВСУ-10 применяется на советских и российских самолётах различных модификаций Ил-86 и Ил-96 разработки КБ Ильюшина. Генератор переменного тока обеспечивает электропитание основных бортовых потребителей переменным током 208 вольт 400 Гц⁶.

Перспективные направления в разработке гибридных силовых установок

Ключевым элементом в составе электрического газотурбинного двигателя является электрический стартер-генератор, вырабатываемая энергия которого используется для питания различных электрических элементов силовой установки. Размещение подобного стартер-генератора на валах шестерён коробок агрегатов не обеспечивает в полной мере концепцию более электрического самолёта или полностью электрического самолёта, так как обычно размеры данного стартер-генератора малы из-за ограничений по габаритам планера или мотоотсека летательного аппарата, следовательно, данный стартер-генератор имеет малую вырабатываемую мощность.

Перспективным направлением в области электрификации силовой установки является размещение электрического стартер-генератора внутри газотурбинного двигателя на валу ротора. Диаметры внутренних полостей газотурбинного двигателя больше, чем имеющиеся габариты в области между наружными корпусами двигателей и внутренними корпусами мотоотсека, поэтому размещение стартер-генератора внутри двига-

⁶ Пресс-конференция НПО «Сатурн». ВПК-новости, 16.07.2013

теля позволяет обеспечить большую вырабатываемую мощность в сравнении с размещением стартер-генератора на коробках агрегатов. Будущие перспективные разработки и исследования будут связаны с улучшением удельных параметров стартер-генератора (кВт/кг) в перспективе до 12 кВт/кг, обеспечением лучших показателей охлаждения стартер-генератора, увеличением ресурса работы данного модуля, интеграцией в конструкцию перспективных и существующих турбореактивных двигателей. Известен патент WO2014/177836 A1, в котором описана концепция Dual-Drive Booster [18]. Пример данной конструкции представлен на рис. 8.

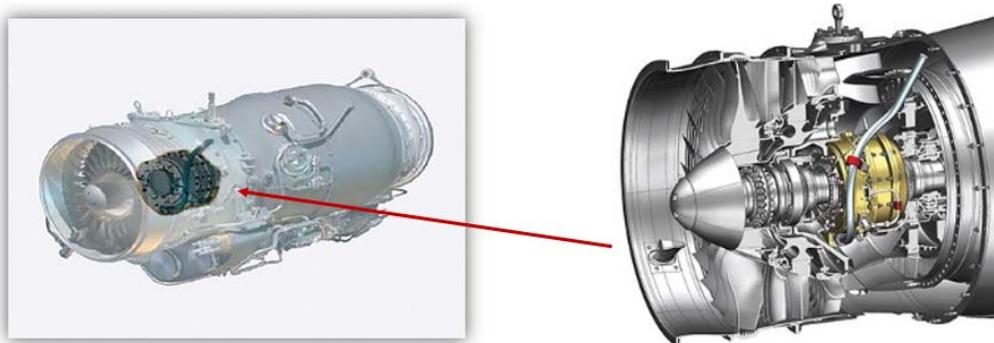


Рис. 8. Концепция Dual-Drive Booster

Стартер-генератор расположен между каскадами компрессоров на опорах ротора и интегрирован в планетарный редуктор. Данная конструкция позволяет отбирать мощность как от одного вала, так и от обоих валов. При этом возможно регулирование энергообмена между валами.

Расположенный в непосредственной близости от проточной части внутри турбореактивного двигателя стартер-генератор подвержен влиянию высоких температур. Агрегат испытывает нагрев от выработки электроэнергии и теплообмена со смежными деталями двигателя. Для улучшения удельных параметров стартер-генератора (кВт/кг), обеспечения меньших температур необходимо выбрать наилучший вариант охлаждения данного агрегата. Теплоёмкость традиционных жидких теплоносителей гораздо выше газообразных, следовательно, жидкостный вариант является предпочтительным. При этом расположение стартер-генератора в непосредственной близости от опор ротора прямо указывает на рекомендацию использования в качестве теплоносителя масло, необходимое для смазки опор и отвода тепла от них. Существуют варианты газовых и жидкостных теплоносителей с лучшей теплоёмкостью, но использование нескольких видов хладагента конструкции двигателя ведёт к усложнению конструкции и удорожанию разработки, увеличению массы, усложнению сборки и обслуживания.

Известна конструкция ВРД с использованием водорода, который можно использовать в качестве хладагента для охлаждения статора с обмотками стартер-генератора. Теплоёмкость водорода в несколько раз выше, чем теплоёмкость нефтяных масел, что может обеспечить лучшие удельные электрические параметры машины. Водород имеет способность проникать в различные щели конструкции, а также при взаимодействии с кислородом становится взрывоопасен. При использовании данного вида хладагента необходимо предусмотреть герметичность полости с водородом и обеспечить низкий перепад температур на входе и выходе [19].

Перспективным направлением в области электрификации силовой установки является отказ от традиционных подшипников качения в опорах ротора и их замена на керамические подшипники скольжения или магнитные опоры. Данные подшипники не требуют смазки, и, следовательно, в конструкции встроенного стартер-генератора возможно в перспективе использовать хладагенты с лучшими показателями. Будущие пер-

спективные разработки и исследования будут связаны с интеграцией стартер-генератора на магнитные или керамические опоры ротора компрессора.

Заключение

В статье приведён обзор различных проектов и разработок за рубежом и в России по созданию летательных аппаратов концепции более электрического самолёта, созданию новых и доводке существующих изделий в рамках синтеза электрической гибридной силовой установки, представлены решения по замене традиционных агрегатов электроприводными аналогами, а также представлены некоторые перспективные направления по электрификации газотурбинного двигателя в составе гибридной силовой установки летательного аппарата или полностью электрического самолёта. Новые направления исследования в части электрификации газотурбинного двигателя позволяют учесть некоторые особенности в разработке гибридных электрифицированных силовых установок и силовых установок для полностью электрических самолётов в будущих перспективных разработках.

Библиографический список

1. Скибин В.А., Солонин В.И., Палкин В.А. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечение создания перспективных авиационных двигателей: аналитический обзор. М.: ЦИАМ, 2010. 673 с.
2. Павлов А.М., Спиндзак И.И., Егорова П.С. Особенности эксплуатации электрической силовой установки мотоплана Taurus Electro G2 // Системный анализ и логистика. 2018. № 3 (18). С. 3-13.
3. Палкин В.А. Обзор работ в США и Европе по авиационным двигателям для самолётов гражданской авиации 2020...2040-х годов // Авиационные двигатели. 2019. № 3 (4). С. 63-83. DOI: 10.54349/26586061_2019_3_63
4. Жмуров Б.В., Халютин С.П., Давидов А.О. Информационно-энергетическая методика проектирования энергокомплекса летательных аппаратов с электрической тягой // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2017. Т. 20, № 1. С. 167-176.
5. Faleiro L. Summary of the European power optimised aircraft (POA) project // 25th International Congress of the Aeronautical Sciences, ICAS 2006.
6. Madonna V., Giangrande P., Galea M. Electrical power generation in aircraft: Review, challenges and opportunities // IEEE Transactions on Transportation Electrification. 2018. V. 4, Iss. 3. P. 646-659. DOI: 10.1109/tte.2018.2834142
7. Волокитина Е.В., Власов А.И., Данилов Н.А., Москвин Е.В., Никитин В.В. Исследования по определению оптимальных параметров и структуры системы электроснабжения полностью электрифицированного самолёта // Электроника и электрооборудование транспорта. 2010. № 4. С. 2-7.
8. Noland J.K., Leandro M., Suul J.A., Molinas M., Nilsen R. Electrical machines and power electronics for starter-generators in more electric aircrafts: A technology review // Proceedings of the 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society – IECON 2019 (October, 14-17, 2019, Lisbon, Portugal). 2019. DOI: 10.1109/IECON.2019.8926789
9. Juve L., Fosse J., Joubert E., Fouquet N. Airbus Group electrical aircraft program. The E-Fan project // 52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference (July, 25-27, 2016, Salt Lake City, UT). 2016. DOI: 10.2514/6.2016-4613

10. Kirk G.E. The design of the Rolls-Royce Trent 500 aeroengine // Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design, ICED 03 (August, 19-21, 2003, Stockholm). 2003. P. 503-504.
11. Воронович С., Каргопольцев В., Кутахов В. Полностью электрический самолёт // Авиапонорама. 2009. No. 2 (74). С. 14-17.
12. КРЭТ разрабатывает «источник жизни» для полностью электрического самолёта. <https://rostec.ru/content/files/press-rel/press-release-KRET-istochnik.pdf>
13. Ткачева М.Л. ЦИАМ на МАКС-2021: Мировая премьера электродвигателя на сверхпроводниках и векторы развития двигателестроения // Авиационные двигатели. 2021. № 3 (12). С. 73-77.
14. Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока: учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 272 с.
15. Асланов В.В., Кутько В.И. Использование энергии воздушной струи от вентилятора турбовентиляторного двигателя для приведения во вращение генератора постоянного тока // Сборник научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции «Инновационные научные исследования в современном мире: теория, методология, практика» (31 января 2022 г., Уфа). Уфа: НИЦ Вестник науки, 2022. С. 11-21.
16. Гуревич О.С., Гулиенко А.И. Газотурбинный двигатель для «электрического» магистрального самолёта – «электрический» ГТД // Авиационные двигатели. 2019. № 1 (2). С. 7-14. DOI: 10.54349/26586061_2019_1_7
17. Легконогих Д.С., Голев И.М., Преображенский А.П., Зеленин А.Н. Особенности применения электроприводных агрегатов в авиационных силовых установках // Труды МАИ. 2018. № 101. <https://trudymai.ru/published.php?ID=96939>
18. Speak T.H., Sellick R.J. Compressor system. Patent WO/2014/177836, 06.11.2014.
19. Болотин Н.Б. Водородный воздушно-реактивный двигатель: патент РФ № 2553052; опублик. 10.06.2015; бюл. № 16.

AIRCRAFT ELECTRIC POWER PLANTS

© 2024

- A. D. Kondryakov** Postgraduate Student of Department “Design and Construction of Engines”;
Moscow Aviation Institute, Moscow, Russian Federation;
Head of the Stator Group, Compressor Design Department;
Lyulka Design Bureau, Moscow, Russian Federation;
tetra1337@mail.ru
- M. K. Leontiev** Doctor of Science (Engineering), Professor of Department “Design and
Construction of Engines”;
Moscow Aviation Institute, Moscow, Russian Federation;
General Director of Alfa-Transit LLC, Moscow, Russian Federation;
lemk@alfatran.com

The paper presents a review of electrification of the existing propulsion systems and creating new hybrid propulsion systems based on the concept of more electric aircraft and all-electric aircraft in Russia and abroad. New promising directions of electrification of the existing aircraft propulsion systems and creating new hybrid aircraft propulsion systems are specified on the basis of the review.

Turbojet engine; electrification; hybrid power plant; electric aircraft; starter-generator; electric drive units

Citation: Kondryakov A.D., Leontiev M.K. Aircraft electric power plants. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2024. V. 23, no. 2. P. 49-61. DOI: 10.18287/2541-7533-2024-23-2-49-61

References

1. Skibin V.A., Solonin V.I., Palkin V.A. *Raboty vedushchikh aviadvigatelistroitel'nykh kompaniy v obespechenie sozdaniya perspektivnykh aviatsionnykh dvigateley: analiticheskiy obzor* [The work of leading aircraft engine companies to ensure the creation of advanced aircraft engines: Analytical review]. Moscow: TsIAM Publ., 2010. 673 p
2. Pavlov A.M., Spindzak I.I., Egorova P.S. Operation of electric engine of motor glider Taurus Electro G2. *System Analysis and Logistics*. 2018. No. 3 (18). P. 3-13. (In Russ.)
3. Palkin V.A. Review of works in the USA and Europe on aero engines for civil aircraft of 2020...2040's. *Aviation Engines*. 2019. No. 3 (4). P. 63-83. (In Russ.). DOI: 10.54349/26586061_2019_3_63
4. Zhmurov B.V., Khalyutin S.P., Davidov A.O. Information-energy methodology of the aircraft with electric propulsion energy complex design. *Civil Aviation High Technologies*. 2017. V. 20, no. 1. P. 167-176. (In Russ.)
5. Faleiro L. Summary of the European power optimised aircraft (POA) project. 25th *International Congress of the Aeronautical Sciences, ICAS 2006*.
6. Madonna V., Giangrande P., Galea M. Electrical power generation in aircraft: Review, challenges and opportunities. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*. 2018. V. 4, Iss. 3. P. 646-659. DOI: 10.1109/tte.2018.2834142
7. Volotkina E.V., Vlasov A.I., Danilov N.A., Moskvina E.V., Nikitin V.V. Determination of optimal features and structure of all electric aircraft power system. *Electronics and Electrical Equipment of Transport*. 2010. No. 4. P. 2-7. (In Russ.)
8. Noland J.K., Leandro M., Suul J.A., Molinas M., Nilsen R. Electrical machines and power electronics for starter-generators in more electric aircrafts: A technology review. *Proceedings of the 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society – IECON 2019 (October, 14-17, 2019, Lisbon, Portugal)*. 2019. DOI: 10.1109/IECON.2019.8926789
9. Juve L., Fosse J., Joubert E., Fouquet N. Airbus Group electrical aircraft program. The E-Fan project. *52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference (July, 25-27, 2016, Salt Lake City, UT)*. 2016. DOI: 10.2514/6.2016-4613
10. Kirk G.E. The design of the Rolls-Royce Trent 500 aeroengine. *Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design, ICED 03 (August, 19-21, 2003, Stockholm)*. 2003. P. 503-504.
11. Voronovich S., Kargopol'tsev V., Kutakhov V. All-electric aircraft. *Aviaponorama*. 2009. No. 2. P. 14-17. (In Russ.)
12. KRET razrabatyvaet «istochnik zhizni» dlya polnost'yu elektricheskogo samoleta [KRET is developing a “source of life” for an all-electric aircraft]. Available at: <https://rostec.ru/content/files/press-rel/press-release-KRET-istochnik.pdf>
13. Tkacheva M.L. CIAM at MAKS-2021: The world premiere of superconductivity electric aircraft and vectors of engine development. *Aviation Engines*. 2021. No. 3 (12). P. 73-77. (In Russ.)
14. Balagurov V.A. *Proektirovanie spetsial'nykh elektricheskikh mashin peremennogo toka: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Designing of special alternating-current electric machines: Textbook for universities]. Moscow: Vysshaya Shkola Publ., 1982. 272p.
15. Aslanov V.V., Kut'ko V.I. Ispol'zovanie energii vozduшной strui ot ventilyatora turboventilyatornogo dvigatelya dlya privedeniya vo vrashchenie generatora postoyannogo toka. *Sbornik nauchnykh statey po materialam VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsionnye Nauchnye Issledovaniya v sovremennom Mire: Teoriya, Metodologiya, Praktika» (January, 31, 2022, Ufa)*. Ufa: NITs Vestnik Nauki Publ., 2022. P. 11-21. (In Russ.)

16. Gurevich O.S., Gulienko A.I. The gas turbine engine for a «electric» long-range aircraft – the «electric» GTE. *Aviation Engines*. 2019. No. 1 (2). P. 7-14. (In Russ.). DOI: 10.54349/26586061_2019_1_7

17. Legkonogikh D.S., Golev I.M., Preobrazhensky A.P., Zelenin A.N. Application specifics of electrically driven units in an aircraft power plants. *Trudy MAI*. 2018. No. 101. (In Russ.). Available at: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=96939>

18. Speak T.H., Sellick R.J. Compressor system. Patent WO/2014/177836, 06.11.2014.

19. Bolotin N.B. *Vodorodnyy vozduшно-reaktivnyy dvigatel'* [Hydrogen air-jet engine]. Patent RF, no. 2553052, 2015. (Publ. 10.06.2015, bull. no. 16)