

УДК 629.7

МИРОВЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ СОВРЕМЕННЫХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Бедилов Одил Ташарович

преподаватель Национального университета им. М.Улугбека

Saydullaev Jamshid Alisherovich

Студент, Ташкентского государственного транспортного университета

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10364796>

Аннотация:

Рассмотрены текущее состояние авиадвигателя строения и направления работ по созданию технологий для перспективной авиационной техники за рубежом. Показано, что в ТРДД ближайшей перспективы (2020...2025 гг.) будут существенно повышены параметры рабочего процесса и степень двухконтурности, а в их конструкции будут широко применяться композиционные материалы как в «холодной», так и в «горячей» частях двигателя. На среднесрочную и долгосрочную перспективы (2030...2040 гг.) с учетом существенного прогресса в разработке компонентов электрической системы рассматриваются различные концепции летательных аппаратов с гибридной (турбоэлектрической) и электрической силовыми установками, в том числе с использованием компонентов на основе высоко - температурной сверхпроводимости.

Ключевые слова:

Двигатель, конструкция, тяга, разработка, сертификация, модификация, технические характеристики, авиационный двигатель, гибридный двигатель, электрический двигатель, критические технологии, силовая установка.

Annotation:

The current state of aircraft engine manufacturing and areas of work to create critical technologies for advanced aircraft technology abroad are considered. It is shown that in turbofan engines in the near future (2020...2025) the operating process parameters and bypass ratio will be significantly increased, and their design will widely use composite materials in both the “cold” and “hot” parts of the engine. For the medium and long term (2030...2040), taking into account significant progress in the development of electrical system components, various concepts of aircraft with hybrid (turboelectric) and electric power plants, including the use of components based on high-temperature superconductivity, are being considered.

Keywords:

Engine, design, thrust, development, certification, modification, technical characteristics, aircraft engine, hybrid engine, electric engine, critical technologies, power plant.

Введение

Состояние двигателестроения

По состоянию на конец мая 2022 г. лидирующее положение на рынке авиационных двигателей по всему парку пассажирских самолетов, находящихся в эксплуатации, занимали компании CFM International (совместное предприятие компаний General Electric и Safran, ~ 44%) и General Electric (~ 22%), в сегменте двигателей для магистральных узкофюзеляжных самолетов – компании CFM International (~ 71%, семейство ТРДД CFM56) и International Aero Engines (~ 19%, семейство ТРДД V2500), в сегменте двигателей для региональных самолетов – компании General Electric (~ 72%, семейство ТРДД CF34) и Rolls-Royce (~ 17%, семейство ТРДД AE3007), а в сегменте двигателей для магистральных широко - фюзеляжных самолетов – компании General Electric (~ 51%, семейства ТРДД CF6, GE90 и GEux) и RollsRoyce (~ 28%, семейства ТРДД RB211 и Trent) (рис. 1).

Кроме двигателей компаний General Electric и Rolls-Royce в силовых установках (СУ) региональных самолетов применяются ТРДД SaM146 компании PowerJet и ТВД PW100 компании Pratt & Whitney Canada. Семейства ТРДД TFE731 компании Honeywell и ALF502/ALF507 компании Lycoming применяются в СУ региональных самолетов, выпуск которых прекращен. Новыми разработками в этом сегменте являются семейства ТРДД Passport 20 компании General Electric и PW1000G компании Pratt & Whitney.

В начале 2010-х гг. в эксплуатацию были введены новые ТРДД для широкофюзеляжных самолетов (GEux, Trent 1000 / Trent XWB), которые по сравнению с двигателями соответствующего назначения, находящимися в эксплуатации, обеспечили уменьшение затрат топлива на 10...15%, уровня шума на 12...20 дБ относительно норм Главы 4 ИКАО и запас по уровню эмиссии NOx по циклу «взлет–посадка» 30...50% относительно норм CAEP/6 ИКАО. (CAEP-комитет по охране окружающей среды от воздействия авиации).

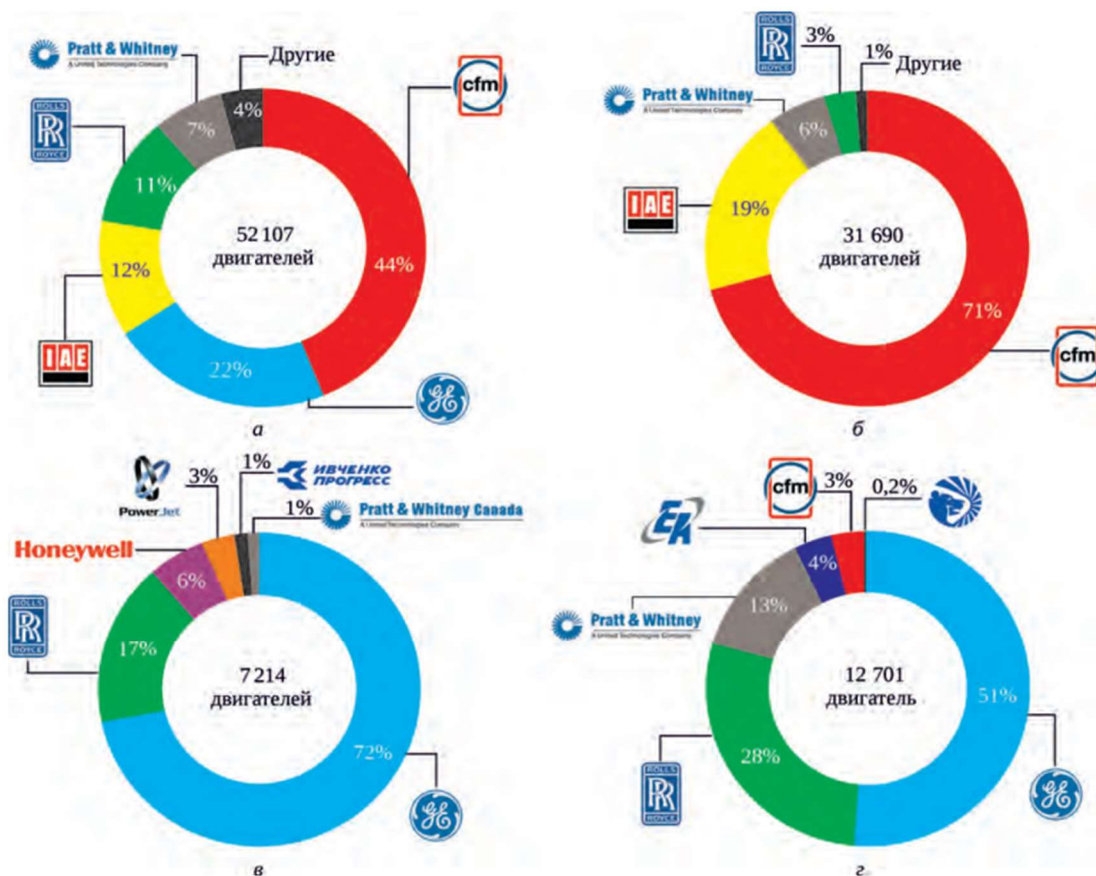


Рис. 1. Распределение парка пассажирских самолетов по производителям авиационных двигателей [5]:
а – по всему парку; б – по сегменту узкофюзеляжных самолетов; в – по сегменту региональных самолетов;
г – по сегменту широкофюзеляжных самолетов

В настоящее время компания General Electric проводит сертификационные испытания двигателя GE9X-105B1A из семейства ТРДД GE90 для нового семейства самолетов B777X компании Boeing. В этом двигателе впервые в мировой практике гражданского авиа двигателестроения применяются 11-ступенчатый КВД, рассчитанный на степень повышения давления $p^*_{к} \gg 27$ при суммарной степени повышения давления $p^*_{кS} \gg 64$, жаровая труба камеры сгорания и лопатки СА и РК второй ступени ТВД из ККМ, лопатки ТНД из алюминид титана (TiAl), изготовленные по аддитивной технологии, а также в значительной части технологии, разработанные для семейств ТРДД GENx и LEAP.

Анализ рынка авиационных двигателей

Ожидается, что объем рынка авиационных двигателей вырастет с 99.97 млрд долларов США в 2023 году до 124.04 млрд долларов США к 2028 году при среднегодовом темпе роста 4.41% в течение прогнозируемого периода (2023-2028 гг.).

На рынок авиационных двигателей сильно повлияла пандемия COVID-19 из-за спада в авиационной отрасли, что привело к сокращению поставок авиационных двигателей в 2020 и 2021 годах.

Тем не менее, ожидается, что крупномасштабное отставание OEM-производителей самолетов в коммерческом, военном секторах и авиации общего назначения будет стимулировать рынок в течение прогнозируемого периода.

Ожидается, что запланированные планы модернизации и расширения парка авиакомпаний, эксплуатантов воздушных судов, вооруженных сил и чартерных операторов будут способствовать росту рынка авиационных двигателей в течение прогнозируемого периода.

Рост рынка также обусловлен спросом на двигатели нового поколения с низким уровнем выбросов и меньшим весом, что повысит топливную эффективность самолетов. В связи с этой тенденцией компании инвестируют в исследования и разработку новых моделей двигателей с использованием новейших технологий, таких как аддитивное производство и композитные технологии.

Тем не менее, растущие опасения по поводу отказа авиационных двигателей во время работы и задержки в поставках являются одними из факторов, препятствующих росту рынка.

Гибридный подход

Развитие гибридных силовых установок (ГСУ) и их интеграция в состав летательных аппаратов различного назначения является одной из наиболее актуальных тенденций развития рынка авиадвигателей: комбинация газотурбинных двигателей (ГТД) и электрического мотора позволяет частично решить основные проблемы современной авиации. Мировой опыт показывает, что практически все крупные производители силовых установок для авиации в той или иной степени ведут работы по созданию ГСУ. В частности, американская компания Pratt & Whitney в середине июля 2021 года заручилась поддержкой правительства Канады для совершения первого полета турбовинтового гибридного авиадвигателя: ожидается, что он позволит существенно снизить вредные выбросы в атмосферу. Одновременно предполагается существенная экономия топлива, которая в случае интеграции ГСУ на региональные турбовинтовые пассажирские и транспортные самолеты может составить до 30%.

Американская корпорация United Technologies Corporation (UTC) также ведет разработки в сфере гибридных авиадвигателей и их установки на различные летательные аппараты. В частности, корпорация представила "проект 804" — демонстратор легкого турбовинтового самолета Dash 8 канадской компании Bombardier, у которого вместо одного из двигателей установлена ГСУ мощностью 2 МВт. В настоящее время образец проходит ряд испытаний. Примечательно, что наиболее важной заявленной целью "проекта 804" является снижение расходов топлива и повышение экономической эффективности перевозок. По данным компании, самолет, оснащенный ГСУ, позволит перевозить от 30 до 50 пассажиров на дистанции от 200 до 250 морских миль (370–463 км) и совершать полет в течение одного часа.

В начале июня 2021 года британская компания Rolls-Royce начала испытания первых компонентов собственной гибридной силовой установки на базе AE2100 для авиации. Ее общая мощность составит 2,5 МВт. Сроки создания AE2100 не уточняются, однако Rolls-Royce неоднократно сообщала о намерении существенно снизить выброс вредных веществ к 2030 году. Вполне вероятно, что именно к этому периоду и завершится разработка ГСУ. Ранее разработка этой ГСУ велась Rolls-

Роусе в сотрудничестве с европейским концерном Airbus, однако в апреле 2020 года совместный проект был закрыт, и британская компания продолжила самостоятельную разработку этой установки.

Французская группа компаний Safran активно ведет разработку ГСУ для вертолетов и коммерческих самолетов. Предполагается, что на рубеже 2040–2050-х годов данные силовые установки будут доминировать в портфеле заказов компании. Вертолетная ГСУ разработки Safran выполнила первое тестовое испытание в июле 2018 года, мощность образца составила 100 кВт.

Американская корпорация General Electric создает в сотрудничестве с компанией XTI ГСУ TriFan, предназначенную для легких пассажирских и транспортных самолетов. Ее мощность составит порядка 1 МВт, максимальная мощность — около 1,4 тыс. л.с. При установке на легкий самолет Denali компании Cessna Catalyst позволяет перевозить до четырех человек на дальность до 1,6 тыс. морских миль (3 тыс. км) на скорости до 285 узлов (527 км/ч). Работы находятся в активной стадии, ожидается, что готовый образец ГСУ будет создан к началу 2030-х годов.

Разработка критических технологий для авиадвигателей 2020...2040-х годов.

Создание новых технологий играет ключевую роль в обеспечении будущей конкурентоспособности авиационной техники. За рубежом в целях достижения максимально возможного уровня технического совершенства, снижения сроков и стоимости разработки двигателей при активной поддержке государства в рамках специальных программ по созданию критических технологий проводится опережающая отработка новых технических решений. С помощью этих программ осуществляется эффективное управление технологическим развитием авиадвигателестроения и обеспечивается конкурентоспособность продукции, выпускаемой зарубежными компаниями, на мировом рынке.

Для двигателей широкофюзеляжных самолетов (семейства ТРДД GE90, GE9x, Trent), величина удельного расхода топлива которых в условиях крейсерского полета находится на уровне $CR_{кр} = 0,52...0,55$ кг/(кгс×ч), это улучшение не превышает 25...30%.

В последние годы в США разработка новых технологий для авиационных двигателей разделена между FAA и NASA. FAA отвечает за разработку технологий на ближайшую перспективу (2015...2020 гг.), а NASA – за среднесрочную (2025...2035 гг.) и долгосрочную (после 2035 г.) перспективы.

Разработанные технологии используются компанией General Electric в ТРДД LEAP-X и GE9X, компанией Pratt & Whitney – в семействе ТРДД PW1000G, компанией Rolls-Royce – в разрабатываемых ТРДД Advance 3 и UltraFan. В 2008...2014 гг. в рамках программы Fundamental Aeronautics по проекту Subsonic Fixed Wing NASA проводила работы по исследованию концепций и определению ключевых технологий для дозвуковых пассажирских самолетов с началом эксплуатации в 2030...2035 гг. В работах принимали участие компании Boeing, Northrop Grumman, Cessna, General Electric, Rolls-Royce, Pratt & Whitney, а также ряд

университетов и исследовательских лабораторий. В этих работах рассматривались технологии, которые к 2020...2025 гг. могут иметь уровень готовности TRL = 5–6 с доработкой их до TRL = 8–9 к 2030...2035 гг.

В работах 2008...2014 гг. рассматривались концепции самолетов с электрифицированными СУ с вводом в эксплуатацию к 2045 г. Однако, учитывая существенный прогресс в разработке электромоторов и электрического оборудования, NASA в 2015...2017 гг. путем объединения усилий с промышленностью в рамках проекта Advanced Air Transport Technology программы Advanced Air Vehicles Program (AAVP) провела исследования новых концепций региональных и магистральных самолетов с электрифицированными СУ с вводом в эксплуатацию в более ранние сроки (~ 2035 г.), основные параметры которых приведены в таблице, а схемы самолетов и их СУ.

Разработка критических технологий в Европе. Европейские страны несколько позже, чем США, приступили к выполнению программ по созданию критических технологий в области авиации. Эти работы проводятся под эгидой Еврокомиссии в виде Рамочных программ и нацелены на обеспечение конкурентоспособности выпускаемой в Европе авиационной техники. Крупномасштабная разработка критических технологий в области авиационной техники началась в Пятой рамочной программе (FP5, 1998...2005 гг., первоначальный срок – 1998...2002 гг.) и в настоящее время продолжается в Восьмой рамочной программе (Horizon 2020, планируемый срок – 2014...2020 гг.).

В рамках Шестой (проекты VITAL, NEWAC, DREAM) и Седьмой (проекты LEMCOTEC, ENOVAL, E-BREAK) рамочных программ разрабатывались критические технологии для авиационных двигателей СУ пассажирских самолетов 2020...2025 гг., которые обеспечили бы достижение целевых индикаторов, установленных ACARE в Vision 2020. В этих проектах координаторами работ были компании Rolls-Royce, Safran и MTU Aero Engines.

В дальнейшем в зависимости от ситуации на рынке Rolls-Royce может предложить заказчикам и ТВВД (Open Rotor).



Начало эксплуатации	2020+	2025
Степень двухконтурности	11+	15+/50
Суммарная степень сжатия	60+	70+
Эффективность (отн. Trent 700)%	20+	25+/30

Рис. 2. Стратегия компании Rolls-Royce по разработке перспективных двигателей 2020...2025+ гг.

Среди европейских компаний инициатором разработки самолетов с электрифицированными СУ в рамках проектов «E-aircraft projects» является компания Airbus Group. Основные научно-исследовательские работы по этому направлению проводило подразделение компании Airbus Innovations (корпоративная исследовательская сеть компании Airbus Group).

Наряду с исследованиями электрифицированных СУ проводятся работы и по разработке компонентов электрической системы. Одним из мировых лидеров в данном направлении была компания Siemens (в июне 2019 г. ее подразделение по электрическим и гибридно электрическим СУ Aircraft приобрела компания RollsRoyce), которая разработала электромоторы мощностью 60...300 кВт с удельной мощностью около 6 кВт/кг, а также инверторы.

Компания Safran разработала электромотор мощностью 45 кВт с удельной мощностью 2,5 кВт/кг, предназначенный для прямого привода винта, и турбогенератор мощностью 600 кВт с удельной мощностью 8 кВт/кг, предназначенный для подачи тепловой и/или электрической энергии к многочисленным электроприводным винтам распределенной СУ в зависимости от участка траектории полета.

Также в Европе разрабатываются демонстраторы технологий на базе легких самолетов с гибридноэлектрическими СУ для проведения летных испытаний.

Заключение

Создание новых технологий играет ключевую роль в обеспечении будущей конкурентоспособности авиационной техники, выпускаемой зарубежными компаниями.

За рубежом при активной поддержке государства в целях достижения максимально возможного уровня технического совершенства, снижения сроков и стоимости разработки двигателей в рамках специальных программ проводится опережающая отработка критических технологий. С помощью этих программ осуществляется эффективное управление технологическим развитием авиастроения и государства.

В этих программах разрабатываются критические технологии на ближайшую (2020...2025 гг.), среднесрочную (2025...2035 гг.) и долгосрочную (после 2035 г.) перспективы. Разрабатываемые технологии предназначены для применения в двигателях как традиционных схем (ТРДД с прямым или редукторным приводом вентилятора, ТВВД), так и новых схем (двигатели комбинированного цикла, гибридные и электрические двигатели), в том числе с использованием альтернативного топлива с низким содержанием углерода.

В настоящее время все ведущие зарубежные авиадвигателестроительные компании участвуют в программах по разработке критических технологий в обеспечение создания двигателей нового поколения, СУ с которыми будут максимально интегрированы с летательным аппаратом, а по своим показателям

двигатели будут существенно превосходить ТРДД пятого поколения. Применяемые в них технологии будут направлены не только на уменьшение затрат топлива (энергии), уровня шума и эмиссии вредных веществ, но и на снижение всех составляющих стоимости жизненного цикла.

Литература:

1. Палкин В.А., Солонин В.И., Скибин В.А. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечении создания перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор) / Под общей ред. В.А. Скибина и В.И. Солониной. М.: ЦИАМ, 2010. 678 с.
2. The Sustainability of UK Aviation: Trends in the Mitigation of Noise and Emissions. Indep. Trans. Comm. March 2016.
3. Commercial Engines 2018. Turbofan Focus. FlightGlobal. 2018.
4. Rouaud L. GE Aviation. Technology Innovation to Power the Next Generation Widebody Aircraft. September 2012. GE Aviation.
5. PurePower® Family of Engines. Pratt & Whitney. 2014
6. LEAP. Latin America & Caribbean Engineering & MRO Summit. October 17–18, 2012. Sao Paulo, Brasil. CFM Int.