

## НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI 10.35264/1996-2274-2022-1-125-136

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ В ИНТЕРЕСАХ СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ЗА РУБЕЖОМ

*Д.Б. Изюмов*, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [izyumov@extech.ru](mailto:izyumov@extech.ru)

*Е.Л. Кондратюк*, зам. нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [kel@extech.ru](mailto:kel@extech.ru)

*Рецензент: А.И. Гаврюшин*

*В статье рассмотрены перспективы развития летательных аппаратов с полностью электрической или гибридной силовой установкой. Представлен обзор различных архитектур построения электрических и гибридных силовых установок для перспективной зарубежной авиационной техники двойного назначения, включая ряд разработанных зарубежных концепций самолетов гражданского назначения с гибридно-электрической силовой установкой. Рассмотрен ряд программ и проектов ведущих стран мира в области создания электрических летательных аппаратов. Выделены этапы «электрификации» существующих и перспективных образцов авиационной техники ВВС США. Обобщены основные научно-технические проблемы в области развития технологий электродвижения и ускоренного перевода существующих и перспективных зарубежных образцов ВВСТ на электрические силовые установки.*

**Ключевые слова:** электрифицированный летательный аппарат, электрическая силовая установка, гибридная силовая установка, электродвижение, электромотор, электрификация, источник энергии, полностью электрический летательный аппарат, архитектура построения, концепция, авиационная техника двойного назначения, проект, программа, зарубежный образец, демонстрационный образец.

### SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROBLEMS OF THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC PROPULSION TECHNOLOGIES IN THE INTERESTS OF CREATING PROMISING AVIATION EQUIPMENT ABROAD

*D.B. Izyumov*, Head of Department, SRI FRCEC, [izyumov@extech.ru](mailto:izyumov@extech.ru)

*E.L. Kondratyuk*, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, [kel@extech.ru](mailto:kel@extech.ru)

*The article discusses the prospects for the development of aircraft with a fully electric or hybrid power plant. An overview of various architectures for the construction of electric and hybrid power plants for promising foreign dual-use aviation equipment, including a number of developed foreign concepts of civil aircraft with a hybrid-electric power plant, is presented. A number of programs and projects of the leading countries of the world in the field of creation of electric aircraft are considered. The stages of «electrification» of existing and promising models of aviation equipment of the US Air Force are highlighted. The main scientific and technological problems in the field of the development of electric propulsion technologies and the accelerated transfer of existing and promising foreign models of VVST to electric power plants are summarized.*

**Keywords:** electrified aircraft, electric power plant, hybrid power plant, electric propulsion, electric motor, electrification, energy source, fully electric aircraft, construction architecture, concept, dual-use aviation equipment, project, program, foreign sample, demonstration sample.

К настоящему времени, по мнению большинства зарубежных и российских экспертов в области авиастроения, полностью электрические самолеты вышли из стадии инноваций и в ряде ведущих стран мира вплотную приблизились к их успешному использованию в коммерческих целях. Ожидается, что и в России данные разработки в ближайшие годы достигнут стадии перехода от экспериментов к опытным технологиям и коммерческому использованию. Однако объем вопросов, которые мешают скорейшему массовому использованию данных типов авиационной техники, еще существенен.

За рубежом под термином «электросамолет» подразумевается электрифицированный летательный аппарат (ЛА). Специалисты в области авиации различают три уровня электрификации самолетов: «более электрический», «полностью электрический» и «гибридный» [1].

«Более электрический», или самолет с повышенной электрификацией, – ЛА, оснащенный двигателем внутреннего сгорания, большую часть работы оборудования которого (регулировка крыла, выпуск шасси и т. д.) выполняют электроприводы.

«Полностью электрический самолет» – ЛА, у которого отсутствуют двигатели внутреннего сгорания (вместо них используются электродвигатели, которые питаются от аккумуляторов), а все оборудование работает на электроэнергии.

«Гибридный самолет» – ЛА, оснащенный гибридной силовой установкой, в которой преобразование энергии происходит дважды: сначала – в механическую с помощью двигателей внутреннего сгорания, затем – в электрическую с помощью бортовых генераторов.

В эпоху противостояния великих держав, согласно заявлению военно-политического руководства США, способы ведения вооруженной борьбы должны непрерывно развиваться и адаптироваться под вновь возникающие угрозы. По мере того как меняется специфика угроз, американские вооруженные силы (ВС) также должны менять способы ведения боевых действий. В условиях действия новой стратегии ВС США мультидоменного противоборства (Multidomain battle – MDB) боевые действия будущего должны разворачиваться в различных частях пространства: воздушно-космическом, морском, на суше, а также в киберпространстве в любых частях земного шара одновременно. И перед американским командованием стоит первостепенная задача: организовать синхронное взаимодействие всех элементов своих ВС, а это не только сухопутные войска, морская пехота, национальная гвардия, военно-воздушные силы, военно-морские силы и космические войска, но и военная промышленность и предприятия, работающие в сфере высоких технологий, искусственного интеллекта и робототехники [2].

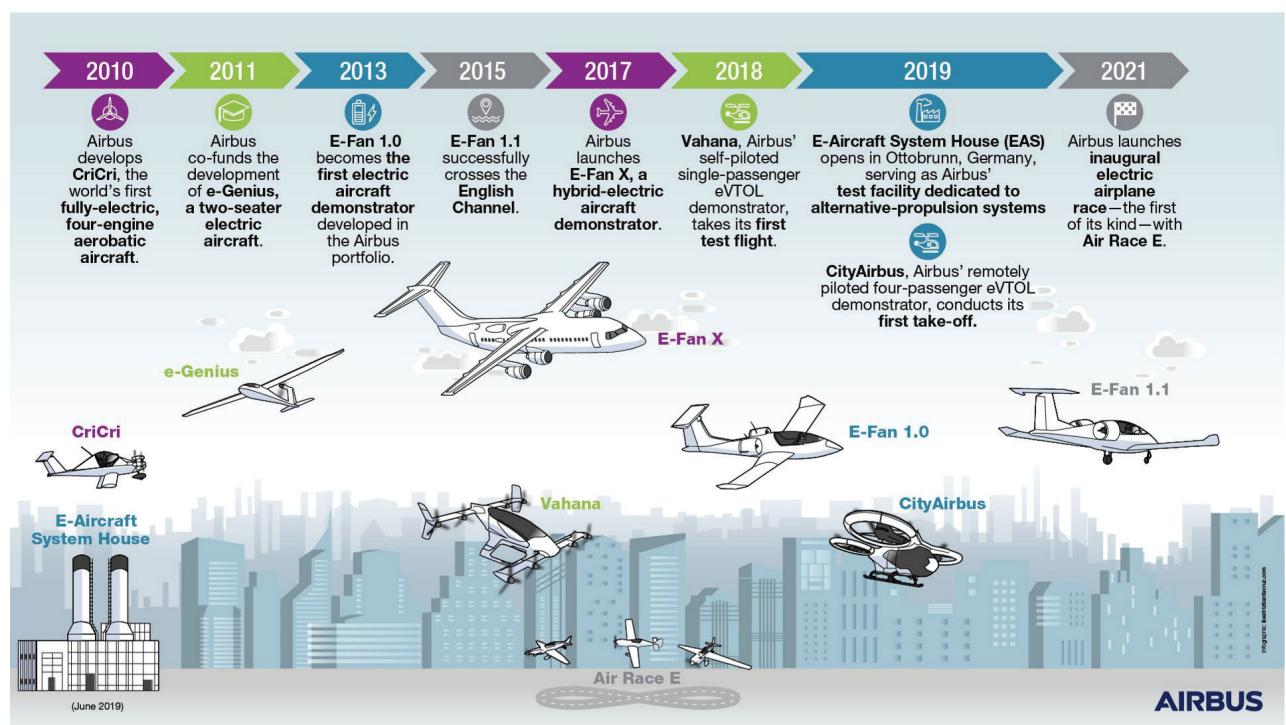
Эффективная реализация данной стратегии требует наличия на вооружении передовых образцов ВВСТ, в числе которых – ЛА военного назначения с полностью электрической или гибридной силовой установкой (СУ). К подобной авиационной технике (АТ) будут предъявляться повышенные требования по мощности СУ, возможностям систем жизнеобеспечения, акустической заметности, тепловой сигнатуре в ИК-диапазоне, экологичности, менее трудозатратной системе обеспечения жизненного цикла и т. д.

Технологии электрических и гибридных СУ активно развиваются в различных отраслях промышленности ведущих стран мира – от автомобильной до морской. Авиационная промышленность не является исключением. С 2010–2017 гг. за рубежом наблюдается появление целого ряда полностью электрических опытных образцов ЛА гражданского назначения [3–10].

В частности, в европейской компании Airbus работа в области создания электрических летательных аппаратов направлена на то, чтобы заложить основу будущего повсеместного

их внедрения и дальнейшей широкой эксплуатации. Активно разрабатывается соответствующая нормативная база для применения данных силовых установок в коммерческом и военном самолетостроении [11, 12].

В 2010 г. специалисты компании Airbus создали первый в мире полностью электрический четырехмоторный пилотируемый самолет CriCri (рис. 1). С тех пор инженеры компании Airbus добились значительного прогресса в рассматриваемом направлении – так, уже в 2015 г. полностью электрический двухвинтовой самолет E-Fan 1.1 успешно пересек пролив Ла-Манш. Следующим проектом в 2017 г. стал самолет с гибридной силовой установкой E-Fan X (преемник самолета E-Fan 1.1), мощность которого в 30 раз превзошла мощность предшественника. На испытательном самолете E-Fan X один из четырех турбореактивных двигателей был заменен электродвигателем мощностью 2 МВт. По мнению руководства компании Airbus, результаты, полученные в рамках проекта E-Fan, позволили создать существенный научно-технический задел для последующего серийного производства гибридных и электрических авиационных двигателей.



**Рис. 1. Диаграмма достижений специалистов компании Airbus в области самолетостроения с электрическими и гибридными силовыми установками**

В 2018–2019 гг. разработчики Airbus представили опытные образцы электрических ЛА с вертикальным взлетом и посадкой по программе eVTOL (electric Vertical Take Off and Landing) Vahana и CityAirbus. Данные образцы прошли успешные многочасовые комплексные программы летных испытаний по безопасности и производительности.

В США, например, с 2012 г. специалистами NASA реализуется программа Subsonic Ultra Green Aircraft Research (SUGAR), предназначенная для поддержки инновационных идей в сфере технологий электродвижения. Наиболее известный проект этой программы – проект самолета-демонстратора X-57 Maxwell, в рамках которого создается полностью электри-

ческий пятиместный самолет на базе самолета Tecnam P2006T [13, 14]. В частности, самолет Tecnam P2006T представляет собой поршневой двухмоторный легкий многоцелевой самолет, разработанный и выпускаемый итальянской авиастроительной компанией Tecnam с 2007 г. Данный летательный аппарат активно применяется как в гражданской, так и в военной сфере, где эксплуатируется в качестве патрульного воздушного судна и для проведения наблюдательных полетов при помощи устанавливаемого на борту специализированного оборудования.

Зарубежные эксперты отмечают, что самолет-демонстратор X-57 Maxwell – это первый экспериментальный самолет с экипажем Национального управления по аeronавтике и исследованию космического пространства США за последние 20 лет. Сборка данного самолета ведется с 2016 г. по настоящее время. В итоге предполагается получить самолет, оснащенный 14 электродвигателями, 12 из которых, размещенные на передней кромке крыла, будут функционировать при маневрировании и в режимах взлета и посадки, а два мощных и более крупных (на законцовках крыла) – для движения в крейсерском режиме полета (рис. 2) [15, 16].



**Рис. 2. Концепция полностью электрического пятиместного самолета X-57 Maxwell (США)**

По данным NASA, около 70 % объема X-57 Maxwell занимают аккумуляторы, которые могут заряжаться как от сети на земле, так и от солнечных батарей в полете. Без подзарядки на одном заряде самолет будет способен пролететь до 160 км. С 2019 г. проводятся наземные испытания самолета в летно-исследовательском центре им. Армстронга (шт. Калифорния). Первый полет X-57 Maxwell запланирован на конец 2021 г. – начало 2022 г. По мнению разработчиков NASA, распределение электроэнергии между встроенными в крылья пропеллерными двигателями приведет к пятикратному снижению энергии во время полета

самолета X-57 Maxwell на крейсерской скорости 280 км/ч. В результате общие эксплуатационные расходы для небольших воздушных судов сократятся на 40 % при сохранении высоких скоростей полета. Эксперты NASA заявляют, что если раньше для экономии топлива самолетам приходилось летать на меньших скоростях, то электрические двигатели устраняют такое ограничение.

Американские специалисты утверждают, что полностью электрический самолет X-57 Maxwell является лишь одним из ряда модификаций летательных аппаратов, которые не только помогут исследователям NASA протестировать электрические силовые системы для самолетов, но и позволят космическому агентству США наряду с регулирующими организациями разработать стандарты, методы проектирования и планы сертификации для будущих направлений развития электрического воздушного транспорта, включая развивающуюся индустрию перевозок на короткие расстояния с использованием электрических самолетов вертикального взлета и посадки.

Кроме того, в бюджете Национального управления по аeronавтике и исследованию космического пространства США с 2017 г. заложена инициатива (программа) New Aviation Horizons, предусматривающая ускоренное внедрение экологически чистых технологий в авиационной отрасли, включая технологии электродвижения, в течение следующих 10 лет (до 2026 г. включительно) за счет разработки и пилотирования передовых X-самолетов и «демонстрации того, как авиалайнеры могут сжигать половину топлива и производить на 75 % меньше загрязнения во время каждого полета по сравнению с сегодняшним днем» [17].

Стоит отметить, что у ведущих зарубежных авиапроизводителей программы создания гибридных и электрических летательных аппаратов реализуются в тесной кооперации с многими научно-исследовательскими и производственными организациями, в том числе с университетами. Так, европейский проект E-Fan реализуется компанией Airbus совместно с такими ведущими университетами, как Кембриджский (University of Cambridge), Манчестерский (University of Manchester), Университет Крэнфилда (Cranfield University) и др.

Анализ зарубежных разработок в рассматриваемой области показал, что среди различных архитектур построения электрических и гибридных СУ для перспективной авиационной техники двойного назначения можно выделить шесть основных (рис. 3) [18].

Уровни сокращения выбросов CO<sub>2</sub>, связанные с различными технологическими решениями, зависят от характеристик компонентов, конфигурации и задач.

1. Полностью электрическая силовая установка.

Использует аккумуляторные батареи в качестве единственного движущего источника энергии. В отличие от данной СУ гибридно-электрические системы (см. ниже) основываются на использовании газотурбинных двигателей, необходимых для выработки энергии для зарядки аккумуляторов. Кроме того, в гибридно-электрических СУ батареи обеспечивают энергию, необходимую для движения на нескольких этапах полета ЛА.

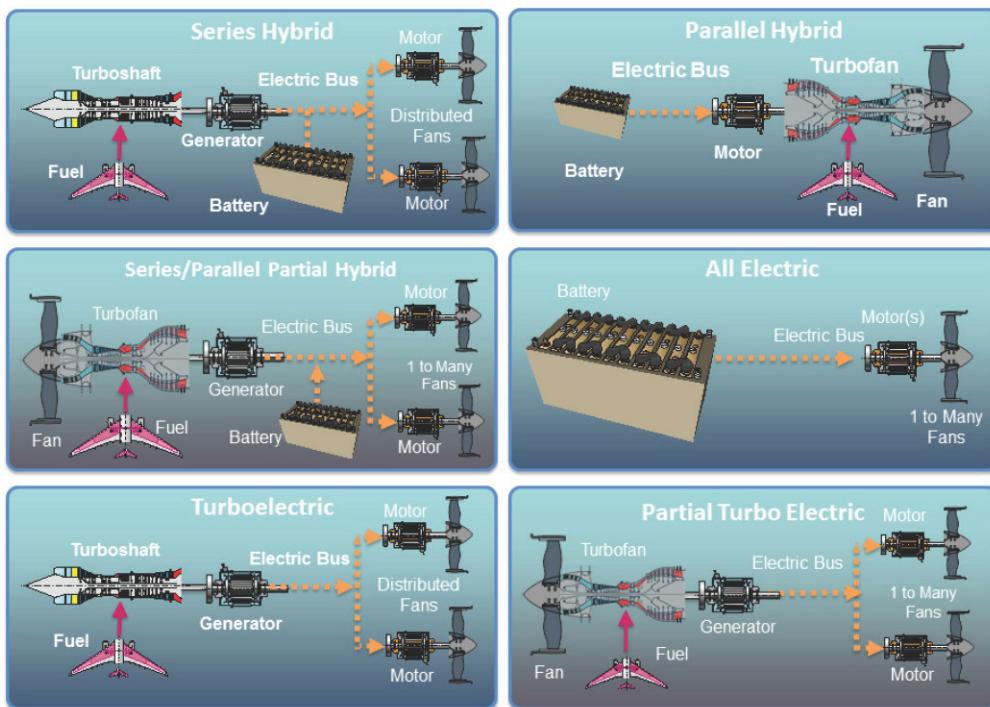
2. Гибридно-электрическая силовая установка параллельной архитектуры построения.

В этой системе газотурбинный двигатель и электродвигатель установлены на валу, который приводит в движение вентилятор, так что один или оба компонента могут обеспечить движение в любое заданное время.

3. Гибридно-электрическая силовая установка последовательной архитектуры построения.

В данном технологическом решении только электродвигатели механически подключаются к вентиляторам. Функция газовой турбины заключается в приводе электрического генератора, который, в свою очередь, приводит в действие двигатели и/или заряжает аккумуляторы. Последовательная архитектура построения силовой установки применима в концепциях распределенных двигателей, в которых используется несколько небольших двигателей и вентиляторов.

4. Гибридно-электрическая силовая установка последовательно-параллельной архитектуры построения.



**Рис. 3. Основные зарубежные варианты построения архитектур электрических и гибридных силовых установок, рассматриваемых для перспективной авиационной техники двойного назначения**

В такой системе имеют место один или несколько вентиляторов, которые могут приводиться в действие непосредственно газовой турбиной, в то время как другие вентиляторы могут приводиться исключительно электродвигателями. Последние, в свою очередь, могут питаться от турбогенератора (генератора с приводом от турбины) или от аккумуляторной батареи.

Ниже в качестве примера приведен перечень разработанных зарубежных концепций самолетов гражданского назначения с гибридно-электрической силовой установкой различной архитектуры построения (табл. 1). В таблице также указаны мощность электродвигателя, тип архитектуры построения силовой установки, начальная оперативная готовность самолета, ожидаемый уровень снижения выброса  $\text{CO}_2$ , дальность действия самолета и предполагаемое количество перевозимых пассажиров.

Рассматриваемые ниже две схемы турбоэлектрических систем не используют батареи в качестве движущего источника энергии на любом этапе полета. Для этого используются газовые турбины.

##### 5. Полностью турбоэлектрическая силовая установка.

В этой конфигурации турбовальные двигатели используются для привода электрогенераторов, питающих инверторы и, следовательно, отдельные двигатели постоянного тока, которые приводят в действие отдельные распределенные электрические вентиляторы.

##### 6. Частично турбоэлектрическая силовая установка.

Эта система представляет собой вариант полностью турбоэлектрической СУ, которая использует электрическую тягу для обеспечения некоторой части двигательной мощности, остальная же часть генерируется турбовентилятором, приводимым в действие газовой турбиной. Ввиду этого к электрическим компонентам частично турбоэлектрической силовой установки предъявляются значительно меньшие требования, чем это необходимо для пол-

ностью турбоэлектрической архитектуры построения СУ. Стоит добавить, что относительно легко передавать электроэнергию нескольким широко разнесенным двигателям. Кроме того, электродвигатели требуют гораздо меньше технического обслуживания, чем двигатели внутреннего сгорания. Поэтому большее число отдельных электродвигателей, установленных на ЛА, не приведет к более высоким затратам на техническое обслуживание подобной АТ.

Таблица 1

**Зарубежные концепции самолетов гражданского назначения  
с гибридно-электрической силовой установкой**

Название концепции самолета (страна)	Мощность электродвигателя, МВт	Тип архитектуры построения СУ	Начальная оперативная готовность, год	Снижение уровня выброса CO <sub>2</sub> , %	Дальность действия самолета	Число пассажиров, чел.
Zunum Aero (США)	4–5	Последовательная	2027	80	Региональный самолет	50
Zunum Aero (США)	15	Последовательная	2030–2035	80	Региональный самолет	100
E-Fan X (Евросоюз)	От 8 до 16	Последовательная	2030–2035	—	Региональный самолет	50–100
STARC-ABL (США)	От 2 до 3	Последовательно-параллельная	2035–2040	10	Региональный самолет	150

В целом принципиально новые архитектуры построения электрических и гибридных СУ для перспективной авиационной техники двойного назначения позволяют в первую очередь создавать летательные аппараты с ультракороткими взлетом и посадкой.

Анализ текущих и долгосрочных планов ведущих зарубежных стран, проводимых НИОКР в области развития технологий электродвижения и ускоренного перевода существующих и перспективных образцов ВВСТ на электрические силовые установки показал, что основными научно-техническими проблемами создания таких средств являются:

- обеспечение поэтапного перехода от двигателей внутреннего сгорания к электрическим с промежуточным использованием гибридных силовых установок, включающих двигатель внутреннего сгорания (например, поршневой или газотурбинный двигатель) и электрический двигатель (электромотор, генератор и аккумуляторные батареи);
- развитие концепций гибридных газотурбинных силовых установок, способных функционировать совместно с двумя, четырьмя и шестью электродвигателями;
- повышение мощности авиационных электрических двигателей с сотен до тысяч киловатт;
- разработка и создание вариантов гибридной силовой установки с использованием эффекта высокотемпературной сверхпроводимости (применение в качестве обмоток высокотемпературных сверхпроводников следующего поколения);
- поиск и применение новых технических решений при разработке сверхпроводящих электрических двигателей;
- дальнейшая разработка и создание различных конфигураций летательных аппаратов с ультракороткими взлетом и посадкой (по зарубежной классификации eVTOL aircraft);
- применение в гибридных силовых установках в качестве авиационного топлива и хладагента жидкого водорода или сжиженного природного газа вместо керосина и необходимых для этого агрегатов и узлов;
- разработка новых систем охлаждения СУ;

- создание эффективных накопителей энергии с меньшими массогабаритными характеристиками;
- существенное повышение удельной мощности источников энергии (по некоторым данным, аккумуляторные батареи как источник энергии станут коммерчески привлекательными при достижении удельной мощности не менее 600 кВт/кг, для примера: показатели современных батарей находятся в пределах 10–15 кВт/кг);
- обеспечение организации процесса зарядки основных источников энергии (аккумуляторные батареи, топливные элементы) авиационной техники военного назначения в боевых условиях (на поле боя);
- разработка, создание и внедрение электрических двигателей в составе силовой установки перспективных высокоскоростных вертолетов (так, применение электрических двигателей в составе силовой установки вертолетов позволит отказаться от механической трансмиссии, которая является их наиболее критическим узлом; кроме этого, если несущий винт будет вращаться электроприводом, появляется возможность изменять частоту его вращения, что крайне важно в области создания высокоскоростных вертолетов);
- развитие систем управления гибридных силовых установок;
- снижение массогабаритных характеристик перспективных гибридных силовых установок, повышение надежности всех систем и КПД гибридных и электрических авиационных двигателей в целом;
- снижение затрат на обслуживание и ремонт перспективных гибридных и электрических авиационных двигателей.

В заключение стоит отметить, что помимо вышеуказанного в области развития технологий электродвижения в интересах создания перспективной АТ двойного назначения в ВС США активно создаются и внедряются системы на основе достижений в области робототехники и искусственного интеллекта. Технический прогресс в этих областях также напрямую зависит от внедрения электрических СУ, а их ускоренное внедрение облегчит адаптацию возможностей умных систем в вооруженных силах. В свою очередь, темпы и масштабы развития электрических двигателей, переход от техники с ДВС и гибридными двигателями к полноценным электрическим ЛА потребуют ускоренного перестроения зарубежной авиационной промышленности в целом.

На этапах использования гибридных СУ основными источниками энергии для ЛА останутся газотурбинные двигатели, которые будут иметь больший ресурс и экономичность за счет того, что изначально могут быть выбраны оптимальные обороты двигателя, при которых он будет иметь минимальный износ и максимальную топливную эффективность. Повышенные нагрузки при взлете и маневрировании будут компенсироваться буферными аккумуляторными батареями. К примеру, в комплексе с генератором может быть установлена высокооборотная газовая турбина, которая будет работать в режиме «включена/выключена» для подзарядки буферных аккумуляторных батарей без изменения частоты вращения.

В области развития перспективной авиационной техники военного назначения электрические двигатели потенциально способны повысить качество разведывательных операций, снизить логистические нагрузки, связанные с наличием как дорогостоящих запчастей, так и авиационного топлива (по мнению зарубежных экспертов, применение гибридно-электрических силовых установок позволит в будущем уменьшить расход топлива на 70 %), существенно снизить акустическую и тепловую заметность ЛА, увеличить объем доступной электроэнергии на борту ЛА (что важно для использования перспективных электромагнитных и лазерных вооружений, средств радиоэлектронной борьбы), а в области развития перспективной АТ гражданского назначения – существенно сократить выбросы углекислого газа в атмосферу, что крайне важно в достижении поставленных мировым сообществом экологических целей до 2050 г. В частности, фактор загрязнения окружающей среды неизбежно рассматривается мировым сообществом в числе главных проблем, даже несмотря на

то, что доля выбросов авиации составляет 2–3 % от мирового уровня и при отсутствии динамики их снижения к 2050 г. не превысит 15 %. Так, в 2010 г. на саммите «Экология и авиация» представители авиационной индустрии поставили цель: к 2050 г. сократить общую эмиссию авиационного транспорта более чем вдвое. При том что к указанному сроку прогнозируется трехкратное увеличение объема авиационных перевозок, эмиссия летательного аппарата должна уменьшиться в 6 раз.

Очевидно, что в долгосрочной перспективе ведущие страны – разработчики и производители авиационной техники, добившиеся успеха в снижении выбросов, будут диктовать условия на мировом рынке авиакомпаниям других государств, включая и Российскую Федерацию. Именно поэтому ведущие корпорации и компании-производители авиационной техники и двигателей, среди которых – Boeing, Airbus, Rolls-Royce, General Electric, Safran и др., рассматривают возможность использования в составе летательных аппаратов гибридных и полностью электрических силовых установок.

Необходимо подчеркнуть, что на текущем этапе технологического развития полностью электрической силовой установкой могут быть оснащены небольшие пилотируемые самолеты (вместимостью до 6–10 человек, включая пилота; такие пилотируемые самолеты способны развивать скорость до 100–340 км/ч, иметь дальность полета не более 150 км, а время полета – до единиц часов, не более) и беспилотные ЛА тактического класса (с дальностью действия 120–150 км), обладающие малыми размерами и соответствующими массогабаритными характеристиками. Основным предназначением последних могут быть решение разведывательных задач, задач ретрансляции сигналов, обеспечение поисковых задач и т. п. Однако в долгосрочной перспективе – к 2027–2030 гг. – в США и развитых странах Евросоюза наиболее вероятно появление региональных самолетов гражданского назначения с гибридно-электрической силовой установкой и возможностью перевозки от 50 до 100 пассажиров.

В ВВС США можно выделить три этапа «электрификации» образцов авиационной техники:

– первый (текущий) этап – внедрение гибридных СУ и начало применения электрических силовых установок на легких ЛА – предполагает снижение числа используемых топливных двигателей внутреннего сгорания, снижение шумности СУ, снижение ИК-сигнатуры, повышение надежности ЛА и распределение свободной энергии среди бортовых потребителей;

– второй этап (2025–2030 гг.) – дальнейшее внедрение гибридных СУ и начало применения электрических силовых установок на ЛА оперативно-тактической глубины (с дальностью действия до 250 км);

– третий этап (после 2030 г.) – разработка и внедрение полностью электрических силовых установок на ЛА оперативно-тактической глубины, включая боевые БЛА.

Развитие и внедрение технологий электродвижения в интересах создания перспективной АТ позволит улучшить и эксплуатационный аспект зарубежных авиационных парков.

Во-первых, обеспечение менее шумного полета позволяет более эффективно вести разведку, повышает живучесть, влияет на их поражающую способность, от чего в условиях реализации концепции мультидоменного противоборства зависит общая эффективность будущих операций.

Во-вторых, увеличение числа ЛА с электрическими или гибридными СУ позволит увеличить продолжительность так называемых бесшумных часов полета. За счет растущей энергоемкости накопителей в дальнейшем будут улучшены схемы распределения мощности и расстановки приоритетов потребления энергии.

В-третьих, будет существенно уменьшена инфракрасная сигнатуря как самих ЛА, так и вспомогательных систем, т. е. вероятность обнаружения будет значительно снижена. Снизится и вероятность акустического обнаружения, что в совокупности позволит резко повысить элемент внезапности.

В ближайшей перспективе неотъемлемой частью АТ военного назначения может стать лазерное оружие, которое сможет во многом нивелировать угрозу со стороны беспилотных летательных аппаратов противника, управляемых ракет и кассетных поражающих элементов с тепловыми и оптическими головками самонаведения. Электроэнергия может потребоваться и для систем активной маскировки авиационной техники в различных диапазонах длин волн.

В США перспективы развития АТ с электрическими СУ связаны в основном с достижениями в области создания эффективных накопителей энергии с меньшими массогабаритными характеристиками и повышенной удельной мощностью. В целом разработанные к настоящему времени электрические СУ по средствам масштабирования позволят руководству ВВС США в ближней перспективе (не позднее 2023–2025 гг.) принять на вооружение первые образцы тактических беспилотных летательных аппаратов с полностью электрической СУ, а уже в среднесрочной перспективе – начать оснащать электродвигателями авиационную технику оперативно-тактической глубины. Становится очевидным, что дальнейшее развитие данного направления может создать угрозу технологической безопасности Российской Федерации, представлять значительную угрозу для вооруженных подразделений Минобороны России при использовании ее в разведывательных и диверсионных операциях.

*Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания 2022 г. № 075-01615-22-02.*

### **Список литературы**

1. MoreElectric Aircraft: Systems and Modeling. June 2018. URL: [https://www.researchgate.net/publication/325717050\\_More-Electric\\_Aircraft\\_Systems\\_and\\_Modeling](https://www.researchgate.net/publication/325717050_More-Electric_Aircraft_Systems_and_Modeling) (дата обращения: 16.02.2022).
2. United States Army White Paper Multi-Domain Battle: Combined Arms for the 21st Century. Oct 2016. URL: <http://pentagonus.ru/161013%20Army%20MDB%20White%20paper%20v53a.pdf> (дата обращения: 16.02.2022).
3. Ressler R., Ottestad B. and Smith M. Electric Propulsion: a Game Changer, Armor, 2021, No. 1. P. 49–51. URL: [http://pentagonus.ru/load/zhurnaly/armor/ar-mor\\_1\\_2021/75-1-0-2545](http://pentagonus.ru/load/zhurnaly/armor/ar-mor_1_2021/75-1-0-2545) (дата обращения: 16.02.2022).
4. Norris G. eVTOL Evolution. Aviation Week & Space Technology. P. 30–35. September 28 – October 11, 2020. URL: [https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST\\_200928%20%281%29.pdf](https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST_200928%20%281%29.pdf) (дата обращения: 16.02.2022).
5. Warwick G. Tiltwing rescuer. Aviation Week & Space Technology. P. 36–39. September 28 – October 11, 2020. URL: [https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST\\_200928%20%281%29.pdf](https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST_200928%20%281%29.pdf) (дата обращения: 16.02.2022).
6. Osborne T. Vertical Visions. Aviation Week & Space Technology. p. 40–41. September 28 – October 11, 2020. URL: [https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST\\_200928%20%281%29.pdf](https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST_200928%20%281%29.pdf) (дата обращения: 16.02.2022).
7. Dr Robertson P. Hybrid Power in Light Aircraft: Design Considerations and Experiences of First Flight. Department of Engineering, Electrical Engineering Division. URL: <https://www.aerosociety.com/media/5962/3-hybrid-power-in-light-air-craft.pdf> (дата обращения: 16.02.2022).
8. Department of Energy Announces \$55 Million in Funding for Electric Aviation Programs. December 17, 2019. URL: <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-55-million-funding-electric-aviation-programs> (дата обращения: 16.02.2022).
9. Baraniuk C. The largest electric plane ever to fly. 18th June 2020. URL: <https://www.bbc.com/future/article/20200617-the-largest-electric-plane-ever-to-fly> (дата обращения: 16.02.2022).
10. Infineon Technologies. E-Planes and Drones: Flying with Electricity. July 2021. URL: <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electrified-aircraft> (дата обращения: 16.02.2022).

11. Airbus: Electric flight. Laying the groundwork for zero-emission aviation. URL: <https://www.air-bus.com/innovation/zero-emission/electric-flight.html> (дата обращения: 16.02.2022).
12. Шлегель Дж. Проект E-Fan X: эра электрической авиации наступит быстрее, чем вы думаете. Информационно-аналитический журнал CAD/cam/cae Observer № 1 (117). 2018. URL: <http://www.cadcamcae.lv/N117/40-41.pdf> (дата обращения: 16.02.2022).
13. Bradley M.K., Droney C.K. Subsonic Ultra Green Aircraft Research Phase II: N+4 Advanced Concept Development. Boeing Research and Technology, May 2012. URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120009038/down-loads/20120009038.pdf> (дата обращения: 16.02.2022).
14. Гордин М. Полнотью электрические самолеты появятся до 2035 года. Авиапорт. 20.04.2020. URL: <https://www.aviaport.ru/digest/2020/04/20/635491.html> (дата обращения: 16.02.2022).
15. X-57 Maxwell – NASA. URL: <https://www.nasa.gov/specials/X57> (дата обращения: 16.02.2022).
16. X-57 Maxwell: новый электрический самолет от NASA. 03.04.2020. URL: <https://knowhow.pp.ua/x-57-maxwell-nasa> (дата обращения: 16.02.2022).
17. National Aeronautics and Space Administration. New aviation horizons initiative and Complementary Investments. 2016. URL: <https://www.na-sa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa-aero-10-yr-plan-508-reduced.pdf> (дата обращения: 16.02.2022).
18. IATA: Aircraft Technology Roadmap to 2050. URL: <https://www.iata.org/content-tassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology20roadmap20to20205020no20foreword.pdf> (дата обращения: 16.02.2022).

### **References**

1. MoreElectric Aircraft: Systems and Modeling. June 2018. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/325717050\\_More-Electric\\_Aircraft\\_Systems\\_and\\_Modeling](https://www.researchgate.net/publication/325717050_More-Electric_Aircraft_Systems_and_Modeling) (date of access: 16.02.2022).
2. United States Army White Paper Multi-Domain Battle: Combined Arms for the 21st Century. Oct 2016. Available at: <http://pentagonus.ru/161013%20Army%20MDB%20White%20paper%20v53a.pdf> (date of access: 16.02.2022).
3. Ressler R., Ottestad B. and Smith M. (2021) «Electric Propulsion: a Game Changer». Armor. No. 1. P. 49–51. Available at: [http://pentagonus.ru/load/zhurnaly/armor/ar-mor\\_1\\_2021/75-1-0-2545](http://pentagonus.ru/load/zhurnaly/armor/ar-mor_1_2021/75-1-0-2545) (date of access: 16.02.2022).
4. Norris. G. (2020) eVTOL Evolution Aviation Week & Space Technology. P. 30–35. September 28 – October 11, 2020. Available at: [https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST\\_200928%20%281%29.pdf](https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST_200928%20%281%29.pdf) (date of access: 16.02.2022).
5. Warwick G. (2020) Tiltwing rescuer. Aviation Week & Space Technology. P. 36–39. September 28 – October 11, 2020. Available at: [https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST\\_200928%20%281%29.pdf](https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST_200928%20%281%29.pdf) (date of access: 16.02.2022).
6. Osborne T. (2020) Vertical Visions. Aviation Week & Space Technology. P. 40–41. September 28 – October 11, 2020. Available at: [https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST\\_200928%20%281%29.pdf](https://aviationweek.com/sites/default/files/2020-09/AWST_200928%20%281%29.pdf) (date of access: 16.02.2022).
7. Dr Robertson P. Hybrid Power in Light Aircraft: Design Considerations and Experiences of First Flight. Department of Engineering, Electrical Engineering Division. Available at: <https://www.aerosociety.com/media/5962/3-hybrid-power-in-light-air-craft.pdf> (date of access: 16.02.2022).
8. Department of Energy Announces \$55 Million in Funding for Electric Aviation Programs. December 17, 2019. Available at: <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-55-million-funding-electric-aviation-programs> (date of access: 16.02.2022).
9. Baraniuk C. (2020) The largest electric plane ever to fly. 18th June 2020. Available at: <https://www.bbc.com/future/article/20200617-the-largest-electric-plane-ever-to-fly> (date of access: 16.02.2022).
10. Infineon Technologies. E-Planes and Drones: Flying with Electricity. July 2021. Available at: <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electrified-aircraft> (date of access: 16.02.2022).
11. Airbus: Electric flight. Laying the groundwork for zero-emission aviation. Available at: <https://www.air-bus.com/innovation/zero-emission/electric-flight.html> (date of access: 16.02.2022).

12. Schlegel J. (2018) *Proekt E-Fan X: era elektricheskoy aviatsii nastupit bystree, chem vy dumaete*. *Informatsionno-analiticheskiy zhurnal CAD/cam/cae Observer* [E-Fan X Project: the era of electric aviation will come faster than you think. Information and Analytical journal CAD/cam/cae Observer]. No. 1 (117). Available at: <http://www.cadcamcae.lv/N117/40-41.pdf> (date of access: 16.02.2022).
13. Bradley M.K., Droney C.K. (2012) Subsonic Ultra Green Aircraft Research Phase II: N+4 Advanced Concept Development. Boeing Research and Technology, May 2012. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120009038/down-loads/20120009038.pdf> (date of access: 16.02.2022).
14. Gordin M. (2020) *Polnost'yu elektricheskie samolety pojavyatsya do 2035 goda* [Fully electric aircraft will appear until 2035] *Aviaport* [Airport]. Available at: <https://www.aviaport.ru/digest/2020/04/20/635491.html> (date of access: 16.02.2022).
15. X-57 Maxwell – NASA. Available at: <https://www.nasa.gov/specials/X57> (date of access: 16.02.2022).
16. *X-57 Maxwell: novyy elektricheskiy samolet ot NASA. 3 aprelya 2020 god* [X-57 Maxwell: new electric aircraft from NASA]. Available at: <https://knowhow.pp.ua/x-57-maxwell-nasa> (date of access: 16.02.2022).
17. National Aeronautics and Space Administration. New aviation horizons initiative and Complementary Investments. 2016. Available at: <https://www.na-sa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa-aero-10-yr-plan-508-reduced.pdf> (date of access: 16.02.2022).
18. IATA: Aircraft Technology Roadmap to 2050. Available at: <https://www.iata.org/conten-tassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/tech-nology20roadmap20to20205020no20foreword.pdf> (date of access: 16.02.2022).