

## Обзор разработок полностью электрических самолетов

ТУЛИНОВА Е.Е., КОВАЛЕВ К.Л., ИВАНОВ Н.С., ЛАРИОНОВ А.Е.

В промышленно развитых странах активно ведутся работы по созданию принципиально новой энергетической системы самолета. Мировой опыт показывает, что наиболее перспективным является переход к концепции создания полностью электрического самолета (ПЭС). В статье рассматриваются основные достижения в этой области. Представлен обзор работ по электрификации отдельных систем для более электрических самолетов (БЭС), разработок ПЭС для малой авиации. Рассмотрены наиболее перспективные исследования по созданию беспилотных летательных аппаратов и дронов.

Ключевые слова: полностью электрический самолет, более электрические самолеты, беспилотные летательные аппараты, дроны, обзор разработок

Постоянно повышающиеся требования к самолетам следующего поколения относительно стоимости эксплуатации, экологичности, энергетической эффективности и качества технологических процессов ставит перед специалистами ряд проблем, для решения которых необходимо разработать принципиально новые подходы к построению энергетической системы самолета [1].

В настоящее время на самолетах используются три вторичные энергетические системы: электропитания, гидравлическая и пневматическая [2]. Такое построение бортовой системы энергоснабжения не является оптимальным для перспективных летательных аппаратов (ЛА), поскольку требует существенных затрат на их эксплуатацию и значительно затрудняет интеграцию бортового оборудования.

Одним из наиболее перспективных направлений является переход к концепции создания самолета с полностью электрифицированным оборудованием – ПЭС (рис. 1).

По некоторым оценкам реализация концепции ПЭС применительно к тяжелому транспортному самолету позволит снизить потребление топлива на 8–12%, полную взлетную массу на 6–10%, прямые эксплуатационные расходы на 5–10%, стоимость жизненного цикла на 3–5%, при этом средний налет на отказ увеличивается на 5–6%, время технического обслуживания на 4–4,5%.

Наиболее перспективными для ПЭС являются: система электропитания переменного тока переменной частоты (в диапазоне 360–800 Гц) и система электропитания постоянного тока повышенного напряжения ( $U = 270$  В) [1]. Предлагается на



Рис. 1. Концепция ПЭС

«полностью электрическом самолете» поднять уровни напряжения переменного тока в 2 раза, а постоянного – в 10 раз по отношению к общепринятым в настоящее время. Рассматривается вопрос о еще большем повышении уровня напряжения постоянного тока – до 540 В.

Ключевым моментом в реализации концепции «полностью электрического самолета» является создание электромеханических приводов систем управления полетом и системы кондиционирования воздуха (СКВ).

В конце прошлого века рассматривалась концепция создания «более электрифицированного самолета» More Electric Aircraft (MEA). В исследованиях принимали участие более 40 организаций Евросоюза с общим бюджетом 400 млн евро на 4 года. Согласно данной концепции повышение уровня электрификации самолета должно проводиться поэтапно.

С 2002 по 2006 гг. выполнялся Европейский проект POA (Power Optimized Aircraft – самолет, оптимизированный по мощности) с бюджетом приблизительно 100 млн евро. Проект включал следующие направления исследований: система кондиционирования воздуха; противообледенительная система крыла самолета; система управления полетом; новая архитектура системы электропитания самолета; электрифицированный авиадвигатель.

За проектом POA последовал проект МОЕТ (More Open Electrical Technologies – более открытые электрические технологии). Результатами явились разработки самолетов с повышенным уровнем электрификации: пассажирские самолеты A-380 и Boeing 787, многоцелевой истребитель F-35, БПЛА «Барракуда» и др., на которых реализованы многие положения концепции ПЭС.

После долгого перерыва возобновились исследования по проблеме полностью электрического самолета и в нашей стране.

Инициативные работы по электрификации систем управления самолетов проводились в ЦАГИ, ОКБ «Родина», ОАО «ПМЗ «Восход», ОАО «Электропривод», Московском авиационном институте [1]. В частности, в ЦАГИ и ОКБ «Родина» был создан и испытан демонстрационный образец автономного рулевого привода объемного регулирования. В ЦАГИ были разработаны принципы построения групп электрогидростатических приводов с комбинированным объемно-дрессельным регулированием.

В 2004–2008 гг. в ЦИАМ проведены теоретические и экспериментальные исследования, направленные на создание газотурбинного двигателя (ГТД) для «электрического» самолёта, в СНТК им.

Н.Д. Кузнецова разрабатывается трёхвалный «электрический» ГТД, в ОАО «Авиадвигатель» проведена проработка конструкции электрифицированного ТРДД (турбореактивный двигатель двухконтурный) [1].

Исследования по разработке отдельных систем и агрегатов электроэнергетического комплекса ПЭС проводятся в ФГУП «НИИАО», «Технодинамика», ОАО «Аэроэлектромаш», ОАО «Электропривод», ОАО «ПКО Теплообменник» и др.

**Электрификация отдельных систем самолета.** На зарубежных самолетах с повышенным уровнем электрификации уже используются генераторы, мощность которых превышает 200 кВА. Так, на самолете Boeing 787 установлены 4 основных генератора переменного тока мощностью 250 кВА каждый, приводящиеся во вращение от авиационных двигателей, и два генератора мощностью 225 кВА, установленные на ВСУ. Общая установленная мощность источников электрической энергии на этом самолете составляет 1450 кВА [3].

На аэробусе A-380 мощность одного источника электрической энергии составляет 150 кВА, а суммарная мощность СЭС достигает 840 кВА [3]. Электрогидростатические приводы используются в качестве резервных для отклонения внутренних и внешних секций руля высоты, средних и корневых элеронов (флаперонов). Это позволило отказаться от третьей центральной гидросистемы, что обеспечило уменьшение массы самолета на 450 кг.

На самолете F-35 в системе управления полетом используются только электрогидростатические рулевые приводы, получающие питание от источников электрической энергии, за счет чего полностью исключена центральная гидросистема самолета. Это позволило уменьшить массу системы управления на 300 кг [3].

Разработка самолета F-35 (одна из модификаций которого F-35C предназначена для палубной авиации) ведется с 2003 г. в рамках программы JSF (Joint Strike Fighter), головным разработчиком которой назначена фирма «Локхид-Мартин».



Рис. 2. Проект пассажирского самолета MC-21

В нашей стране на перспективном магистральном самолете МС-21 (НПК «Иркут», ЗАО «Авиастар-СП» и ЗАО «Аэрокомпозит-Ульяновск») также предполагается значительная электрификация систем бортового оборудования и, как следствие, установка мощных источников электроэнергии (рис. 2) [3]. В зависимости от модификации самолет будет вмещать от 150 до 230 пассажиров, а дальность полета может достигать 5500 км.

Концерн «Радиоэлектронные технологии» (КРЭТ) завершил научно-исследовательские работы по созданию электроэнергетического комплекса ПЭС, которые проводились в рамках общей НИР по повышению электрификации самолётов [4]. Комплекс обеспечивает все энергетические потребности и является ключевым для инновационного воздушного судна. Разработчиками определены оптимальные параметры источников электроэнергии и сформированы технические задания по выбору типа и параметров системы электроснабжения ПЭС применительно к среднемагистральному самолёту.

Разработана комплексная госпрограмма по созданию ПЭС для повышения конкурентоспособности перспективной отечественной авиационной техники с учетом запуска программ «Самолет 2020», второй генерации самолётов SSJ-100, МС-21 и др.

Еще одним интересным проектом ПЭС является самолет EADS' VoltAir (EADS и Siemens) (рис. 3)

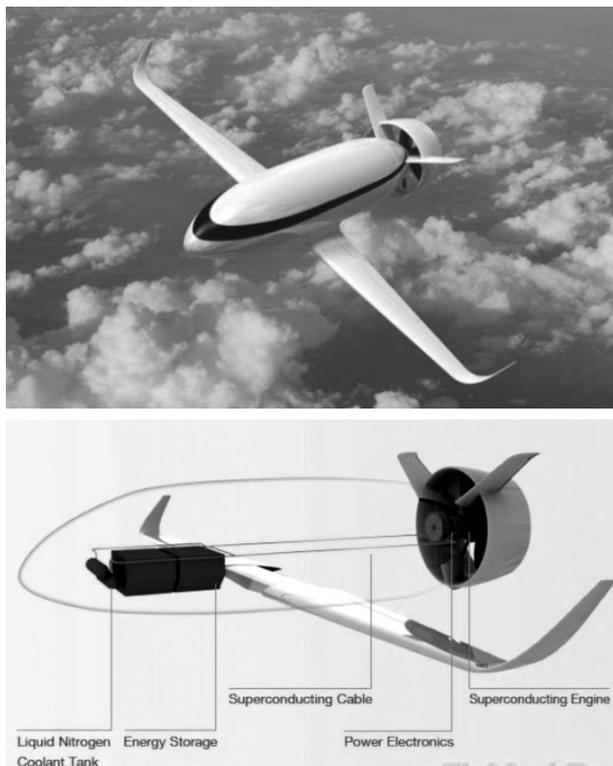


Рис. 3. Электрический самолет VoltAir

[5]. Этот инновационный футуристический самолет будет подниматься в воздух благодаря двум чрезвычайно эффективным электрическим сверхпроводящим двигателям, которые будут получать питание от двух модифицированных литиевых батарей. В задней части EADS' VoltAir располагаются два пропеллера, которые будут вращаться в противоположных направлениях. В качестве материала для корпуса самолета предполагается использовать углеродное волокно, благодаря чему EADS' VoltAir будет достаточно легким. Основными преимуществами, которые будут выгодно отличать его от обычных самолетов, являются мощная аэродинамика, композитный дизайн и, конечно же, малая масса. Батареи электросамолета будут перезаряжаемыми, а время, необходимое для их зарядки, будет соответствовать стандартному времени дозаправки. Несмотря на эти положительные качества EADS' VoltAir пока находится на этапе разработки, однако с успешным продвижением исследований в области высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) компания надеется решить многие проблемы. Так, планируется заменить традиционные катушки из медных или алюминиевых проводов проводами из ВТСП — потери электроэнергии будут сведены практически к нулю.

**Малая авиация.** Пока мировые самолетостроительные гиганты разрабатывают проекты полностью электрифицированного самолета, другие компании задумываются над тем, как сделать ПЭС небольшими по размеру и доступными буквально каждому.

Электросамолет E-Fan (рис. 4), разработанный инженерами Airbus совместно со специалистами компании Aero Composites Saintonge (ACS), а также Главного управления гражданской авиации Франции (DGAC), имеет длину 6,7 м при размахе крыльев 9,5 м [6]. Максимальная взлетная масса не должна превышать 550 кг. Максимальная скорость электросамолета составляет 220 км/ч. В 2014 г. совершен первый демонстрационный полет [7].

Airbus E-FAN имеет два электрических пропеллера, изготовленных по технологии E-Thrust, суммарной мощностью в 60 кВт, которые получают энергию от батареи, состоящей из 120 литий-полимерных аккумуляторов, емкостью 40 ампер-часов каждая. При полном заряде батарей самолет E-Fan может находиться в воздухе около часа при оптимальной скорости 160–180 км/ч [7]. В настоящее время инженеры работают над увеличением скорости полета и времени работы самолета от аккумуляторных батарей. Согласно имеющейся информации часовой полет E-FAN обходится в сумму около 16 долл., в то время как полет самолета сопоста-



Рис. 4. Airbus E-FAN

вимых габаритов с обычным бензиновым двигателем обходится примерно 55 долл.

Компания Airbus планирует создание четырехместного варианта Airbus E-FAN 4,0 с применением гибридной силовой установки; самолет можно будет использовать в учебных целях и в качестве летательного аппарата малого класса общего назначения.

В 2012 г. самолет Long-ESA компании Flight of the Century во время первого испытательного полета сумел развить рекордную скорость в 326 км/ч. Самолет приводит в движение один мотор мощностью 238 л.с. Первый полет продолжался около 16 мин. В



Рис. 5. Yuneec E430

сообщении компании говорится, что в ближайшее время воздушное судно будет снабжено новым набором батарей, который позволит увеличить длительность полета и максимальную скорость [8].

Одноместный сверхлегкий самолет-амфибия FlyNano, разработанный и изготовленный одноименной финской компанией, в 2012 г. совершил свой первый испытательный полет. Масса самолета составляет всего 70 кг за счет максимально облегченной конструкции корпуса, сделанного целиком из углеродного композитного волокна. При указанной массе FlyNano может поднимать в воздух до 200 кг [9], пролететь до 40 км, минимальная скорость полета – 70, максимальная – 200 км/ч. Инженеры компании считают оптимальной скорость 140 км/ч, при которой задействовано 75 процентов мощности двигателя, при этом потолок полетов на FlyNano составляет 3 км.

Двухместный китайский электросамолет Yuneec E430 (рис. 5) представлен публике в 2009 г. компанией Yuneec International. Электромотор мощностью 40 кВт позволяет развить крейсерскую скорость в 90 км/ч, максимальная же составляет 150 км/ч [10]. На одном заряде аккумуляторной батареи (АКБ) Yuneec E430 может быть в воздухе от 1,5–2 ч (для батареи стандартной емкости) до 2–2,5 ч. (для более емкой), реально же полет на одном заряде составляет на полчаса больше (не учитывается стандартный запас длительности полета на случай непредвиденных ситуаций).

Батарея состоит из отдельных блоков литий-ионных аккумуляторов с полимерным электролитом массой по 13 кг, напряжением 66,6 В, емкостью 30 Ач. На электросамолете устанавливается от шести до десяти таких блоков. Зарядка занимает около 3 ч. Имеется версия электросамолета с солнечными батареями на крыльях для подзарядки. Размах крыла Yuneec E430 составляет 13,8 м, длина самолета 6,98 м. С батареей стандартной емкости масса пустого самолета 250 кг, максимальная взлетная масса 470 кг. Стоимость электросамолета заявлена на уровне 90 тыс. долл. США, одного аккумуляторного блока – около 3500 долл.



Рис. 6. eSpyder

Одноместный электрический ультралайт eSpyder (рис. 6) компании Yuneec International с электромотором мощностью 32 л.с. питается от батарей, позволяющих находиться в воздухе до 1 ч (с запасом заряда 30 мин) [11]. В феврале 2013 г. самолет сертифицирован в Германии и доступен для покупки европейскими частными пилотами.

Малогобаритный электросамолет Elektra One компании PC-Aero был продемонстрирован в 2011 г. при первом официальном полёте. Разработчиком экологичного одноместника Elektra One (рис. 7) стал Калин Гологан [12]. Размах крыльев самолета составляет 8,6 м, а полезная площадь каждого равна 6,4 м<sup>2</sup>.

Полет продолжался 30 мин. За это время экологический электросамолет израсходовал половину энергии от заявленных 6 кВтч при скорости 2 м/с, поднявшись в небо более чем на полкилометра.

Разработчики компании PC-Aero работают над созданием двухместных и четырехместных электросамолетов. В скором времени Elektra One получит новый винт переменного шага и выдвигающееся шасси, что улучшит характеристики полета.



Рис. 7. Elektra One

Бесщеточный электродвигатель Elektra One максимальной мощности 16 кВт позволяет развивать крейсерскую скорость 160 км/ч. Высокоэффективный аккумулятор обеспечивает длительность полета почти 4 ч и дальность более 400 км. Максимальная взлетная масса Elektra One равна 300 кг, из которых 100 кг отводится под аккумулятор и еще 100 кг под полезный груз. Электродвигатель в комбинации с низкооборотистым пропеллером (менее 1500 об/мин) обеспечивает низкий уровень шума (менее 50 дБ). Электросамолет обойдется покупателю менее чем в 100000 евро, т.е. стоимость часа полета равна 35 евро.

В 2012 г. появился самолет New Elektra One (рис. 8), работающий от солнечных батарей и прошедший удачные испытания [13]. Он может совершать полеты длительностью 8 ч и дальностью около 1000 км. Достигается этот показатель как за счет заряженного аккумулятора, так и за счет солнечных батарей, установленных на корпусе и крыльях электрического самолета. Масса New Elektra One составляет всего лишь около 180 кг. Он сделан из композитных углеродных материалов и имеет больший размах крыла, чем предшественник. Стоимость New Elektra One, если поступит в серийное производство, составит примерно 150 тыс. долл.

В 2011 г. словенской компанией Pipistrel был представлен самый мощный в то время в мире «электрический» самолет, который получил название Taurus G4 (рис. 9). Он также является первым по числу пассажиров, на его борту могут разместиться четыре человека. Проект самолета разрабатывался в течение двух лет, в то время как его строительство заняло только 4 мес. [14].

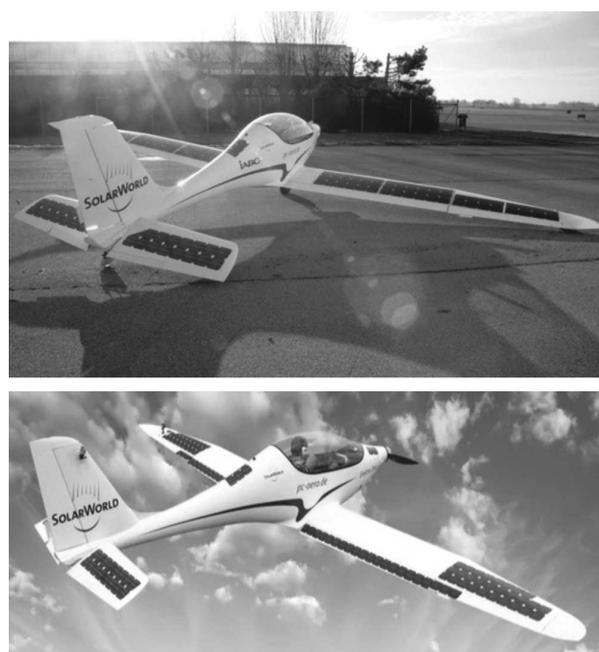


Рис. 8. New Elektra One

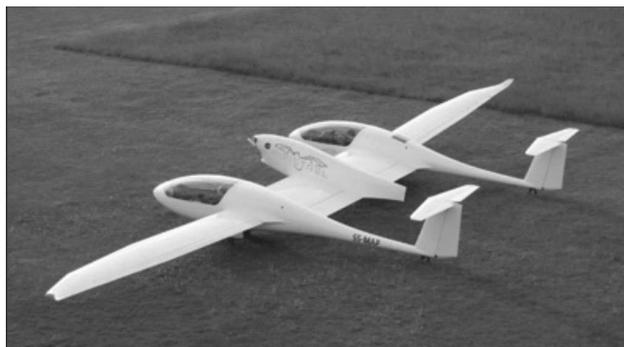


Рис. 9. Taurus G4

Taurus G4 представляет собой два фюзеляжа самолетов Taurus G2, соединенные гондолой бесколлекторного электродвигателя мощностью 145 кВт, размах крыльев – 21,36 м. Для изготовления корпуса самолета использовалось легкое углеродное волокно и кевлар. Масса самолета без пассажиров 1056,6 кг, причем на электрические аккумуляторы приходится практически половина массы (466 кг). По словам разработчиков, Taurus G4 способен поднять в воздух груз, масса которого приблизительно 430 кг.

«Электрический» самолет Taurus G4 – это прототип, который никогда не будет запущен в серийное производство. Компания планирует использовать его для разработки более мощных аккумулятора и электрического двигателя, а также для усовершенствования системы управления питанием электрических и гибридных версий самолета Panthera.

Экспериментальный самолет Solar Impulse (рис. 10) швейцарского производства, совершивший свой первый полет над территорией США в 2013 г., работает исключительно на солнечной энергии и является первым самолетом такого типа, который может совершать перелеты как днем, так и ночью без использования условного топлива. Это одноместный самолет, который питается от 12000 кремниевых солнечных элементов и имеет размах крыла 72 м [15]. Верхняя поверхность крыльев сделана из солнечных панелей, нижняя – из ультралегкой ткани. Лонжерон крыла выполнен полностью из сэндвич-панелей с применением углеродного волокна.



Рис. 10. Solar Impuls

Двигатели собственного производства Solar Impulse 2 развивают мощность от 15 до 70 л.с. Четыре двигателя по 17,4 л.с. расположены под крыльями, предельная частота вращения 525 об/мин, диаметр пропеллера 4 м, у каждого пропеллера две лопасти. Эффективность системы 94 %. При выходе из строя одного из двигателей в конструкции предусмотрена возможность передачи заряда его аккумуляторов гондолы другому двигателю. Четыре бесколлекторных электрических мотора (по два на каждом крыле) расположены на расстоянии 4,95 м друг от друга [16]. Общая стоимость проекта около 115 млн евро.

В 2009 г. испытательный полет совершил самолет Antares DLR-H2 производства Немецкого центра авиации и космонавтики (DLR) и фирм Lange Aviation, BASF Fuel Cells, Serenergy. Самолет получает всю необходимую для полета энергию от водородных топливных элементов [17].

Топливные элементы, используемые для снабжения энергией самолета Antares DLR-H2, могут выдавать пиковую нагрузку до 25 кВт. В режиме обычного полета (в спокойных метеорологических условиях) силовая установка самолета потребляет 52% пикового значения – примерно 10 кВт мощности. Эффективность машины на топливных элементах, по данным DLR, значительно выше, чем реактивных самолетов с двигателем внутреннего сгорания. При сгорании керосина на тяговое усилие, обеспечивающее движение, приходится не более 25% энергии, в случае Antares DLR-H2 КПД достигает 44%.

Длина экспериментального самолета составляет 7,40 м, размах крыльев 20 м, дальность полета с заправленными водородом баками составляет 750 км, максимальная высота превышает 4000 м.

Силовая установка, включающая бак с водородом и топливные элементы, расположена в грузовых консолях, подвешенных под крыльями (рис. 11), поэтому их пришлось изготавливать из более прочного материала, чем предполагалось изначально.



Рис. 11. Баки с водородом

Компания Joby Aviation (США) занимается разработкой летательного аппарата, который представляет собой некий гибрид самолета и вертолета (рис. 12). Предполагается, что работающий от литий-полимерных аккумуляторов летательный аппарат под названием S2 сможет совершать вертикальный взлет, поэтому не будет нуждаться во взлетно-посадочной полосе. Гибрид самолета и вертолета будет иметь 12 винтов, которые смогут подниматься и опускаться в зависимости от режима полета машины [19].

Компанией проведено компьютерное моделирование модели массой 770 кг, а также изготовлен натурный макет массой 4,5 кг. По словам представителей Joby Aviation, их разработка будет в 3–5 раз безопаснее и эффективнее уже существующих самолетов малого класса, а летательный аппарат сможет преодолеть путь от Нью-Йорка до Бостона (322 км) за один час полета. При этом за время этого часового путешествия аппарат израсходует 50 кВт электроэнергии.

Чуть ранее NASA приступило к испытаниям своего нового продукта – электрического крыла «Leading Edge Asynchronous Propeller Technology» (LEAPTech). Этот аппарат разработан компаниями ESAero и Joby Aviation и значительно отличается от традиционных самолётных крыльев, так как снабжён 18-ю миниатюрными электродвигателями (рис. 13) [20].

Для питания двигателей используются батареи на основе литий-железного фосфата, каждым двигателем можно управлять независимо, что позволяет бортинженерам оптимизировать их скорость для достижения максимальной производительности.



Рис. 12. Разработка компании Joby Aviation



Рис. 13. Испытания электрического крыла

На этапе испытаний крылья устанавливаются на грузовике, который разгоняется до 112 км/ч. Планируется, что крейсерская скорость самолета составит 320 км/ч. На предварительных тестах установленные на крыльях двигатели развивали скорость до 64 км/ч [21].

**Беспилотные летательные аппараты (БПЛА).** Ученые из Университета Айдахо (США) разработали БПЛА «AVIATR» для изучения спутника Сатурна – Титана. Работая на радиоактивном источнике энергии, который разрабатывает NASA, AVIATR (рис. 14) массой 116 кг сможет летать в атмосфере Титана в течение года [22]. Проект обойдется правительству США примерно в 715 млн долл.

Компания «Aurora Flight Sciences» начала разработку проекта «SolarEagle» (рис. 15). В него входит изготовление компонентов БПЛА на солнечной энергии для компании «Boeing».

Куратором проекта «SolarEagle» (часть программы «Vulture II») является Министерство обороны США. По словам разработчиков, «SolarEagle» будет самым большим в мире самолётом и согласно проекту способен осуществлять беспосадочный полёт в течение 5 лет. В дальнейшем планируется увеличить этот показатель вдвое.

Размах крыльев БПЛА составит примерно 122 м, а масса аппарата 1270 кг при грузоподъёмности 450 кг; двигатель способен развивать скорость до 115 км/ч.



Рис. 14. AVIATR



Рис. 15. SolarEagle

В 2012 г. свой первый испытательный полёт совершил российский БПЛА «Иркут-200» (рис. 16). Его масса 200 кг, полезная нагрузка не превышает 50 кг, он может вести патрулирование на расстоянии 200 км от центра управления. Максимальная скорость 210 км/ч, крейсерская доходит до 140 км/ч, рабочая высота полёта в автоматическом режиме – примерно 500 м, обслуживанием занимается команда из 4–5 чел.

Взлетать и приземляться робот может без применения специализированных аэродромных средств обеспечения с необорудованных площадок или участков дорог длиной 250 м.

Компания Lockheed Martin разработала новый БПЛА X-56A. Его основной задачей является проведение разведывательных операций на больших высотах. Использовались два тяговых турбинных



Рис. 16. Иркутск-200



Рис. 17. Гриф-1

двигателя JetCat P200-SX массой по 25 кг, расположенные с задней части фюзеляжа, предусмотрена установка дополнительного двигателя. Длина X-56A – 2,3 м при массе 217,7 кг; беспилотный робот выполнен по схеме «летающего крыла» шириной 8,5 м.

В 2012 г. белорусские инженеры провели первые успешные испытания беспилотного летательного аппарата среднего класса «Гриф-1» (рис. 17). Беспилотник, способный нести полезную нагрузку свыше 30 кг, предназначен для выполнения различных тактических задач. Оперативно-тактический БПЛА, способный летать днем и ночью в различных климатических условиях, совершал полет на высоте 50–70 м. Стартовая масса беспилотника 120 кг при массе целевой нагрузки 25 кг. Максимальная скорость полета – до 200 км/ч, длина – 3,5 м, размах крыла – 4,8 м, максимальная продолжительность полета – 8 ч [22].

**Дроны.** В последнее время широкую популярность обретают дроны. Использовать эти небольшие и функциональные беспилотники можно не только для навигационных и тактических боевых задач. Они могут, например, доставлять разные виды товаров на большие расстояния, особенно в местности, где нет дорог либо они загружены. Небольшие дроны помогают создавать трёхмерные модели ландшафтов за несколько дней, в то время как без их применения на это уходят месяцы и годы. Беспилотники применяются для охраны границы важных культурных объектов, а также для сбора данных, которые впоследствии могут помочь в восстановлении повреждённых объектов [23].

Одна из немецких телекоммуникационных компаний при помощи беспилотников обрабатывает кабели жидкостью, содержащей искусственную ДНК, после чего продать краденые кабели невозможно. Дроны при этом выполняют важную роль, удешевляя процесс обработки кабелей.

Иранская исследовательская лаборатория создала беспилотники, помогающие спасать утопающих.

Разработанный в тегеранской лаборатории RTS Lab мультикоптер Pars предназначен для сброса спасательных кругов людям, которые оказались в беде. Функционирующий прототип недавно прошел испытания [23]. В конфигурацию квадрокоптера Pars входит огромное число датчиков, включая акселерометры, гироскопы, приемник спутниковой навигации GPS, барометр и электронный компас.

В Австралии в 2014 г. стартовал проект Wool From New Heights, по которому беспилотники будут внедряться в фермерские хозяйства. Дроны, оборудованные камерами, будут использоваться для слежки за овцами во время их выпаса. В Австралии уже применяются квадрокоптеры для опрыскивания растений, чтобы защитить их от грибковых инфекций, причем распылять пестициды можно выборочно, минимизируя ущерб для окружающей среды и экономя затраты. Используя инфракрасные камеры, беспилотники могут также обнаружить больные растения, так как здоровые организмы отражают больше инфракрасного излучения, чем подверженные инфекции [23].

Американские учёные разрабатывают специальные крошечные дроны для солдат армии США. Благодаря этим устройствам можно разведывать расположения противника с безопасного расстояния, при этом отпадает необходимость возить с собой тяжёлое крупногабаритное оборудование. Над проектом трудятся специалисты военного исследовательского центра NSRDEC в штате Массачусетс. Карманные дроны были разработаны в рамках специальной программы, основная цель которой — максимальное уменьшение размеров приборов для наружного наблюдения и военной разведки [24].

Первая модель карманного дрона получила кодовое название «чёрный шершень» (PD-100 Black Hornet), он весит около 16 г, легко помещаясь на ладони (рис. 18). Этот крошечный вертолёт способен лететь в течение 20 мин и при этом транслировать видео одновременно с трёх камер, которыми оснащён. Дрон снабжён также GPS-датчиком, благодаря которому его точное место расположения посто-



Рис. 18. Карманный дрон PD-100 Black Hornet для армии США



Рис. 19. Дрон-камера MeCam

янно отображается на карте. Почти бесшумные моторы и пропеллер делают дрон практически беззвучным и к тому же невидимым для противника.

Компания Always Innovating представила новую компактную летающую камеру MeCam (рис. 19). Это очень компактный дрон (или нановертолёт, как его называют создатели), который легко помещается на ладони и обладает возможностью видеозаписи. Устройство работает на базе процессора Cortex-A9 с частотой 1,5 ГГц и имеет 1 Гб оперативной памяти, цена дрона — около 49 долл.

Компания Secom разработала электрический летающий дрон, напичканный камерами, который станет идеальным сторожем. Благодаря лазерному сенсору аппарат может отслеживать движущиеся объекты, оставаясь при этом незамеченным. Стоимость аренды составляет 58 долл. в месяц.

Компания «НЕЛК» (Россия) разработала беспилотный переносной комплекс «Бумеранг» — мало-



Рис. 20. Бумеранг

габаритный летательный аппарат с вертикальным взлетом и посадкой (рис. 20) [25].

Шестивинтовой «Бумеранг» — это устройство, предназначенное для ведения воздушной разведки и способное вести фото-, видео-, а также тепловизионную разведку местности с высоты 500 м. За минимальное время «Бумеранг» способен тщательно исследовать местность площадью в 1 кв. км.

Индийской компанией Idea Forge создан БПЛА Netra Netra с вертикальным взлетом и посадкой. Масса такого робота 1,5 кг, он может нести груз до 300 г. Время работы батареи — около 30 мин, беспилотник может перемещаться в радиусе 1,5 км. При разрыве связи или разряде батареи аппарат сможет сам вернуться на базу. Цена робота — предположительно 45 тыс. долл. США.

H-King Darkwing — довольно большой дрон: размах крыльев 1727 мм, длина фюзеляжа — 762 мм, масса 1,4 кг. У него прочный корпус (фюзеляж — из стеклопластика, крылья для большей износостойкости — из бальзы — род деревьев). Крылья съемные — это облегчает транспортировку. Аккумулятора емкостью до 5000 мАч хватает на несколько часов полета (точных цифр производитель не указывает). Управление Darkwing осуществляется от двух сервоприводов. Шасси у самолета нет, запускать его нужно с помощью специальной поставленной в комплекте катапульты. Управлять дроном можно и от пульта дистанционного управления, а отслеживать местоположение — не только с земли, но и с помощью встроенной в устройство видеокamеры. Стоимость в США — 167 долл. [26].

У дрона Parrot AR Drone 2,0 (рис. 21) легкий и прочный корпус из пенополистирола, управление — с помощью смартфона. Связь между устройствами осуществляется через Wi-Fi. На борту дрона есть камера, передающая видеопоток на мобильный гаджет, угол обзора камеры 92°.

Каждый из четырех винтов мощностью 14,5 Вт вращается со скоростью до 28500 об/мин. Максимальная скорость полета дрона 18 км/ч. Главные особенности Parrot — отличная управляемость и маневренность. Базовая версия дрона обойдется в



Рис. 21. Parrot AR Drone 2,0

250 долл., а со встроенным GPS-модулем — в 350 долл. США.

Высокотехнологичный дрон DJI Phantom может использоваться для фото- и видеосъемки. У него неплохие показатели устойчивости в воздухе. Он оснащен GPS-модулем, который, как уверяет производитель, в два раза точнее лучших образцов, устанавливаемых на автомобили. В воздухе на одном заряде аккумулятора DJI Phantom может продержаться до 15 мин. Стоимость — 476 долл.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин А.В., Мусин С.М., Харитонов С.А., Ковалев К.Л., Герасин А.А., Халютин С.П. Электрический самолет: концепция и технологии. — Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2014, 388 с.
2. [www.aex.ru](http://www.aex.ru)
3. Воронович С., Каргопольцев В., Кутахов В. Полностью электрический самолет. — Авианорама, 2009, № 2, с. 14 — 17.
4. <http://bloknot.ru/naukarossiiskij-konsern-sozdal-pitanie-dlya-polnost-yu-e-elektricheskogo0samoleta-131865.html>
5. <http://www.tipon.ru/index.php/outdoor/job/17384-futuristi-cheski-elektrosamolet-voltar>
6. <http://naked-science.ru/article/tech/e-fan-electric-plane-makes-first-public-flight>
7. <http://www.dailytechinfo.org/space/5859-polnostyuelektricheskij-samolet-airbus-e-fan-vpervye-podnim5859-po-v-vozduh.html>
8. <http://www.dailytechinfo.org/space/3827-samolet-long-esastanovitsya-samym-bystrym-v-mire-elektricheskim-samiletom.html>
9. <http://www.dailytechinfo.org/space/3715-sverhhrskiy-letatelnyy-apparat-flynsno-sovershaet-pervyy-ispytatelnyy-polet.html>
10. <http://board.sintezgaz.org.ua/electrosamolet-yuneec-e430.html>
11. <http://skyforfree.ru/manufaktureryuneec-international>
12. <http://ecofriendly.ru/chistoe-nebo-s-electrosamoletom-electra-one>
13. <http://www.novate.ru/blogs/130412/20516/>
14. <http://biznes-week.ru565-aurus-d4-samyy-mischnyy-v-mire-elektricheskij-samolet.html>
15. <http://photo-day.ru/pervyj-polet-samoleta-solar-impulse/>
16. <http://geektimes.ru/post/241380/>
17. <http://www.dailytechinfo.org/space/365-antares-dir-h2-pervyj-samolet-na-vodorodnyx.html>
18. <http://roboting.ru/1568-koe-cto-iz-zhizni-bes-pilotnikov.html>
19. <http://zele.ru/novosti/avia-i-oruzhie/jobys2-9388/>
20. <http://topwar.ru/1521-nasa-ispytyvaet-neobychnoe-electrokylo-s-18-yu-dvigatelami.html>
21. <http://ria.ru.science/20150322/1053862941.html#ixzz3fDkleouT>
22. <http://roboting.ru/1590-belorusskij-bes-pilotnik-grif-1-podnyalsya-v-vozduh.html>
23. <http://www.lookatme.rumag/live/inspiration-list/198637-drones>
24. <http://hi-news.ru/technology/amerikanskie-voennye-razrabatyvayut-karmannyx-dronov-dlya-videoslezhki.html>
25. <http://roboting.ru/1532-robot-bes-pilotnik-bumerang-elektro-nye-glaza-specnaza.html>
26. [http://ibusiness.ru/blog/tyekhnologii\\_dlya\\_zhizni/33117](http://ibusiness.ru/blog/tyekhnologii_dlya_zhizni/33117)

*Авторы: Тулинова Екатерина Евгеньевна окончила МАИ в 2011 г. Аспирант, младший научный сотрудник кафедры «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» МАИ.*

*Ковалев Константин Львович окончил в 1993 г. Московский инженерно-физический институт (МИФИ). В 2005 г. защитил докторскую диссертацию по сверхпроводниковым электрическим машинам. Заведующий кафедрой «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» Московского авиационного института (МАИ).*

*Иванов Николай Сергеевич окончил МАИ в 2011 г. В 2014 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Электромеханика и электрические аппараты». Доцент, младший научный сотрудник кафедры «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» МАИ.*

*Ларионов Анатолий Евгеньевич окончил МАИ в 1974 г. В 1995 г. защитил кандидатскую диссертацию по криогенным магнитным системам. Доцент, старший научный сотрудник кафедры «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» МАИ.*

*Elektrichestvo (Electricity), 2016, No. 4, pp. 15–25.*

## A Review of Developments of Fully Electrical Aircrafts

**TULINOVA Ekaterina Evgen'yevna** (Moscow Aviation Institute (MAI), Moscow, Russia) – Junior Scientific Researcher, Ph.D. Student

**KOVALEV Konstantin L'vovich** (MAI, Moscow, Russia) – Head of the Department, Dr. Sci. (Eng.)

**IVANOV Nikolai Sergeyeovich** (MAI, Moscow, Russia) – Associate Professor, Junior Scientific Researcher, Cand. Sci. (Eng.)

**LARIONOV Anatolii Evgen'yevich** (MAI, Moscow, Russia) – Associate Professor, Senior Scientific Researcher, Cand. Sci. (Eng.)

*Active efforts are being taken in industrially advanced countries on developing a fundamentally new aircraft power supply system. Experience gained around the world shows that shifting to the concept of constructing a fully electrical aircraft (FEA) holds the most promise. The article considers the main achievements in this field. A review of works on electrifying individual systems for so-called more electrified aircrafts (MEA) and developments of FEAs for small-scale aviation is presented. The most promising investigations on constructing pilotless flying vehicles and drones are considered.*

*Key words: fully electrical aircraft, more electrified aircrafts, pilotless flying vehicles, drones, review of developments*

### REFERENCES

1. Levin A.V., Musin S.M., Kharitonov S.A., Kovalev K.L., Gerasimov A.A., Khalyutin S.P. *Elektricheskii samolet: kontseptsiya i tekhnologii* (Electrical aircraft: concepts and technologies). Ufa, Publ. Ufa State Aviation Technical University, 2014, 388 p.
2. www.aex.ru
3. Voronovich S., Kargopol'tsev V., Kutakhov V. *Aviapanorama – in Russ. (Aviapanorama)*, 2009, No. 2, pp. 14 – 17.
4. <http://bloknot.ru/naukarossijskij-konsern-sozdat-pitanie-dlya-polnost-yu-e-elektricheskogo-samoleta-131865.html>
5. <http://www.tipon.ru/index.php/outdoor/job/17384-futuristi-cheski-elektrosamolet-voltar>
6. <http://naked-science.ru/article/tech/e-fan-electric-plane-makes-first-public-flight>
7. <http://www.dailytechinfo.org/space/5859-polnostyuelectri-cheskiy-samolet-airbus-e-fan-vpervye-podnim5859-pov-vozduh.html>
8. <http://www.dailytechinfo.org/space/3827-samolet-long-esastanovitsya-samym-bystryim-v-mire-electricheskim-samiletom.html>
9. <http://www.dailytechinfo.org/space/3715-sverhhrkiy-letatelnyy-apparat-flynsno-sovershaet-pervyy-ispytatelnyy-polet.html>  
ecofriendly.ru
10. <http://board.sintezgaz.org.ua/electrosamolet-yunec-e430.html>
11. <http://skyforfree.ru/manufakturer/yunec-international>
12. <http://ecofriendly.ru/chistoe-nebo-s-electrosamoletom-electra-one>
13. <http://www.novate.ru/blogs/130412/20516/>
14. <http://biznes-week.ru565-taurus-d4-samy-mischny-v-mire-electricheskij-samolet.html>
15. <http://photo-day.ru/pervyj-polet-samoleta-solar-impulse/>
16. <http://geektimes.ru/post/241380/>
17. <http://www.dailytechinfo.org/space/365-antares-dir-h2-pervyj-samolet-na-vodorodnyx.html>
18. <http://roboting.ru/1568-koe-cto-iz-zhizni-besplotnikov.html>
19. <http://zele.ru/novosti/avia-i-oruzhie/job-s2-9388/>
20. <http://topwar.ru/1521-nasa-ispytyvaet-neobychnoe-electro-krylo-s-18-yu-dvigatelami.html>
21. <http://ria.ru/science/20150322/1053862941.html#ixzz3fDkleouT>
22. <http://roboting.ru/1590-beloruskiy-besplotnik-grif-1-podnyal-sya-v-vozduh.html>
23. <http://www.lookatme.rumag/live/inspiration-list/198637-drones>
24. <http://hi-news.ru/technology/amerikanskije-voennye-razrabatyvayut-karmannyx-dronov-dlya-videoslezhki.html>
25. <http://roboting.ru/1532-robot-besplotnik-bumerang-elektronnye-glaza-specnaza.html>
26. [http://ibusiness.ru/blog/tyekhnologii\\_dlya\\_zhizni/33117](http://ibusiness.ru/blog/tyekhnologii_dlya_zhizni/33117)

