

Сергей Куликов

# Электричество встает на крыло

Создание компактного электродвигателя из сверхпроводящих материалов дает России возможность серьезно продвинуться в процессе создания самолета с новой силовой установкой



Первый отечественный электросамолет ждет окончания антивирусных мер для первого полета

**Д**емонстратор технологий, летных качеств, эффективности топливного элемента и других новшеств, которые призваны начать эру электрического авиатранспорта, созданный на базе самолета «Сигма-4», к взлету готов. Тема электродвижения нова для всех ведущих авиационных мировых производителей. И, по мнению отечественных разработчиков, у России есть все шансы стать одним из лидеров в этой сфере. Сегодня в стране ведется два проекта, цель которых — создать самолет с силовой установкой, в основе которой — электроэнергия. Для координации работы заинтересованных компаний и научных центров Научно-исследовательский центр «Институт имени Н. Е. Жуковского» разрабатывает комплексную целевую программу «Электродвижение», которая в ближайшие месяцы должна быть представлена на рассмотрение в Министерство промышленности и торговли РФ.

## На чем полетим

Первый проект входит в научно-исследовательскую работу (НИР) «Перспективные ГСУ» (ГСУ — гибридные силовые установки) Центрального института авиационного моторостроения (ЦИАМ) имени П. И. Баранова — главной научной организации авиационного двигателестроения в стране.

В рамках этой программы разрабатывается полностью электрическая силовая установка, где в качестве источника энергии используются водородные топливные элементы, которая предназначена для небольших летательных аппаратов — беспилотников и легких учебно-тренировочных самолетов. Первый раз самолет с водородным двигателем был продемонстрирован публике в ходе МАКС-2019. Для создания демонстрационной модели был выбран легкий двухместный самолет «Сигма-4». Как пояснил профессор **Юрий Добровольский** из Института проблем химической физики РАН, большая часть работ по переоборудованию самолета с электродвигателем на водородных топливных элементах пришлось на возглавляемую им группу. «Просто вынули всю начинку и заменили ее новым оборудованием, — рассказывает он. — При этом топливный элемент похож на тот, который был использован нами в автомобиле (см. «Первый хочет стать главным», «Эксперт» № 48 за 2019 год. — «Эксперт»), но для самолета он был облегчен по понятным причинам». В итоге силовая установка заняла место пассажира.

Мощность электродвигателя составляет 75 кВт, дальность полета самолета — около 300 километров. Пока возможность установки подобного двигателя считается эффективной для небольших

самолетов вместимостью до 12 пассажиров и дальностью полета 300–400 километров.

По словам Юрия Добровольского, самолет уже «бегает» по институтскому полю, и только нынешние антивирусные мероприятия и связанные с ними ограничения не позволяют поднять его в воздух для полноценной демонстрации и проверки возможностей.

Второй проект — «Электролет СУ-2020» — имеет более амбициозные задачи. Планируется создать демонстратор гибридной силовой установки, в состав которой войдут традиционная тепловая машина, генератор, аккумуляторы и электродвигатель с использованием эффекта высокотемпературной сверхпроводимости проектной мощностью 500 кВт.

Обе работы, которые выполняет ЦИАМ, предусматривают широкую кооперацию, при этом в них участвуют исключительно российские компании и научные организации.

Например, мощный электрогенератор для гибридной силовой установки создан совместно с Уфимским государственным авиационным техническим университетом (УГАТУ). Российская компания «СуперОкс», один из мировых лидеров по производству высокотемпературных сверхпроводящих лент второго поколения, добилась успехов

в создании сверхпроводящих электрических машин. В проекте «Электролет СУ-2020» ключевым элементом является сверхпроводящий электрический двигатель мощностью 500 кВт, разработанный этой компанией. Аккумуляторы в гибридной силовой установке изготовлены совместной командой Научно-исследовательского института электроугольных изделий и Московского физико-технического института (МФТИ). В проекте также участвует Московский авиационный институт (МАИ), который занимается криогенной системой охлаждения, обеспечивающей заданный температурный режим для электрического двигателя.

Стоит отметить, что компания «СуперОкс» — разработчик и производитель материалов, обладающих свойствами высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП), и изделий на их основе — входит в пятерку крупнейших мировых поставщиков этих материалов. Как пояснил «Эксперту» руководитель лаборатории ВТСП-электродвигателей **Владислав Калитка**, здесь в рамках проекта решались задачи по созданию сверхпроводниковой части двигателя — обмоток, криостата и криосистемы. При этом был разработан ряд новых технологий, позволяющих создать базовые узлы как для данного электродвигателя, так и для перспективных электрических машин с использованием эффекта сверхпроводимости.

«Благодаря своим свойствам ВТСП-провода позволяют создавать электрические устройства, имеющие очень высокую эффективность и компактность, — отмечает г-н Калитка. — Поэтому они стали востребованы именно в авиационной отрасли».

ВТСП-провода позволяют создавать моторы и генераторы с уникальными характеристиками. Из-за высокой плотности тока обмотки из ВТСП-ленты создают гораздо большее магнитное поле, чем обмотки из обычных проводов, и в сверхпроводниковых вращающихся машинах достигается более высокая плотность энергии. ВТСП-системы электродвижения, включающие в себя двигатели, генераторы, кабельные системы, накопители энергии и системы защиты, позволяткратно повысить топливную эффективность, снизить шум и заметность, улучшить динамику.

«Применение ВТСП-технологий имеет тем большие преимущества, чем больше мощность силовой установки, где экономия массы и повышение эффективности становятся наиболее значимыми, — поясняет Владислав Калитка. — Это самолеты региональных линий и крупные авиалайнеры». По его словам, особенно высокого синергетического



Михаил Гордин, генеральный директор ЦИАМ

**Проекты создания электросамолета предусматривают кооперацию, в которой участвуют только российские компании и научные организации. В России есть хорошая база для освоения технологий создания основных компонентов гибридных и электрических силовых установок**

эффекта можно достичь с применением криогенного топлива: сжиженного природного газа или жидкого водорода. Они имеют более высокую теплотворную способность по сравнению с авиационным керосином, а также создают криогенную среду для сверхпроводника, что значительно снижает расход топлива и стоимость эксплуатации самолета. Технология, как сообщили «Эксперту» в компании, уникальна. К тому же серийных образцов просто не существует.

По словам руководителя отдела «Электрические (гибридные) силовые установки, системы и летательные аппараты» ЦИАМ **Антон Варюхина**, разработки в этом направлении рассчитаны на то, чтобы в перспективе такими двигателями можно было оборудовать пассажир-

ские самолеты вместимостью более 50 человек.

Другой вопрос, что и это задача не самого ближайшего будущего: гибридные силовые установки для ближне- и среднемагистральных самолетов, скорее всего, будут созданы не раньше 2050 года. «В среднесрочной перспективе — 2030–2035 годы — возможно появление самолетов с такой силовой установкой на 19 пассажиров, а к 2040-м годам — региональных самолетов, — отмечает Антон Варюхин. — Если же говорить о полностью электрических летательных аппаратах (как это принято сейчас говорить, «самолетах на батарейках»), то различные исследования показывают, что сначала возможно появление самолетов или вертолетов вместимостью до девяти пассажиров (включая разнообразные «летающие такси») и лишь потом — воздушных судов вместимостью не более 19 пассажиров, с ограниченной дальностью». И по срокам это также относится к рубежу 2040-х годов.

По словам конструкторов, основным ограничением сегодня является достигнутая емкость аккумуляторных ячеек (отношение количества сохраняемой энергии к весу). Пока по этому показателю полностью электрические схемы значительно отстают от гибридных, где химическая энергия топлива преобразуется в электроэнергию тепловой машины и генератором.

### Водородная зарядка

Одним из вариантов, как уже было сказано, является использование водородных топливных элементов. Это электрохимический источник тока, топливом для которого служит водород, а окислителем — кислород в подаваемом воздухе. Продуктом работы такого устройства помимо электричества становится водяной пар. Как полагает генеральный директор ЦИАМ **Михаил Гордин**, и сейчас, и в перспективе топливные элементы с системой хранения водорода будут выигрывать у аккумуляторов по показателю удельной емкости.

«Мы не знаем на сто процентов, по какому пути пойдет технический прогресс, и тем более не можем предугадать, как на него повлияют политические аспекты, — говорит глава ЦИАМ. — Если позиция будет жесткой: «никаких вредных выбросов, и точка», — тогда придется полностью переходить на водород, топливные элементы, аккумуляторы. Если такой ультимативности не будет, то будут доминировать технологии, разумно обеспечивающие больший экономический эффект и экологичность. Поэтому мы как научный центр прорабатываем различные варианты».



Будущее электроавиации — в технологиях сверхпроводимости

Причем водородная силовая установка — это не только топливные элементы. Это может быть и классический двигатель внутреннего сгорания, для которого топливом является водород.

По словам Михаила Гордина, сейчас можно строить прогнозы, опираясь на экспертные оценки, но пока нельзя точно предсказать, как пойдет дальнейшее развитие технологий. «Ведь как было с водородом? На рубеже 70–80-х годов прошлого века, когда резко выросли цены на нефть и впервые было проявлено внимание к вопросам экологии и возобновляемым источникам энергии, появился тезис: водород — это топливо будущего. Тогда стартовало множество программ по водородной энергетике, — рассказывает он. — Многие слышали о проекте самолета Ту-155, в котором один двухконтурный турбореактивный двигатель — НК-88 — работал на водороде, хранившемся в жидком виде в криогенном сосуде». Экспериментальный полет на жидком водороде был совершен в СССР в 1988 году, это было сделано впервые в мире и никем больше не повторено. Интересный факт: как рассказал г-н Гордин, знаменитый академик **Владимир Струминский** тогда переделал мотор своей «Волги», чтобы он мог работать на водороде.

Однако в 1990-е цены на нефть упали, и тема водорода выпала из повестки дня. По оценкам экспертов, если бы нефть стоила 150 долларов за баррель, летать на водороде было бы выгоднее. Сейчас ситуация с ценами на нефть повторяется, и что будет дальше, предсказать трудно.

«Что касается повышения массы, то исследования показали: максимальная взлетная масса самолета с одной и той же полезной нагрузкой при одинаковой дальности с газотурбинными двигателями, работающими на водороде, была бы на 15–20 процентов меньше, чем при ис-

пользовании керосина, — говорит Михаил Гордин. — Правда, габаритные размеры такого самолета были бы больше из-за низкой плотности жидкого водорода».

При этом проблема хранения водорода в самом самолете в принципе решается, считает глава ЦИАМ. На сегодня, по его словам, наиболее приемлемый вариант — хранение водорода в жидком виде в криогенных сосудах. «В ЦИАМ при реализации проекта «Холод» еще в 80–90-е годы прошлого века был создан сосуд для жидкого водорода, выдерживающий давление 20 атмосфер и перегрузки до 20 g, — напоминает он. — При этом массовая доля водорода составляла 16 процентов от массы сосуда. С применением современных материалов, в том числе композиционных, эту долю можно повысить до 20–25 процентов».

### От винта!

Пока наиболее реальным сценарием разработки становится создание гибридных силовых установок, в которых присутствуют и традиционный тепловой двигатель, и аккумуляторы, и электрические машины. Как уже было сказано, в ЦИАМ разрабатывается демонстратор гибридной силовой установки проектной мощностью 500 кВт для перспективных самолетов местных воздушных линий. В этой схеме воздушный винт приводится во вращение электромотором. Электродвигатель, в обмотках которого применяются высокотемпературные сверхпроводники, получит электричество и от генератора, вращаемого газотурбинным двигателем, и от аккумуляторов. На взлете и наборе высоты будут работать газотурбинный двигатель и аккумуляторы. На крейсерском режиме — только газотурбинный двигатель, генератор и электромотор, вращающий винт, а аккумуляторы будут подзаряжаться. Такое

решение за счет мощности второго источника позволит облегчить газотурбинный двигатель, оптимизировать его именно под крейсерский режим полета и в результате снизить суммарный расход топлива в пределах 20%.

В итоге вместо двух газотурбинных двигателей, дорогих в производстве и в обслуживании, может быть использован один, а его возможные отказы в полете могут быть компенсированы за счет аккумуляторной батареи.

Подобные разработки ведутся всеми ведущими мировыми авиапроизводителями, но говорить, что кто-то вырвался далеко вперед, трудно, считает г-н Гордин. По его словам, все мы сейчас являемся участниками зарождения новых технологий в авиации, и все разработчики сегодня находятся в самом начале пути. Так что у России есть все шансы оказаться в числе лидеров.

Например, в Европе компании Airbus и Rolls-Royce с 2012 года занимаются созданием гибридного электрического самолета-демонстратора E-Thrust. За основу взята концепция гибридной газотурбинной силовой установки (ГСУ), работающей совместно с шестью электродвигателями. В рамках этой программы компания Airbus создала двухместный полностью электрический самолет E-Fan, предназначенный для спортивных тренировок с примерно часовой длительностью полета. С этого же года в Соединенных Штатах реализуется программа Subsonic Ultra Green Aircraft Research (SUGAR), в ходе которой был создан самолет-демонстратор X-57 Maxwell. В планах разработчиков — постройка пятиместного полностью электрического самолета. Его особенность — наличие 14 электродвигателей, из которых для полета на крейсерской скорости предназначены лишь два наиболее мощных, размещенных на концах крыльев. Тогда как 12 остальных включаются только для взлета и посадки.

В России демонстратор гибридной силовой установки также прошел наземные испытания на стендах ЦИАМ. А для проверки его параметров в составе летающей лаборатории специалисты института совместно с Сибирским научно-исследовательским институтом авиации имени С. А. Чаплыгина готовят самолет Як-40. Летный эксперимент планируется провести в 2021–2022 году.

По словам Михаила Гордина, одновременно обсуждается создание полностью сверхпроводящей гибридной силовой установки мощностью 1500 кВт на базе вертолетного двигателя ВК-2500 с использованием в качестве топлива и хладагента жидкого водорода или сжиженного природного газа. ■