

УДК 629.7.01'04

М.А. ПОГОСЯН, Р.М. МАРТИРОСЯН, В.А. КАРГОПОЛЬЦЕВ

**НЕКОТОРЫЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В
РАЗРАБОТКЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АВИАСТРОЕНИЯ**

Приведены основные положения Соглашения о научно-техническом сотрудничестве между Объединенной авиастроительной корпорацией (ОАК) и Национальной академией наук Армении (НАН РА) по решению задач повышения научно-производственного потенциала авиастроительного комплекса Российской Федерации. Конкретизированы три важных направления сотрудничества: исследование надежности и прочности соединения металла и композита для перспективных воздушных судов (ВС); разработка возможности использования нанотехнологии получения монодисперсных нанокристаллов для защиты элементов самолетов от обледенения; проведение совместных исследований по обеспечению вихревой безопасности ВС.

Ключевые слова: соглашение, прочность, металл, композит, нанотехнология, нанокристаллы, воздушное судно, безопасность, вихрь.

В настоящее время воздушный транспорт, вместе с другими составляющими авиационной системы, находится на стадии серьезных трансформаций (преобразований). Это вызвано стремительным развитием процессов глобализации, динамической конкурентности, глобального производства, а также развитием международной научной кооперации, аутосорсинга и т.д. Важной движущей силой является рост мировой торговли.

С другой стороны, воздушно-транспортные средства неуклонно совершенствуются. Растут показатели пассажирского оборота (RPK-Revenue passenger-hilometer) и грузооборота (RPK- Revenue Tone- hilometer).

По данным Института мировой экономики и международных отношений РАН, авиационный транспорт (АТ) становится критическим фактором, реализующим движение людей и товаров по достаточно широкому и все расширяющемуся спектру в национальных и глобальных цепочках экономики.

В целом можно говорить о глобальной авиационной экспансии в ближайшие 10...20 лет в мировую экономику.

Проведенный анализ перспективных требований к самолетам нового поколения, основанный на российских и зарубежных публикациях [1-10], показал, что создаваемый самолет должен превосходить существующую технику по уровню безопасности в 5...7 раз, иметь увеличенный ресурс самолета в 1,5...2,0 раза, увеличенный срок службы на 50% при одновременном снижении стоимости на 50% и увеличении жизненного цикла на 15...20%. При этом должны быть на

качественно новом уровне решены задачи экологии, комфорта, регулярности выполнения расписания полетов, транспортной эффективности.

Создание новых технологий авиастроения, необходимых для достижения поставленных задач, базируется на новых знаниях и результатах исследований в области фундаментальных и прикладных наук. Сокращение временного цикла формирования научного базиса и внедрения новых технологий в практику авиастроения, существенное ускорение разработки при одновременном снижении риска являются одной из ключевых задач в создании конкурентности АТ.

Очевидно, что повышение эффективности характеристик авиационной техники и ее конкурентоспособности в современных условиях невозможно без кардинального совершенствования проектных и производственных технологий создания воздушных судов, совершенствования взаимодействия фундаментальной, прикладной науки и авиационного производства.

Анализ показывает, что использование в процессе создания самолета “незрелых” (т.е. не доведенных до высоко уровня готовности) технологий гарантированно приводит к дополнительным и очень большим финансовым и временным затратам.

Важность вопроса сокращения цикла создания технологий, основанных на новых знаниях, и доведения их до уровня готовности сертификации поддерживается тем, что в ведущих промышленно развитых странах (США, страны Евросоюза, Россия) разработана система оценки зрелости технологии, которая взята за основу многими ведомствами и организациями. Для реализации этого процесса на практике необходимо обеспечить объединение научных, проектных и производственных ресурсов по приоритетным направлениям создания ВС нового поколения. На решение этой задачи, в частности, направлено Соглашение о научно-техническом и инновационном сотрудничестве ОАО “ОАК” и НАН РА.

Соглашением предусмотрено:

1. Участие в совместных проектах и программах, в разработке и реализации совместных планов работ, а также осуществлении других совместных действий.
2. Приоритетный взаимообмен коммерческой, технической и иной информацией по реализуемым совместным программам, проектам и планам совместных действий.
3. Осуществление скоординированной совместной научно-технической деятельности в сфере развития и внедрения перспективных технологий в области авиастроения.
4. Осуществление скоординированной совместной научно-технической деятельности в международной сфере.
5. Возможность организации совместных предприятий, действующих в рамках существующего законодательства.

В соответствии с планом работ созданы рабочие группы специалистов институтов НАН РА и ОАО “ОАК”, направленные на реализацию таких проблем, как создание новых решений в области композитных материалов, повышение прочности соединения металла и композита с использованием достижений нанотехнологий, повышение безопасности полета ВС за счет использования интеллектуальных прогностических систем в прочности, аэродинамике, системах управления и т.д., использование новых экологически чистых источников энергии.

В дальнейшем этот список может быть расширен. Рассмотрим основные фундаментальные и научные проблемы, решаемые в настоящее время совместно с российскими и армянскими специалистами.

Повышение прочности и долговечности соединений металлокомпозитных конструкций. В современных условиях использование композиционных материалов (КМ) в конструкциях летательных аппаратов (ЛА) возрастает. Так в европейском самолете А-380 (Airbus) использование композитов составляет ~25%, в проектируемом самолете А-350 (Airbus) их количество достигает 35%, а в самолете В-787 (Boeing) > 50%.

В России применение КМ в авиационных конструкциях также возрастает. В конструкции эксплуатируемых транспортных и пассажирских самолетов их объем составляет ~10%. В разрабатываемом пассажирском магистральном самолете МС-21, наряду с применением перспективных алюминиевых и титановых сплавов, объем использования композитов предполагается на уровне 40...50%.

Успешное внедрение КМ в силовые конструкции планера самолета непосредственно связано с созданием и совершенствованием расчетных методов оценки их прочности и жесткости. В общем случае КМ относятся к разряду анизотропных материалов, поэтому анализ их прочности требует особых подходов и методик, отличных от традиционных методов исследования прочности изотропных металлических материалов. Основы теории расчета анизотропных тел были заложены в работах Сен-Венана, С.А. Амбарцумяна, С.Г. Лехницкого и др. Прикладные методы расчета авиационных конструкций из КМ рассматривались в работах Г.Н. Замулы, К.М. Иерусалимского, В.М. Андриенко, В.В. Васильева и многих других отечественных и зарубежных авторов. В настоящее время благодаря усилиям разработчиков создан целый ряд методов оценки прочности конструкций из композиционных материалов.

Несмотря на это, до сих пор не разработана надежная универсальная инженерная методика определения конструктивных параметров в зоне стыка композит-металл и композит-композит с учетом технологии изготовления деталей, узлов и агрегатов. Физико-механические характеристики КМ (коэффициенты жесткости E_{ij}, G_{ij} , пределы прочности на растяжение-сжатие и срез), в отличие от металлических, часто требуют получения дополнительного подтверждения в эксперименте. Затруднительна также оценка влияния разрушения связующего, степени произ-

водственных, ремонтных или эксплуатационных повреждений на остаточную прочность и ресурс конструкции.

Одна из проблем разработки конструкций из КМ связана с обеспечением прочности соединения композитных деталей с металлическими. Такие соединения приходится использовать в зонах с высокими местными нагрузками, когда большие потоки сил необходимо воспринять деталями с высокой контактной прочностью и передать (распределить) их на более эффективные в весовом отношении, но чувствительные к концентраторам напряжений детали из композиционных материалов. Как правило, по соображениям надежности, такие соединения выполняются с использованием закладных металлических соединительных элементов.

В отличие от металлов, проблемы соединений в которых хорошо изучены, КМ обладают рядом особенностей, которые следует учитывать при прочностных расчетах соединений типа композит-композит и металл-композит.

Нагружение элементов узлов соединений металлокомпозитных конструкций также существенно отличается от традиционных металлических, что обуславливается различиями в прочностных характеристиках КМ при растяжении и смятии, сложностью реализации плотных высокоресурсных посадок соединительных элементов, повреждаемостью при обработке деталей из КМ, металлокомпозитных пакетов и др.

Наряду с использованием для исследования трудоемких расчетов методом конечного элемента (МКЭ), а также экспериментов на изготавливаемых образцах, целесообразно развитие эффективных аналитических методов для определения коэффициентов концентрации напряжений, а также прочностного расчета соединений, пригодных для использования в инженерной практике.

В этой связи актуальными могут стать следующие методические работы:

- исследование вариантов двух-, трех- и многослойных пакетов металл-композит при различных силовых воздействиях с целью оптимизации параметров пакета (чередование слоев и подбор их геометрических характеристик и др.), включая оценку концентрации напряжений методами теории упругости, теории вязкоупругости и механики разрушения;
- установление функциональной связи между концентрацией напряжений в отверстиях для болтов и характеристиками прочности односрезных и двухсрезных болтовых соединений металла с композитом с учетом разнородности и анизотропности соединяемых материалов, способа и цикличности нагружения, а также частоты и амплитуды динамических воздействий;
- разработка аналитической модели болтового соединения металл-композит для оптимизации параметров по условиям прочности. Оценка усилен-

ния соединения с помощью специально вставленных во время полимеризации в композит закладных втулок;

- исследование металлокомпозитных болтовых соединений (одноточечных и многорядных) с учетом затяжки крепежных элементов. Оценка концентраций напряжений в зоне соединений МКЭ;
- исследование повреждаемости кромок деталей из КМ и отверстий в узлах соединений для известных технологий обработки (лазерная резка, гидроабразивная резка, фрезерование, сверление, растачивание);
- совершенствование технологии механической обработки кромок деталей из КМ и отверстий, включая двух- и многослойные конструкции металл-композит, из условия уменьшения повреждаемости;
- повышение прочности болтовых и заклепочных соединений за счет рациональной технологии изготовления стыка, исключения концентрации напряжений при упрочнении кромок деталей из КМ путем введения клеевых втулок (включая использование наноклеевой композиции).

Для формирования научно-технического задела по проектированию самолетов нового поколения с применением КМ в силовой конструкции планера и достижения практических результатов будут привлечены высококвалифицированные специалисты институтов Национальной академии наук Республики Армения (НАН РА) и Центрального аэрогидродинамического института им. профессора Жуковского (ФГУП ЦАГИ), специализирующихся в данной области.

В итоге намеченных научно-исследовательских работ к 2015 году ожидаются следующие результаты:

- результаты исследования прочностных характеристик с оценкой концентрации напряжений в отверстиях под крепеж двух-, трех- и многослойных пакетов металл-композит с оптимизацией параметров пакета;
- оценка концентрации напряжений в отверстиях для болтов и прочности болтовых соединений (односрезных и двухсрезных) металл-композит для заданных цикличности нагружения, частоты и амплитуды динамических воздействий;
- получение численной математической модели болтового соединения металл-композит, обеспечивающей оптимизацию параметров стыка по условиям прочности, а также оценка возможностей усиления соединения с использованием закладных втулок;
- получение инженерных методик по оценке рациональных параметров двухсрезных (“Ухо-вилка”) металлокомпозитных болтовых соединений (в одноточечных и многорядных) с оценкой рациональной затяжки крепежных элементов;
- повышение прочности двухсрезных болтовых и заклепочных соединений за счет исключения концентрации напряжений, реализации плотных по-

садов соединительных элементов в отверстиях, одновременного включения соединительных элементов в работу, при приложении нагрузки, путем введения технологических втулок из наноклеевой композиции;

- получение сравнительных результатов исследований повреждаемости кромок деталей из КМ, кромок деталей и отверстий в узлах соединений для известных технологий обработки;
- разработка рациональной технологии механической обработки (фрезерования, сверления, растачивания) кромок отверстий в деталях из КМ, а также сверления двух- и многослойных конструкций металл-композит, включая выбор материала и геометрии инструмента, значения технологических параметров обработки, способы стружкоудаления и охлаждения.

Достижение вышеупомянутых научных и практических результатов позволит заложить фундамент для активного освоения КМ в производстве и авиационном строении.

Применение плазмо-механохимических покрытий для повышения характеристик авиационных конструкций. Композиционные механохимические покрытия на основе графит-наноалмазных порошков существенно повышают качество материала-основы. Композиционные покрытия, содержащие ультрадисперсную алмазграфитовую шихту, обеспечивают повышение микротвердости поверхностного слоя материала за счет формирования наноразмерной субзеренной структуры с размером субзерен менее 100 нм.

Метод нанесения покрытий существенно влияет на свойства конечного материала. Механохимический метод нанесения (Dynamic Compound Deposition – DCD) позволяет получать достаточно плотные покрытия. Этот метод применим для нанесения покрытий на упрочняемые детали широкого диапазона размеров и форм; он позволяет достичь высоких антикоррозионных, антиадгезионных, антифрикционных и износостойких характеристик упрочняемых деталей. Под воздействием ударов шаров в виброреакторе происходит диффузное сцепление частиц наносимой фазы и подложки. Частицы более твердых элементов проникают в вязкую матрицу подложки. В результате происходит увеличение глубины проникновения частиц наносимого материала и образование новых субзеренных структур в материале подложки. Беспористая субмикроструктурная структура покрытий, снижение исходной шероховатости на 1...2 класса и коэффициента трения в несколько раз, низкая температура процесса, отсутствие отпуска закаленных деталей, малый расход газообразного реагента и современные методы исследования создают хорошие перспективы для развития метода механохимического нанесения покрытий.

В данной статье приведены результаты исследования нового способа нанесения алмазосодержащих композиционных покрытий в виброреакторе в присутствии электроискрового ($P \sim 1 \text{ атм}$) или тлеющего ($P \sim 20 - 40 \text{ мм рт.ст}$)

разрядов ($U \sim 30 \text{ кВ}$, 50 Гц , $J \sim 150 \text{ мкА}$) – плазмо-механохимического метода (Electrical Discharge Assisted Mechanochemical Processing – EDAMP). Этот метод обеспечивает особые условия образования соответствующих фазовых составляющих в поверхностном слое материала подложки. Метод значительно интенсифицирует процесс нанесения покрытий и создает условия для образования нитридных, карбидных или оксидных фаз в поверхностном слое.

Основные характеристики EDAMP - метода:

- низкие температуры осаждения покрытия ($< 35^\circ\text{C}$);
- максимальная рабочая температура 400°C ;
- процесс занимает небольшое время ($\sim 30 \text{ мин}$).

Предварительные результаты получены при проведении лабораторных исследований. Показано, что сформированные методом EDAMP покрытия имеют хорошую адгезию к подложке, обладают улучшенными механическими и триботехническими характеристиками (твердость, сопротивление износу и коррозии, низкий коэффициент трения). Ввиду специфических условий синтеза и создания в поверхностном слое новой микро- и макроструктуры алмазосодержащих покрытий детали с такими покрытиями хорошо приспособлены для работы в тяжелых условиях нагрузок.

Некоторые свойства и особенности алмазосодержащих покрытий, формируемых методом EDAMP:

- низкий коэффициент трения (менее 0,1) по металлическим материалам;
- толщина покрытия не превышает $0,001 \dots 0,005 \text{ мм}$;
- микротвердость HV $1500 \dots 2000$;
- они не требуют последующей обработки;
- их наносят на детали широкого диапазона форм и размеров;
- нет изменений геометрических размеров деталей.

Наряду с простотой практической реализации очевидными преимуществами предложенного метода нанесения покрытий являются высокая скорость нанесения и низкая себестоимость сформированных покрытий.

Покрытия находят применение для защиты деталей техники, подвергаемых действию агрессивных сред и температур до 600°C (выхлопные газы, влажность), налипанию и обледенению, действию абразивного (пыль, твердые частицы) и кавитационного износа.

В результате выполнения запланированных работ предполагается завершить и систематизировать научные и практические результаты с целью создания новой технологии нанесения металлических, оксидных, нитридных, карбидных и алмазосодержащих покрытий на основе метода EDAMP. Разработка данной технологии, в частности, позволит:

- создать альтернативу для экологически вредных антикоррозионных хромосодержащих электролитических покрытий;

– создать основу для нового поколения авиационных материалов (демпферы вибраций, упрочнение шеек валов в поворотных конструкциях).

Повышение безопасности полетов самолетов в зонах интенсивного воздушного движения. Возрастание плотности воздушного движения и числа эксплуатируемых крупноразмерных самолетов существенно обостряет проблему вихревой безопасности. Любой летящий самолет оставляет за собой вихревой след, который возмущает воздушное пространство и тем самым представляет угрозу для полета других самолетов. Вихревой след постепенно рассеивается, но в обычных ситуациях заметное возмущение воздушного пространства может присутствовать за быстро летящим тяжёлым самолетом на расстоянии от него порядка 30...40 км (рис.1).

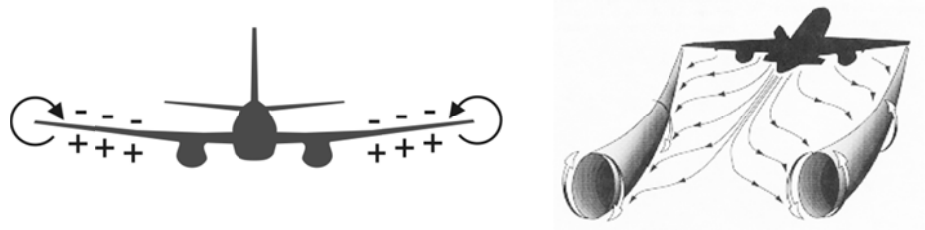


Рис. 1. Формирование вихревого следа

При этом энергия движения вихрей сопоставляется с энергией для поддержания самолета в воздухе. Важнейшей характеристикой вихревого движения является его интенсивность:

$$\Gamma = Y / \rho V b_o ,$$

где Y - подъемная сила самолета; V - скорость полета; ρ - атмосферная плотность; b_o - расстояние между вихрями.

В разных фрагментах вихревого следа распределения скоростей воздушной среды различны. Поэтому реакция самолета, попадающего в вихревой след другого самолета, вообще говоря, неоднозначная. Очевидно, что при полете поперек вихревого следа самолет испытывает максимальные избыточные знакопеременные перегрузки. В полете за самолетом-генератором в области между двумя вихревыми шнурами воздушный поток будет увлекать самолет вниз, а в наружной области, наоборот, вверх. В полете вдоль оси вихревого шнура на самолет будет действовать максимальный кренящий момент.

Проведенные исследования поведения самолёта взлетной массой ~100 т, совершающего крейсерский полёт в автоматическом режиме, при попадании в вихревой след от самолёта А-380 показали, что в случае его попадания в опасную зону характер его взаимодействия с вихревым следом зависит от двух

основных параметров: минимального расстояния по высоте от оси вихрей и разницы углов курса $\Delta\psi$ двух самолётов. Наибольшие значения приращения вертикальной перегрузки (порядка 1) реализуются при $\Delta\psi = 7 \dots 10^\circ$.

На рис. 2 показана зависимость дозы дискомфорта, которая представляет собой квадрат приращения вертикальной и боковой перегрузок, пропущенных через изодромное звено. Этот критерий учитывает как величину приращения перегрузки, так и скорость её изменения:

$$J = J_1 + J_2 = \int_0^T \left(\Delta n_y \frac{Ts}{Ts+1} \right)^2 dt + k \int_0^T \left(\Delta n_z \frac{Ts}{Ts+1} \right)^2 dt .$$



Рис. 2. Зависимость значения $J_{1\max}$ от разности углов курса

При малых значениях $\Delta\psi$ самолёт не может приблизиться к оси одного из прямых вихрей, поскольку система вихрей оказывает значительное противодействие. В то же время, если вихревой след искривлён из-за воздействия ветра, развития неустойчивости Кроу или вследствие искривления трассы полёта, то такое событие вполне возможно. В этом случае угол крена может достигать величины порядка 40° .

Учитывая сложность этой задачи, совершенно очевидно, что пилот нуждается в информационной поддержке, способствующей принятию своевременных и адекватных действий. На борту самолета должна быть индикаторная система, показывающая летчику расположение вихревых зон в окружающем воздушном пространстве и содержащая определенную директорную информацию для выполнения необходимых маневров облета.

Для успешного внедрения такой системы немаловажными дополнительными условиями являются простота системы, возможность ее интегрирования в существующие штатные индикаторы, а также совместимость со стандартной системой TCAS.

По характеру вихревой ситуации и возможным последствиям целесообразно выделить отдельно этапы крейсерского полета, происходящие на больших высотах, и этапы взлета-посадки, происходящие на малых высотах в зонах аэропортов. В настоящее время уже разработан вариант бортового информационного обеспечения на базе штатных индикаторов, позволяющий экипажу выполнять необходимые маневры уклонения от опасных вихревых зон.

Предложенные решения позволяют выполнить информационную систему вихревой безопасности с использованием существующих штатных бортовых систем индикации.

Основными принятыми концепциями являются:

- геометрическая модель опасной вихревой зоны (ОВЗ) в виде конической трубки, содержащей с большой вероятностью вихревой след;
- отображение прогнозируемого движения относительно ОВЗ;
- рассмотрение только двух сечений ОВЗ – горизонтального и вертикального в месте прогнозируемого прохождения самолета через вихревой след;
- рассмотрение запретных траекторий, ведущих к попаданию в вихревой след, и отображение этих траекторий на штатных индикаторах;
- привлечение элементов директорной индикации для управления по горизонтали и вертикали.

Дальнейшие исследования по данной теме в первую очередь связаны с разработкой теории воздействия на вихревую структуру, возможностью инструментального определения траектории вихревого следа с совершенствованием модели опасной вихревой зоны (в том числе с учетом ветра), а также с созданием форматов индикации для других этапов полета.

На рис. 3 представлен пример отображения информации на экране НД.



Рис. 3. Пример отображения информации на экране НД

Обозначения: 1 – метка самолета-генератора; 2 – метка своего самолета;

3 – прогнозируемая траектория сближения; 4 – трасса вихревого следа;

5 – горизонтальное сечение опасной вихревой зоны; 6 – шкала углов курса;

7 – шкала относительных высот; 8 – шкала вертикальных скоростей (со стрелкой-указателем текущей вертикальной скорости); 9 – шкала углов крена

Для решения этой задачи будут привлечены специалисты ряда ведущих российских институтов и институтов НАН РА, имеющие опыт в исследовании физических процессов в атмосфере и использующие соответствующую математическую модель и оборудование для определения безопасной траектории полета.

Фундаментальные и прикладные исследования в обеспечении создания бортовой энергоустановки самолета на новых принципах. В настоящее время источником бортовой энергии на самолете для выполнения полета, движения по аэродрому, питания электрооборудования и агрегатов (в т.ч. кондиционеров) и т.д. являются маршевые двигатели и вспомогательные силовые установки (ВСУ).

При этом значительная часть энергии ($\sim 30...35\%$) отвлекается от решения главной части – обеспечения полета самолета, что существенно снижает его эффективность и не является оптимальным. Анализ показывает, что внутренние

потребности самолета для работы его энергопотребителей - системы кондиционирования, приборы оборудования, выпуск и уборка шасси, управление самолетом, передвижки по земле и т.д. - постоянно увеличиваются. Так на самолете Boeing-787 общие бортовые потребности энергии составляют ~ 1400 кВт, а на самолете A-380 ~ 350 кВт. На рис.4 показана эволюция потребления электроэнергии на борту самолетов.

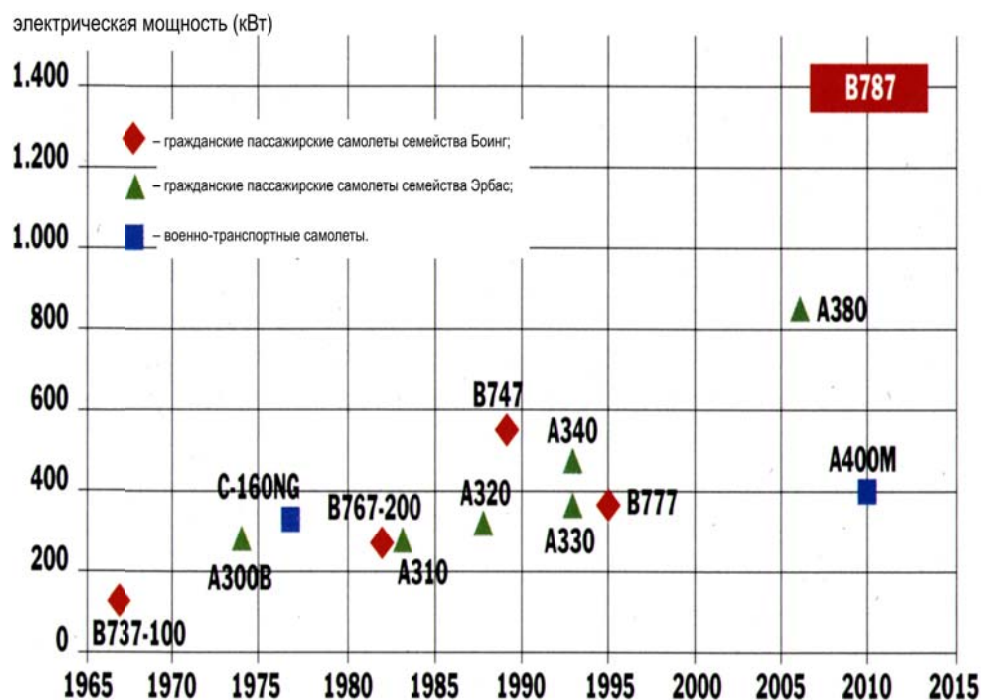


Рис.4. Эволюция потребления электроэнергии

При таком согласовании режимов работы внутренних энергопотребителей и маршевых двигателей часть входит в противоречие, плохо поддается оптимизации, а в ряде случаев не позволяет решить вопрос удовлетворения требований по экологии, безопасности полета и эффективности. В этой связи одной из наиболее перспективных концепций самолетов будущего является концепция полностью электрического самолета, переход к которой (учитывая сложность задачи) будет носить этапный характер и обеспечивать последовательное аккумулирование достижений в этой области.

На рис. 5 показаны основные направления перехода к электрическому самолету и представление основного эффекта реализации такой концепции.



Рис.5. Технологии перехода к «электрическому самолету»

Резкое возрастание роли экологии при создании и эксплуатации ВС определило высокий уровень экологической чистоты самолета, часто в качестве одного из определяющих критериев. Существующие решения основаны на использовании тепловых машин, имеют сравнительно невысокий КПД (~ 20...30%) и, как следствие этого, низкие экологические показатели, не соответствующие этим требованиям по экологии.

Для повышения энергоэффективности и уменьшения выброса парниковых газов (путем повышения КПД), уменьшения количества вредных выбросов, шума и вибраций большинство авиастроительных фирм активно разрабатывают и внедряют бортовой энергоузел на основе электрохимических источников энергии, в основном – топливных элементов (ТЭ).

Среди наиболее перспективных источников энергии в последнее время наиболее активно изучаются и разрабатываются химические источники (и накопители) энергии: суперконденсаторы (ионисторы), аккумуляторные батареи (чаще Li-ионные или литий-полимерные) и топливные элементы.

Ионисторы – это электрохимические конденсаторы, в качестве обкладки которых используется двойной электрический слой. Он обладает небольшим запасом энергии, однако его мощность сравнима с мощностью аккумуляторов, а время

разрядки немного меньше (от долей секунды до секунды). Хотя сам по себе ионистор пока неконкурентоспособен по энергетическим характеристикам по сравнению с другими электрохимическими источниками тока, однако его достоинства — большие скорости заряда и разряда — делают его перспективным для компенсации пиковых нагрузок и рекуперации ряда других типов энергии (например, при торможении).

Аккумулятор — вторичный элемент, в котором ион, экстрагированный из одного электрода, переносится через электролит к другому, в который и интеркалируется. Поскольку литий является одним из самых легких элементов и его потенциал ионизации один из самых низких, наиболее перспективными по своим характеристикам являются на настоящий момент литийионные (литийполимерные) аккумуляторы. Их энергетические характеристики более чем в 4 раза превосходят характеристики свинцовых аккумуляторов и в 2 раза — никелькадмиевых аккумуляторов, а рабочее напряжение единичной ячейки превышает 3 В и в перспективе может быть увеличено до 5 В. Переход от литиевого катода к сложным оксидным системам позволил значительно повысить безопасность таких аккумуляторов.

В отличие от Li-ионных аккумуляторов, в топливных элементах окислитель и восстановитель не находятся в самом элементе, а подводятся извне. Чаще всего используют водородно-воздушные и спиртовые топливные элементы. Среди всего разнообразия топливных элементов наиболее перспективными для практического использования в транспортных средствах считаются твердополимерные топливные элементы. В таких элементах в качестве электролита используются протонообменные мембраны, а электродами служат углеродные материалы с нанесенными на их поверхность наноразмерными кластерами платины.

Водород ионизируется на один из электродов, переносится через электролит и вступает в реакцию с кислородом на втором электроде. При этом единственным продуктом реакции является вода. КПД реально действующих ТЭ такого типа составляет 45...65%.

Анализ показывает, что энергетические установки самолета ближайшего будущего будут содержать все три электрохимических источника энергии. Основным источником энергии станут ТЭ, которые во время полета будут снабжать электроэнергией всех основных потребителей. Li-ионные аккумуляторы будут подзаряжаться от ТЭ во время полета и использоваться для кратковременного включения мощного оборудования (мотор-колесо, кухонное оборудование и т.д.), а ионисторы — для кратковременной выдачи большой энергии (выключение оборудования, запуск маршевого двигателя, начальный сдвиг колеса). Компоновка этих источников в ВСУ будет зависеть от его режимов полета.

Для успешного применения водородно-воздушного ТЭ необходимо решить несколько основных задач:

- а) создание высокоэффективных катализаторов с пониженным содержанием платины и повышенной толерантностью к СО;
- б) создание влагонезависимых термостабильных (минимум до 160...180°С) протонообменных мембран;
- в) создание новых аккумуляторов водорода с содержанием основного компонента не менее 12...15 % масс;
- г) создание нового поколения конвертеров керосина в водород для генерации водорода на борту.

Для эффективного решения поставленных задач и проектирования энергоустановок для летательных аппаратов будут привлечены силы РАН, НАН РА и ОАК, традиционно занимающихся созданием энергоустановок на основе электрохимических источников тока.

В результате проведения намеченных работ в ближайшие 5 лет можно ожидать следующие результаты:

- создание новых электрокатализаторов на основе наноструктурированных носителей и “core-shell” кластеров с загрузкой платины ниже 0,1 мг/см²;
- разработка новых протонообменных мембран, работающих без внешнего увлажнения при температурах 150...160°С. Эти разработки позволят снизить масс-габаритные характеристики ТЭ до 2 кВт/кг и использовать водород, полученный на борту летательного аппарата без его дополнительной очистки;
- предложение безопасных аккумуляторов водорода с обратимой емкостью не менее 6% масс. водорода и испытание высокоэффективных конвертеров углеводородного сырья, пригодных для использования на борту ЛА, и компактных систем очистки водорода;
- испытание ВСУ на основе комбинации электрохимических источников тока, работающих на авиационном керосине.

Достижение планируемых результатов позволит активизировать работы по внедрению новых источников энергии в авиастроение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Агаловян Л.А., Геворкян Р.С.** Неклассические краевые задачи анизотропных слоистых балок, пластин и оболочек. - Ереван: Изд-во "Гитутюн" НАН РА, 2005.- 468 с.
2. **Александров В.М., Мхитарян С.М.** Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками.- М.: Наука, 1983.- 488 с.
3. **Шекян Г.Г., Кошкарян Г.Н.** Влияние жесткости деталей на динамическое качество болтовых соединений // Изв. АН АрмССР. Сер. Техн.наук.- 1980.- XXXIII, № 2.
4. **Гаспарян С.С., Казарян Р.А., Манучарян Р.Г.** Экспериментальное исследование флуктуации интенсивности лазерного излучения в атмосфере // Квантовая электроника.- 1973.- Том 16, № 4.-120 с.
5. **Казарян Р.А., Джулакян В.М.** Экспериментальное исследование продольной корреляции лазерного излучения в турбулентной атмосфере // Изв. ВУЗ-ов. Радиофизика.-1980.-Том 23, № 5.- 718 с.
6. **Proctor F.H. (NASA/LARC), Hamilton D.W.** Review of real-time wake vortex prediction models // 12th Conference on Aviation Rang and Aerospace Metrology. -2006.-6.7.
7. **Burnham D.C., Mackey S., Wang F., Wacsaf H.** Wake turbulence Measurements Practical Experience, Considerations, Contrubution Made to NAS and Science to Date // Wake Net3-Greenwake Dedicated Workshop on "Wake Vortex and Wind Monitoring Sensor in all Weather Conditions". - Palaiseau, France, 2010.
8. **Aghasi R., Torosyan, Jonathan R., Tack, Alexander M., Korsunsky.** A new mechanochemical metod for metal coating // Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials.-2012. - Vol.13.- P. 251-256.
9. **Khachatryan A., Aloyan S., Way P.** Graphit to diamond transformation induced by ultrasound cavitation // Diamond and Related Materials. -2008.-17.- P. 931-936.
10. **Ghazarian H., Beylerian N., Baklachev E.** Behaviour of some irradiated solid oxides in different media and in presence of additions // Monomers, Oligomers, Polymers, Composites and Nanocomposites (Polymer Yearbook).- Pub. Date.- 2011.-2nd quarter: Vol.23.- P. 305-313.

ОАО "ОАК", НАН РА. Материал поступил в редакцию 05.02.2013.

Մ.Ա. ՊՈԴՈՍՅԱՆ, Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Վ.Ա. ԿԱՐԳՈՊՈԼՏԵՎ

ԱՎԻԱՇԻՆԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐԱՅԻՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ
ՈՐՈՇ ՀԻՄՆԱՐԱՐ ԵՎ ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ՊՐՈԲԼԵՄՆԵՐ

Ներկայացված են Ռուսաստանի միավորված ավիաշինարարական կորպորացիայի և ՀՀ ԳԱԱ-ի միջև կնքված գիտատեխնիկական համաձայնագրի հիմնական դրույթները՝ ուղղված Ռուսաստանի Դաշնության ավիաշինարարական համալիրի գիտատեխնիկական ներուժի ուժեղացման խնդրի լուծմանը: Մասնավորապես, քննարկվում են համագործակցության երեք կարևոր ուղղությունները. մետաղ կոմպոզիտ միացության ամրության և հուսալիության ուսումնասիրություններ՝ հեռանկարային օդային նավատորմի համար, հետազոտություններ՝ ուղղված մոնոդիսպերս նանոբյուրեղների ստացմանը օդանավերը սառցակալումից պաշտպանելու համար, համատեղ ուսումնասիրություններ՝ ուղղված օդանավերի մրրկային անվտանգության ապահովմանը:

Առանցքային բաներ. համաձայնագիր, ամրություն, մետաղ, կոմպոզիտ, նանոտեխնոլոգիա, նանոբյուրեղ, օդանավ, անվտանգություն, մրրիկ:

M.A. POGHOSYAN, R.M. MARTIROSYAN, V.A. KARGOPOLTSEV

SOME FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS IN DEVELOPING ADVANCED
AIRCRAFT TECHNOLOGIES

The main provisions of the Agreement on scientific and technological cooperation between the UAC and the NAS RA aimed at solving the problems of improving the scientific and industrial potential of RF's Aircraft Building Complex. Three important areas of cooperation are particularly specified: investigating the reliability and strength of metal and composite connections for advanced aircraft; developing possibilities of using nanotechnology to produce monodisperse nanocrystals for protecting the aircraft's elements from icing; carrying out joint research to ensure the vortex safety of aircraft.

Keywords: agreement, strength, metal, composite, nanotechnology, nanocrystals, aircraft, safety, vortex.