
Девяносто лет вместе **(о сотрудничестве АО «ОДК-Авиадвигатель»** **и ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»)**

История пермского ОКБ тесно связана с историей ЦИАМ, специалисты которого принимали непосредственное участие в создании, испытаниях и доводке пермских газотурбинных двигателей. О результатах плодотворного сотрудничества двух коллективов рассказывают ведущие специалисты АО «ОДК-Авиадвигатель».

Заместитель начальника отделения динамики и прочности АО «ОДК-Авиадвигатель»
Игорь Леонардович Андрейченко

С момента разработки первых отечественных авиационных моторов ЦИАМ принадлежит ведущая роль в обосновании критериев прочности и долговечности конструкции двигателей. Обобщение опыта отечественного двигателестроения вылилось в разработку Норм прочности авиационных двигателей. Документ этот многократно обсуждался с представителями предприятий отрасли, переиздавался в уточненных редакциях. На сегодняшний день в своей методической и нормативной частях служит ориентиром для разработчиков двигателей при оценке характеристик прочности конструкции.

При прочностном проектировании двигателя важно не только определить и обеспечить несущую способность деталей, но и понять, как долго детали и двигатель в целом могут работать, выполнять свои функции, т.е. определить их ресурс. История совершенствования способов определения ресурса насчитывает несколько десятилетий и связана с пониманием процессов накопления повреждений в материале деталей двигателя.

Сначала проводились ресурсные испытания полноразмерного двигателя по так называемой эксплуатационной программе, когда стационарные и переходные режимы работы выполнялись в строгом соответствии с графиком полета с учетом их последовательности и длительности. Позже на смену эксплуатационной программе пришла более эффективная программа эквивалентных испытаний. Но и это не давало желаемой точности прогноза ресурса – зачастую при ремонте двигателей повреждения обнаруживались не там, где имели место в испытаниях.

В 1980...1990-е годы в среде прочнистов ЦИАМ произошло переосмысление накопленного опыта, было сформулировано несколько подходов к обоснованию ресурса деталей двигателя (тогда это называлось стратегиями управления ресурсом). Было определено, в каких случаях ресурс следует устанавливать двигателю в целом, а когда достаточно установить ресурс деталей и эксплуатировать сам двигатель по техническому состоянию.

Оформились требования к двигателю, при выполнении которых возможно экспериментальное подтверждение ресурса деталей путем проведения их ресурсных испытаний на специализированных автономных стендах, вне двигателя. Для этого предварительно необходимо было выполнить моделирование кинетики напряженно-деформированного состояния деталей в типовом полетном цикле и в испытательном цикле на автономном стенде и подобрать условия испытаний так, чтобы воспроизвести повреждаемость деталей, соответствующую летной.

Описанный алгоритм действий специалисты пермского Моторостроительного конструкторского бюро применили при установлении ресурса деталей двигателя ПС-90А: выполняли отработку конструкции испытательных роторов и отладку испытательных циклов для максимально полного воспроизведения летной повреждаемости и проводили испытания. Работы вели в тесном взаимодействии со специалистами ЦИАМ – совместно разрабатывали и согласовывали программы испытаний, оценивали результаты, оформляли сертификационные документы.

Следующим шагом стал переход к расчетному методу обоснования ресурса деталей двигателя, который не требует обязательного проведения ресурсных испытаний. Актуальность такого подхода существенно возросла в современных условиях, когда требуется устанавливать ресурсы в несколько десятков тысяч циклов. Применение расчетного метода возможно при выполнении дополнительных условий: во-первых, материалы, из которых изготавливаются детали двигателя, должны пройти процедуру специальной квалификации, и, во-вторых, должна быть обоснована система запасов и верифицирован метод определения ресурса.

Специальная квалификация материалов имеет целью доскональное изучение характеристик прочности с учетом влияния множества факторов (габариты заготовки, межплавочный разброс, технология и пр.). Сегодня в АО «ОДК-Авиадвигатель» продолжается специальная квалификация материалов двигателя ПД-14. Работа выполняется в соответствии с методиками и положениями, разработанными ЦИАМ на основе многолетнего опыта исследований механических характеристик материалов. Несмотря на то, что ответственность за специальную

квалификацию лежит на разработчике авиационного двигателя, все программы специальной квалификации и результаты исследований проверяют и согласовывают специалисты ЦИАМ.

Учитывая колоссальный объем исследований (необходимо испытать многие десятки тысяч образцов), по приказу генерального конструктора А.А. Иноземцева в АО «ОДК-Авиадвигатель» создана независимая лаборатория исследования материалов, создан роботизированный участок изготовления образцов производительностью 10 000 образцов в год. Для решения задачи специальной квалификации материалов в масштабе отрасли под руководством А.А. Иноземцева организована кооперация исследовательских лабораторий отраслевых институтов, исследовательских университетов и предприятий отрасли; создан отраслевой банк данных характеристик материалов.

Начиная с конца 2000-х годов в ЦИАМ и двигателестроительных КБ более ускоренное развитие получили подходы к обеспечению прочности двигателя при экстремальных случаях нагружения: модели удержания лопатки вентилятора корпусом, модели повреждения лопаток вентилятора при взаимодействии с птицей, попавшей на вход двигателя, модели реакции конструктивно-силовой схемы двигателя на внезапное возникновение большого дисбаланса в случае отделения лопатки вентилятора.

Весьма значительным подспорьем в решении этих вопросов является экспериментальная стендовая база ЦИАМ, регулярно используемая в наших совместных исследованиях. Высокое качество проводимых инженерных и сертификационных испытаний обеспечивают совместная разработка программ и предварительное моделирование испытаний.

Начальник отделения турбин АО «ОДК-Авиадвигатель» Владимир Константинович Сычѳв

С момента создания в 1952 году в ОКБ № 19 подразделения, занимающегося газовыми турбинами, пермские турбинисты сотрудничают с головным отраслевым институтом. За последние годы совместно с ЦИАМ проведено большое количество работ, наиболее значимой из которых является реализация проекта ПД-14.

Проектирование турбин двигателя ПД-14 осуществлялось в тесном взаимодействии с отделом газовых турбин ЦИАМ, применялись методики и программное обеспечение, разработанные в институте. С учетом замечаний и рекомендаций специалистов ЦИАМ выполнена оптимизация конструкции турбины высокого давления (ТВД).

При разработке турбин специалисты института провели экспертизу аэродинамических проектов, системы охлаждения и теплового состояния. Совместными усилиями была проведена верификация расчетных моделей. Результатом данной работы стала успешная сертификация двигателя ПД-14.

В ходе работ по двигателю были максимально задействованы стенды поузловой доводки ЦИАМ. За последнее время проведено пять испытаний полноразмерных турбин ПД-14. В 2015 году проведены уникальные испытания турбины низкого давления (ТНД) ПД-14 в условиях пониженных чисел Рейнольдса. Впервые в отечественной практике выполнено исследование влияния турбулентности потока на параметры ТНД, в ходе испытаний ее измерение осуществлялось посредством высокочастотных датчиков и технологии stereo PIV. По результатам испытаний получен коэффициент полезного действия ТНД 92,1%. В 2016 году проведены испытания ТВД ПД-14, получен первичный КПД на уровне 91,5%.

В процессе работы над турбинами ЦИАМ были проведены экспериментальные исследования различных вариантов профилей лопатки для подтверждения их расчетных характеристик, в том числе при пониженных числах Рейнольдса, испытания лопаток ТВД для определения расходных характеристик и эффективности системы охлаждения.

Все результаты испытаний были использованы при верификации математических моделей и формировании доказательной документации при сертификации двигателя ПД-14.

На сегодняшний день сотрудничество АО «ОДК-Авиадвигатель» и ЦИАМ продолжается в реализации проектов двигателей ПД-35, ПД-8. Ведутся НИОКР в рамках разработки критических технологий создания турбин ПД-35. Запланированы испытания на трех стендах ЦИАМ. В конце 2020 – начале 2021 года в институте пройдет экспертиза технического проекта ТВД и ТНД.

Следует особо отметить, что при проектировании всех турбин в АО «ОДК-Авиадвигатель» широко используется комплекс программного обеспечения и методик, разработанных в ЦИАМ. В процессе аэродинамического проектирования применяются программы пространственного сквозного расчета многоступенчатых турбин в невязкой постановке (3D-уравнения Эйлера) и вязкой постановке (3D-уравнения Навье – Стокса) и программа вязкого расчета лопаточного венца в плоской постановке (2D-уравнения Навье – Стокса). Методики, заложенные в данные программные продукты, обобщают многолетний теоретический и экспериментальный опыт ЦИАМ, позволяют применять наиболее современные подходы к численному моделированию. Использование программных комплексов разработки ЦИАМ, интегрированных в процесс аэродинамического проектирования, существенно повысило качество расчетов и уменьшило сроки, необходимые для проектирования турбин.

Уверены, что плодотворное сотрудничество АО «ОДК-Авиадвигатель» и ЦИАМ будет только расширяться, а сложившаяся за длительный период совместной работы атмосфера взаимопонимания и конструктивного подхода к решению спорных вопросов позволит нам использовать богатейший опыт специалистов ЦИАМ при создании перспективных и совершенствовании существующих турбин.

Начальник отделения камер сгорания АО «ОДК-Авиадвигатель» Алексей Матвеевич Сипатов

На протяжении всей истории разработки камер сгорания для пермских газотурбинных двигателей специалисты ЦИАМ принимали непосредственное участие в создании, доводке и сертификации КС. Необходимо отметить, что работа велась в направлении создания камер сгорания не только авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), но и промышленных ГТД для газотурбинных установок (ГТУ) и газоперекачивающих агрегатов.

Двигатели семейства ПС-90А

При разработке единственного серийного отечественного двигателя гражданской авиации четвертого поколения ПС-90А работа над созданием камеры сгорания, как и прежде, началась с согласования с ЦИАМ технических условий на камеру сгорания. Сразу возник вопрос о создании перспективной кольцевой камеры сгорания. В начале 1980-х годов у пермского Моторостроительного конструкторского бюро (МКБ) не было опыта в проектировании кольцевых камер сгорания, в результате обсуждений и проработки различных вариантов было принято компромиссное решение – трубчато-кольцевая камера сгорания с кольцевым газосборником. Это конструктивное решение позволило использовать весь предыдущий опыт конструкторского бюро П.А. Соловьева, стендовую базу МКБ и реализовать преимущества кольцевой камеры сгорания в обеспечении низкой неравномерности поля температур перед турбиной.

Вторым вопросом при создании камеры сгорания для двигателя ПС-90А был вопрос обеспечения экологических характеристик двигателя по выбросу вредных веществ и дыма, так как в 1986 году Международная организация гражданской авиации приняла новые поправки в свой стандарт по обеспечению экологических требований. Совместная работа с ЦИАМ по выбору фронтального устройства привела к созданию камеры сгорания, обеспечившей соответствие требованиям стандарта ИКАО. Вначале была создана камера сгорания с топливовоздушным насадком, затем модификация с двухъярусным завихрителем.

При доводке и сертификации двигателя ПС-90А остро стоял вопрос об измерении выбросов вредных веществ из двигателя. Специалисты ЦИАМ обучили инженеров, расчетчиков и конструкторов методикам проведения замеров вредных веществ, обработки результатов экспериментов и использования этих результатов в проектировании камеры сгорания. Первый сертификационный замер выбросов вредных веществ был проведен специалистами института с помощью лаборатории ЦИАМ, которая была доставлена в МКБ водным речным транспортом, для исключения больших перегрузок и тряски при транспортировке. Лабораторию разместили на открытом стенде МКБ и успешно провели измерения. В результате двигатель ПС-90А получил сертификат о соответствии нормам ИКАО 2008 года по эмиссии вредных веществ.

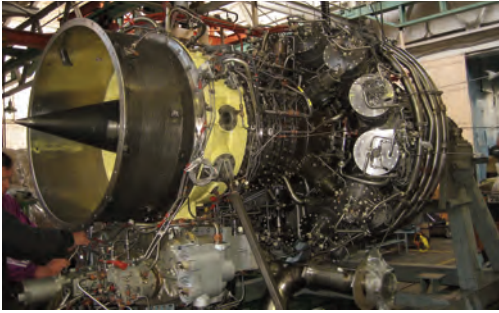
Отдельно нужно сказать об огромном вкладе специалистов отдела камер сгорания ЦИАМ (С.А. Волков, А.А. Горбатко) в сертификацию двигателя ПС-90А, без их всесторонней помощи получить сертификат было бы просто невозможно.

Все последующие измерения выбросов вредных веществ, как модификации камеры сгорания, так и двигателей ПС-90А, ПС-90А1, ПС-90А2 в целом, обязательно проводятся при участии и контроле специалистов ЦИАМ.

При создании камеры сгорания двигателя ПС-90А успешно использовалась стендовая база ЦИАМ. В самом начале доводки двигателя в ЦИАМ был направлен одnogорелочный отсек камеры сгорания, с помощью которого специалисты института провели значительный объем работ по проверке различных фронтальных устройств для снижения выбросов вредных веществ, по проверке характеристик камеры сгорания: от высотных пусковых до характеристик при самых высоких давлении (p_k^*) и температуре (T_k^*), которые мог выдержать отсек. В последующем в ЦИАМ были проведены испытания полноразмерных камер сгорания различных модификаций как на высотном стенде, так и на стенде с высокими параметрами p_k^* и T_k^* . Результаты этих работ конструкторы и инженеры МКБ успешно использовали в создании двигателя ПС-90А и его сертификации.

Специалисты ЦИАМ оказали помощь и в проведении расчетов, выполнили расчетную оценку различных вариантов камеры сгорания по неравномерности поля температур, расчеты различных вариантов системы охлаждения с экспериментальным подтверждением этих расчетов на стендах ЦИАМ. Результаты этой работы также были использованы МКБ в создании камеры сгорания двигателя ПС-90А и его модификаций.

Работы по совершенствованию камеры сгорания ПС-90А продолжаются, есть совместные программы ЦИАМ и АО «ОДК-Авиадвигатель» по совершенствованию ее экологических характеристик.



Газогенератор с одномодульной малоэмиссионной камерой сгорания

Промышленные ГТД на базе двигателей семейства ПС-90А

На базе авиационного двигателя ПС-90А и его модификаций созданы наиболее востребованные на российском рынке промышленные ГТУ мощностью 16 и 25 МВт, доказавшие свою надежность и эффективность в эксплуатации. Сегодня специалисты АО «ОДК-Авиадвигатель» и ЦИАМ решают задачу обеспечения низких уровней эмиссии вредных веществ на выходе из камеры сгорания двигателя ПС-90ГП-2 для ГТУ мощностью 16 МВт путем создания выносной малоэмиссионной камеры сгорания (МЭКС) с одномодульным фронтальным устройством жаровых труб. Совместные работы с ЦИАМ по созданию МЭКС для ГТУ-16П начались в 2005 году. При непосредственном участии специалистов ЦИАМ

В.Г. Ведешкина, Е.Д. Свердлова, А.Н. Дубовицкого пройден длинный путь, начавшийся с выбора облика камеры сгорания, подтверждения ее характеристик в составе осесимметричного и полноразмерного отсеков на стендах ЦИАМ и АО «ОДК-Авиадвигатель» и завершившийся выходом на испытания первого опытного газогенератора с одномодульной МЭКС в 2015 году. Сейчас работы находятся в завершающей стадии, идет подготовка к приемочным испытаниям двигателя ПС-90ГП-2 с выносной одномодульной МЭКС в составе газотурбинной установки.

Двигатели ПД-14 и ПД-35

Следует отметить вклад ЦИАМ в создание и сертификацию камер сгорания для перспективных двигателей гражданской авиации. При участии специалистов института были выполнены опытно-конструкторские работы по созданию камеры сгорания для двигателя ПД-14: выполнен значительный объем аналитической работы, благодаря чему определен облик камеры сгорания, учитывающий основные тенденции развития мирового двигателестроения, определены направления доводки камеры сгорания и, наконец, успешно пройден этап сертификации двигателя с новой кольцевой камерой сгорания по действующим нормам стандарта ИКАО.

В данный момент активно ведется работа по созданию перспективной малоэмиссионной камеры сгорания для двигателя ПД-35, которая, помимо удовлетворения требованиям по эмиссии NO_x , СО и НС, должна будет продемонстрировать соответствие новым нормам эмиссии нелетучих твердых частиц. Чтобы обеспечить соответствие двигателя перспективным нормам, создана рабочая группа по разработке МЭКС, ключевыми участниками которой являются специалисты ЦИАМ С.А. Волков, В.И. Фурлетов, В.Л. Попов. При их участии выполнен анализ различных схем организации рабочего процесса в камере сгорания, выбрана концепция камеры сгорания с «бедной» первичной зоной. Работы ЦИАМ в данном направлении отличает фундаментальная проработка и подробное теоретическое обоснование всех проектных решений, закладываемых в конструкцию фронтального устройства.

Заместитель начальника отделения выходных устройств и мотогондол по акустическому проектированию АО «ОДК-Авиадвигатель» Алексей Александрович Алексенцев

90 лет вместе с ЦИАМ и 50 лет совместной борьбы с шумом

В обеспечении конкурентоспособности гражданских самолетов российского производства по шуму на местности очень важное место занимает снижение шума авиационных двигателей. Это серьезная техническая, организационная и финансовая проблема, лежащая на стыке нескольких областей знания. Достичь успеха в ее решении возможно только в результате объединенных усилий по нескольким направлениям, используя ресурсы науки, разработчиков и производителей. Над этой проблемой АО «ОДК-Авиадвигатель» и ЦИАМ совместно работают практически с момента ее возникновения.

Началом систематических исследований шума двигателей можно считать 1970 год, когда при участии сотрудников ЦИАМ Р.А. Шипова, Н.А. Соколовой, А.А. Безгрешнова на открытом стенде Моторостроительного конструкторского бюро были проведены детальные исследования акустических характеристик опытного двигателя Д-30К, серийные варианты которого устанавливались на самолеты Ил-62М, Ил-76Т, Ту-154М. Это были первые в отрасли акустические испытания двигателя в условиях открытого стенда. Кроме подробного исследования акустических характеристик двигателя и основных источников шума, были проведены исследования по поиску границы между дальним и ближним акустическими полями, определению влияния высоты установки микрофона от поверхности земли, а также измерение уровней звукового давления на стенках воздухозаборника и наружного канала и исследование нестационарности акустического поля. Результаты исследований были использованы для оценки уровней шума самолета Ил-62М и при разработке ОСТ 1 00036-73 «Двигатели газотурбинные и

силовые установки. Акустические характеристики и методы их измерений».

В 1973...1976 годах впервые в отечественной практике осуществлена программа исследований акустических характеристик сотовых звукопоглощающих конструкций (ЗПК), включающая и работы в ЦИАМ:

– на установке, позволяющей исследовать облицовки каналов моделей вентилятора;

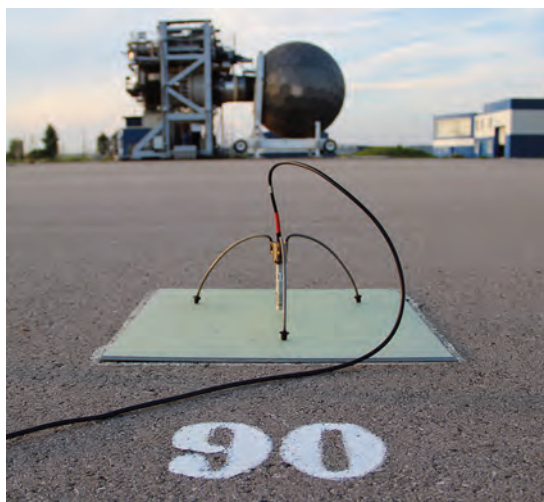
– на установке (канал с потоком), позволяющей исследовать акустические характеристики моделей глушителей, изготовленных по различным технологиям и из разных материалов, с варьированием конструктивных параметров глушителей. Например, были исследованы характеристики сотовых ЗПК разной длины, разной высоты ячеек, степени перфорации, разного диаметра отверстий перфорированного слоя, с дренажными отверстиями и без них.

В результате выполненных работ были определены акустические характеристики, параметры настройки звукопоглощающих образцов и панелей, а также влияние потока и высоких уровней шума на характеристики ЗПК. В проведении испытаний, обработке и анализе результатов наиболее активное участие принимали специалисты ЦИАМ Р.А. Шипов, Ю.Д. Халецкий, А.А. Безгрешнов, М.Н. Соловьев. Фундаментальные научные работы позволили перейти к выбору параметров и проектированию натурных узлов двигателей с ЗПК. Это позволило обеспечить требуемые на то время акустические характеристики самолетов Ил-62М, Ту-154М и Ил-76.

Тогда же под руководством проф. Р.А. Шипова была заложена основа отечественной методики расчета уровней шума самолета, используемой в центральных институтах им. П.И. Баранова и им. Н.Е. Жуковского и АО «ОДК-Авиадвигатель».

Следующим шагом к снижению шума был двигатель ПС-90А, устанавливаемый на самолетах Ту-204/214, Ил-96-300 и модификациях Ил-76. Двигатель ПС-90А проектировался с учетом соответствия самолетов требованиям 1990-х годов – нормами главы 3 Стандарта ИКАО, и в исходном варианте двигателя система шумоглушения выполнена на основе ЗПК первого поколения (однослойных металлических ЗПК). Значительный вклад в создание системы шумоглушения двигателя семейства ПС-90А внесли специалисты ЦИАМ.

С введением в действие главы 4 Стандарта ИКАО по шуму самолетов на местности требования, предъявляемые к самолетам, ужесточились на 10 ЕPNдБ. Было принято решение снизить шум только благодаря модификации систем шумоглушения силовой установки. Найденное совместно с ЦИАМ решение – переход с однослойных на двухслойные ЗПК (ЗПК второго поколения) – позволило решить эту сложную задачу, расширить полосу звуко-



Акустические испытания на открытом стенде АО «ОДК-Авиадвигатель»



Изменения норм ИКАО по шуму на местности с прогнозом

поглощения практически без снижения эффективности на основных частотах следования лопаток вентилятора и их гармониках. При этом учитывались ограничения технологических возможностей при изготовлении узлов, конструктивные ограничения и ограничения по массе.

Специалисты ЦИАМ, и в частности В.И. Поварков, приложили немало сил и энергии для улучшения экспериментальной базы, повышения точности при проведении испытаний на открытом стенде «Авиадвигателя» в Перми. Открытый стенд соответствует требованиям по акустике ОСТ 1 00036-84 и документа 9501, предъявляемым к акустическим стендам, измерительной аппаратуре и оборудованию.

В результате проведенного совместно с ЦИАМ комплекса работ по силовой установке двигателя ПС-90А выполнена сертификация самолетов семейств Ил-96 и Ту-204 по нормам главы 4 Стандарта ИКАО.

Большой вклад в эти работы внесли Р.А. Шипов и Ю.Д. Халецкий, которые были награждены премией АССАД им. Н.Д. Кузнецова за работу 2007 года «Разработка системы шумоглушения двигателя ПС-90А».

В два этапа – с конца 2017 и 2020 годов – вступила в действие Глава 14 ИКАО по шуму, ужесточившая требования на 7 ЕРНдБ по сравнению с Главой 4. Все вновь сертифицируемые воздушные суда должны соответствовать этим требованиям. В том числе и самолет МС-21-310, для которого создан двигатель ПД-14.

Для создания ПД-14 с 2007 года была выполнена большая, комплексная научно-исследовательская работа, включавшая улучшение характеристик как акустических источников (вентилятора, струи), так и системы шумоглушения (новых ЗПК). Проведены акустические испытания образцов, моделей на установках, испытания универсального стендового имитатора двигателя на стенде ЦИАМ, испытания двигателя на открытом стенде в Перми. В проведении численного моделирования, испытаниях, обработке и анализе результатов активно участвовали специалисты ЦИАМ Ю.Д. Халецкий, А.К. Миронов, А.А. Осипов, В.Е. Макаров, А.А. Россихин, С.Ю. Крашенинников, В.И. Милешин.

С нетерпением ожидаем подтверждения результатов наших работ и прогнозов, проверки точности расчетов и моделирования – в акустических испытаниях самолета МС-21-310, которые начнутся в 2021 году.

В 2017 году в АО «ОДК-Авиадвигатель» стартовал этап научно-исследовательских работ в рамках проекта двигателя большой тяги ПД-35, которым планируется оснастить российско-китайский дальнемагистральный широкофюзеляжный самолет CR929, а также будущие отечественные широкофюзеляжные пассажирские и транспортные воздушные суда. Самолет с двигателями ПД-35 должен иметь запас 13...17 ЕРНдБ относительно требований главы 14 Стандарта ИКАО.

Сегодня специалисты пермского КБ прорабатывают технологии акустического проектирования нового двигателя, технологии создания перспективных ЗПК, определяют основные направления работы. Теоретическими изысканиями дело не ограничивается. Акустические работы по двигателю ПД-14, проводимые сегодня, постепенно переходят в новый проект, поскольку пермские конструкторы считают ПД-14 прототипом двигателя ПД-35. В рамках нового проекта «Авиадвигатель» вновь тесно сотрудничает с ЦИАМ. В данный момент происходит верификация методов математического моделирования акустических процессов, доработка методик проектирования, разработанных ЦИАМ, ЦАГИ и пермским КБ.



А.К. Миронов, ведущий научный сотрудник ЦИАМ, на акустических испытаниях двигателя ПД-14 на открытом стенде (г. Пермь, 2018 г.)

Поскольку двигатели такой размерности, как ПД-35, в отечественном двигателестроении никогда ранее не создавались, существующий открытый стенд оказался непригодным для испытаний ПД-35. Новый открытый испытательный стенд будет построен на площадке загородной испытательной станции АО «ОДК-ПМ». Специалисты АО «ОДК-Авиадвигатель» уже сформировали и согласовали с ЦИАМ технические условия на стенд и его оборудование.

Кроме эксплуатируемого ПС-90А, встающего на крыло ПД-14 и находящегося в разработке ПД-35, есть не менее грандиозные по масштабам проекты – создать новые двигатели семейства ПД: для самолетов МС-21-200, МС-21-400, Ил-276 и др. А это означает большую интересную работу над акустическими характеристиками новых двигателей.

Считаем неопределимым вклад ЦИАМ в снижение шума отечественных двигателей, самолетов.

Искренне надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество с высококлассными специалистами ЦИАМ, на появление новых идей и разработок.

**Заместитель начальника отдела расчетно-экспериментальных работ и проектирования САУ
АО «ОДК-Авиадвигатель» Грибков Игорь Николаевич**
**Начальник отдела расчетно-экспериментальных работ и проектирования САУ
АО «ОДК-Авиадвигатель» Полулях Антон Иванович**

Тандем науки и опыта в создании систем автоматического управления ГТД

Значительное усложнение объекта управления – авиационного двигателя – предъявляет особые требования к технологиям создания САУ и делает необходимым применение перспективных разработок различных отраслей науки и техники, что стало возможным благодаря тесному взаимодействию специалистов конструкторского бюро и ЦИАМ.

Усложнение схем современных газотурбинных двигателей, рост числа контролируемых параметров и регулирующих воздействий, повышение требований к точности регулирования, надежности и безопасности в настоящее время определили широкое применение полностью электронных систем управления с полной ответственностью типа FADEC (full authority digital engine control). В таких системах все функции регулирования выполняются средствами электронной техники, а исполнительные органы могут быть гидромеханическими или пневматическими.

Для соответствия современным стандартам и обеспечения конкурентоспособности двигателя ПД-14 впервые в истории отечественной гражданской авиации под научным руководством института была разработана и сертифицирована электронная двухканальная система автоматического управления с полной ответственностью (типа FADEC) без использования гидромеханического резерва. Значительный вклад в ее создание внес научный коллектив под руководством доктора технических наук О.С. Гуревича.

Внедрение двухканальной электронной САУ-14 без гидромеханического резерва на двигателе ПД-14 позволило:

- повысить точность регулирования и обеспечить оптимальную эффективность двигателя во всех условиях полета, благодаря использованию электронного регулятора, выполняющего все функции по управлению двигателем;
- сократить количество гидравлических магистралей и механических элементов и тем самым повысить надежность системы, ресурсные показатели двигателя и существенно упростить сборку;
- повысить надежность и безопасность работы двигателя путем использования двухканальной системы управления и развитой системы самоконтроля, обеспечивающей парирование отказов узлов и компонентов САУ; развитая система контроля также позволяет выполнять эксплуатацию двигателя по техническому состоянию;
- повысить автономность двигателя в отношении электрических интерфейсов подключения путем реализации кодового обмена с самолетными системами и практически полного исключения дискретных электрических сигналов и реализации электродистанционного управления;
- обеспечить гибкость системы за счет возможности увеличения количества выполняемых функций с помощью введения новых или корректировки существующих программ управления в электронном регуляторе и, как следствие, ускорить процесс отладки системы и повысить оперативность подготовки к испытаниям;
- повысить эксплуатационную и ремонтную технологичность двигателя;
- снизить массу двигателя и самолета на ~40 кг (по сравнению с ПС-90А);
- снизить расходы на агрегаты САУ примерно в три раза, в том числе благодаря увеличению ресурса (по сравнению с ПС-90А).

Работоспособность и эффективность САУ-14 подтверждена квалификационными испытаниями агрегатов, положительными результатами стендовых и летных испытаний двигателя ПД-14 типовой конструкции. САУ-14 сертифицирована в составе двигателя ПД-14 и соответствует всем современным требованиям, предъявляемым к системам управления. Данный факт является очередным подтверждением успеха плодотворного многолетнего сотрудничества и большого вклада сотрудников института в создание перспективных систем управления газотурбинной техникой.



Специалисты ЦИАМ (О.С. Гуревич и С.А. Сметанин) на заседании рабочей группы по решению проблем создания перспективных САУ