

НАУКА — ПРАКТИКЕ

# Победа в воздухе куётся на земле

В апреле 2013 года ОАО «Авиадвигатель» (г. Пермь) посетили специалисты из институтов Сибирского отделения Российской академии наук, в том числе Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича (г. Новосибирск) и Института физики прочности и материаловедения (г. Томск). Целью визита была подготовка к совместной работе в рамках реализации Соглашения о сотрудничестве институтов Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН и ОАО «Авиадвигатель». Эта встреча послужила поводом собрать за круглым столом представителей нескольких институтов СО РАН, имеющих прямое отношение к совместной работе с пермскими моторостроителями.

ОАО «Авиадвигатель» — ведущее российское конструкторское бюро по разработке газотурбинных двигателей авиационного и промышленного назначения. Оно входит в состав «Объединённой двигателестроительной корпорации» — стопроцентной специализированной дочерней компании ОАО «ОПК «ОБОРОНПРОМ», многопрофильной машиностроительной группы по управлению двигателестроительными активами (основные направления деятельности — вертолётостроение, двигателестроение), являющейся, в свою очередь, частью ГК «Российские технологии».

На встрече присутствовали: директор ИТПМ СО РАН академик В.М. Фомин (именно ему выпало вести это заседание), сотрудники ИТПМ: В.Н. Зиновьев, к.ф.-м.н., с.н.с.; Е.И. Краус, к.ф.-м.н., зав. лабораторией; И.И. Шабалин, к.ф.-м.н., с.н.с.; сотрудники Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН: С.В. Сухинин, д.ф.-м.н., в.н.с.; В.И. Мали, к.ф.-м.н., в.н.с., и представитель Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН А.В. Бильский, к.ф.-м.н., с.н.с.

Директор ИФПМ СО РАН чл.-корр. РАН С.Г. Псахье смог встретиться с представителем нашей газеты чуть позже.

## Инженеры обратились к учёным

По словам ак. В.М. Фомина, первый шаг навстречу учёным сделали инженеры из «Авиадвигателя», предложив сотрудничество:

— Мы в ответ попросили их составить развёрнутый план работ, определить тематику и разделы внутри тем и выдвинуть свои предложения по этим разделам. Нашу просьбу исполнили, вся информация была сведена воедино. Оказалось, что по ряду вопросов с «Авиадвигателем» могло бы сотрудничать сразу несколько институтов. С другой стороны, для решения каких-то задач, внесённых в план, было возможно создать 2—3 группы в одном институте.

После этого началась выработка конкретных технических заданий и программ, которые были сформированы для институтов как европейской части России, так и СО РАН. Два года назад, в 2011 году, все программы были сведены в единый документ на Общем собрании РАН. В конечном итоге была подписана программа, включавшая 23 проблемы. Для их решения были привлечены институты ОЭММПУ РАН, в том числе входящие в УРО РАН, СО РАН и ДВО РАН. Из Сибирского отделения в программу вошли четыре: ИГиЛ, ИТ, ИТПМ (г. Новосибирск) и ИФПМ (г. Томск). Из всех заявленных «Авиадвигателем» 23-х проблем в СО РАН оказалось 10, причём три из них были отклонены заказчиком. Причины разные — не устраивало качество, не хватало средств на рассчитанный объём работ, а иногда инженерам уже требовалось готовое «железо», которое можно было бы после необходимых испытаний сразу запустить в работу, и они не готовы были ждать, работая «на перспективу».

В апреле этого года с авиамоторостроителями Перми встретились три делегации учёных из СО РАН. Одна приехала с итоговым отчётом для ОАО «Авиадвигатель», а две другие — разрабатывать дальнейшие перспективы сотрудничества, — заключил В.М. Фомин.

## Опасность золотых тонов

Институт гидродинамики занимается совместными исследованиями по теме «Расчёт золотых тонов в компрессорных решётках авиационного двигателя». Суть работ объяснил С.В. Сухинин, лауреат Государственной премии 1999 года:

— Для того, чтобы быть лучшими в мире, все энергетические установки должны выходить на предельные характеристики. Это создаёт новые проблемы, когда прежние расчётные методы перестают работать. Как правило, такие проблемы связаны с автоколе-

баниями рабочего газа или жидкости внутри системы. В газовых турбинах автоколебания приводят к ограничению параметров возможных режимов работы, понижают КПД и ресурс двигателя.

Автоколебания, по словам Сергея Викторовича, возникают во всех системах. Они имеют красивое название — золотые тоны. Но они весьма опасны: трудно прогнозируются, для их расчётов требуется математика на уровне квантовой механики. Экспериментально их выявить также нелегко: в сильно диспергирующих системах возникновение золотых тонов может показаться стохастическим, т.е. непредсказуемым. Если не искать их целенаправленно, можно принять происходящее с системами за некое злое чудо. Но для учёных и инженеров нет никаких злых чудес — есть рутинная работа, записанная в планах сотрудничества: целесообразно продолжение работ исследования золотых тонов, их визуализация и оценка их влияния на работу компрессора авиадвигателя.

Согласно официальной справке ОАО «Авиадвигатель», в ИГиЛ СО РАН д.ф.м.н. С.В. Сухинин был произведён расчёт акустических свойств каналов перепуска и предсказан резонанс в диапазоне 384—400 Гц. В настоящее время составляется план работ по проверке и устранению этих резонансных колебаний, чтобы предотвратить нежелательные последствия, иными словами, возможные катастрофы самолётов.

— Раньше, в СССР, мы стремились к тому, чтобы военные самолёты либо были «самыми лучшими», либо вообще не надо их выпускать, — добавил С.В. Сухинин. — Сейчас есть установка на то, чтобы и гражданские самолёты были самыми лучшими. Значит, чтобы создать их, нужны новые физические принципы, которых нет в инженерных расчётах. Новые авиационные двигатели не сделать по старым формулам и схемам. Поэтому роль Академии наук в данной области — помогать инженерам создавать что-то новое.

При этом, как заметил В.М. Фомин, из практической среды учёные получают новые задачи, до которых они бы не додумались, «просто сидя за столом».

## Как сплавить фантастические материалы

Это не единственная работа, осуществляемая Институтом гидродинамики совместно с «Авиадвигателем». Так, например, немалую важность приобрела для авиационной промышленности «Разработка технологии сварки взрывом».

В этой работе на первый план выходят материалы и их свойства, тогда как специалисты по механике всегда отдавали приоритет расчётам. Как объяснил В.И. Мали, в двигателе есть разные участки с разной температурой работы, и для каждого участка подобраны свои материалы. В каждом никелевом или титановом жаропрочном сплаве, если можно так выразиться, представлена вся таблица Менделеева. Сами по себе такие материалы самодостаточны, но проблемы возникают, если нужно их соединить, так как они не поддаются сварке. В моторе, если соединять с помощью сварки даже однородные материалы, например, никелевый сплав с таким же никелевым, по линии сварного шва появляется трещина. Детали из таких материалов приходится соединять болтами.

— Но представьте, что нужно соединить один участок, где крутятся лопасти, с другим таким же. Этот участок примерно два метра в диаметре. Представьте также, что там сидят болты. При возникновении уже упоминавшихся колебаний эти болты могут расшататься и, если хотя бы один из них оборвётся, то случится катастрофа. Поэтому мы пошли по комбинированному пути: сделали с помощью сварки взрывом композиционный барьерный слой, с одной стороны которого жаропрочный титан, а с другой — жаропрочный никелевый сплав, а потом, в электрическом поле, прибегли к спеканию однородных материалов при низкой температуре, что по-



зволило избежать образования хрупких интерметаллидов и трещин. Вся зона перехода от жаропрочных сплавов титана и никеля не превышает 0,5 мм.

## Лопасть вентилятора и её важность

Название работы звучит как «Разработка многослойного металлокомпозиата для изготовления баллистически стойкого корпуса вентилятора». Суть её связана со сваркой взрывом. Корпус вентилятора в самолёте должен быть достаточно прочным. Потому что, если оторвётся лопасть вентилятора, она ударит по корпусу, пробьёт его и может даже попасть в салон самолёта. Один из способов защиты корпуса — сделать материал слоистым.

— Даже если использовать для защиты корпуса вентилятора несколько слоёв стеклоткани типа кевлара, это уже даёт хорошие результаты, — сказал В.И. Мали. — Но не заматывать же весь самолёт, как кукулу! Поэтому мы придумали слоистый материал, где чередуются титан и алюминий, которые при нагревании реагируют друг с другом с образованием прочных и твёрдых интерметаллидов. Полученный композит технологичен, поддаётся сварке и монтажу. К тому же и очень лёгкий — что немаловажно, так как в авиационной сфере идёт борьба за каждый килограмм сэкономленного веса.

Институт теоретической и прикладной механики выполняет проект «Разработка и экспериментальная верификация соотношения, описывающего процесс деформирования материалов рабочей лопасти вентилятора в корпусе вентилятора при больших скоростях деформирования».

— В «Авиадвигателе» есть отдел прочности, который занимается расчётами, — пояснил Е.И. Краус. — Они обратились к нам с просьбой исследовать процессы высокоскоростного взаимодействия, которые происходят в случае аварийного отрыва лопасти вентилятора двигателя. Необходимо с помощью коммерческого программного пакета LSDYNA, которым они пользуются, смоделировать процесс столкновения, деформирования и разрушения внутренней обшивки двигателя в этой аварийной ситуации. Авиационерам важно сделать обшивку корпуса, с одной стороны, как можно более лёгкой (тонкой), а с другой — как можно более прочной (толстой). Для этого необходимо провести корректные расчёты, без которых за дорогостоящие эксперименты никто браться не будет. Ранее, отдел прочности самостоятельно проводил эти расчёты, но им не удалось в полном объёме решить эту задачу из-за недостатка данных для сложных моделей, используемых в расчётах, именно поэтому они обратились к нам.

По словам учёного, были замыслы провести численные расчёты с реальными лопатками вентиляторов, но инженеры предпочли сначала верифицировать данные на

эмуляторах лопатки, которые имеют такую же массу, но более простую форму. Лопатки вентилятора двигателя не отрываются, даже в эксперименте, поэтому приходится искусственно моделировать аварийную ситуацию, подпиливая лопасть у основания или отрывая лопасть направленным точечным взрывом. Задача: произвести расчёты так, чтобы увидеть, при каких условиях отрыв лопатки не приведёт к разрушению конструкции двигателя и, в конечном итоге, к гибели самолёта. Таким образом, необходимо верифицировать экспериментальные данные, которые предоставили инженеры.

— При этом, — добавил И.И. Шабалин, — оторвавшаяся лопасть не должна вылететь за пределы корпуса двигателя, то есть о повреждении других лопаток речь не идёт. Если в полёте лопасть оторвётся, то двигатель останавливают. С одним неработающим двигателем самолет посадить можно, а с повреждённым крылом или пробоиной в корпусе самолёта — весьма проблематично, если вообще возможно.

Институт физики прочности и материаловедения задействован в программе разработки высокотемпературных композиционных материалов и покрытий для авиационного газотурбинного двигателя большого ресурса (до 40 тысяч полётных циклов). В институте производится также разработка теплозащитного покрытия для рабочих сопловых лопаток турбины высокого давления и оксидных керамических материалов с иерархической внутренней структурой. Проводятся поисковые исследования с целью решения технологических задач по созданию изделий с высокими характеристиками.

Руководитель работ — академик В.Е. Панин. Как отметил директор ИФПМ СО РАН чл.-корр. РАН С.Г. Псахье, институт известен своими достижениями в области применения нанотехнологий для решения задач современного материаловедения, в том числе при разработке и создании материалов конструкционного и функционального назначения, твёрдых сплавов, керамических и полимерных композитов. Разработан ряд перспективных методов нанесения упрочняющих и защитных покрытий и модификации поверхностных слоев материалов для применения в аэрокосмической технике нового поколения.

## Математические модели на службе экологии

Работа Института теплофизики называется «Измерение полей концентрации топливно-воздушной смеси на модельном-фронтальном устройстве для идентификации разрабатываемых кодов». Этот доклад находится в стадии подписания. Об этом варианте сотрудничества рассказал А.В. Бильский:

— Это экспериментальные работы, которые необходимы, чтобы обосновать правильность выбора той или иной математической модели, используемой для расчётов