

В борьбе за скорость

Накануне Дня космонавтики в Выставочном центре СО РАН состоялся очередной «Академический час» — директор Института теоретической и прикладной механики СО РАН академик В.М. Фомин выступил перед молодёжью с лекцией «Космические аппараты будущего».

И хотя, судя по названию, презентацию предполагалось посвятить перспективам развития данной отрасли, рассказ свой академик начал издали — с истории воздухоплавания, появления первых летательных аппаратов и зарождения аэрогидродинамики. Он напомнил собравшимся о тех, кто стоял у истоков и, прежде всего, об «отце русской авиации» Н.Е. Жуковском и его ученике С.А. Чаплыгине (он, кстати, последние годы жизни провел в Новосибирске, где есть улица его имени), который также вошел в историю современной аэрогидродинамики. Именно эти российские учёные смогли объяснить, на основании чего летательные аппараты могут держаться в воздухе при малых скоростях. Ими было проведено немало экспериментов, среди которых — необычные и даже забавные. Например, такой: Жуковский сидел в кресле, а Чаплыгин ехал на деревянном велосипеде с прикрепленным к нему крылом, на котором находились ленточки. Именно по этим ленточкам можно было судить о распределении скорости и давления по профилю крыла. Учёные выдвинули гипотезу о превращении скорости в нулевую в определенной точке, была вычислена циркуляция, а затем и подъёмная сила (всё для малых скоростей). За этим последовал вывод о том, какой надо иметь двигатель, чтобы аппарат поднялся в воздух.

«Как только всё это объяснили, и стало понятно, что и каким образом надо делать», — отметил В.М. Фомин, — началась борьба за скорость. Инженеры стали делать новые летательные аппараты, появились новые двигатели, так добрались и до скорости звука. Именно тогда было введено число Маха, т.е. отношение скорости набегающего потока к скорости звука.

Потом — 40-е годы, Великая Отечественная война. Самолётостроение развивалось, но никак не получалось добиться того, чтобы скорость Маха была больше единицы: в разных странах самолёты стали разваливаться, лётчики только успевали сообщить, что испытывают большие нагрузки, самолёт трясёт. Именно в это время родилось понятие «преодоление звукового барьера летательными аппаратами» — он был преодолен с помощью работ академика С.А. Христиановича. После войны скорости начали увеличиваться, но сегодня самолёты летают со скоростями не больше 3-х чисел Маха (ракетные системы, конечно, быстрее).

Академик рассказал собравшимся о гиперзвуковых летательных аппаратах (ГЛА), которые способны осуществлять продолжительный полёт в атмосфере с гиперзвуковой скоростью, о сферах их применения и о современных проектах разных стран, связанных с их развитием. ГЛА являются средством быстрой транспортировки пассажиров и грузов, используются как космические транспортные системы, а также для создания высокоточного высокоскоростного оружия. В качестве примера был приведен европейский проект пассажирского самолета (в этом направлении сейчас движутся многие страны), проведенное сравнение с аналогичным по дальности и пассажировместимости моделями. Полет от Брюсселя, на-



пример, до Токио или Сиднея на таком самолете можно совершить максимум за три часа. Были продемонстрированы схемы двигателей и прочих механизмов, чертежи и графики, отражающие режимы полёта, другие расчёты, которые необходимы при работе над подобными аппаратами.

Перед гиперзвуковой аэродинамикой встает ряд вопросов, которые учёные пытаются решить, в том числе — проблемы пограничных слоев, ламинарно-турбулентного перехода и теплозащитных материалов. Дело в том, что в полёте происходит сильный нагрев, который зависит прежде всего от состояния пограничного слоя воздуха. Его как можно дольше нужно сохранять ламинарным, потому что турбулентность мешает полёту. Необходимо знать механизмы ламинарно-турбулентного перехода при таких скоростях, уметь им управлять («Впрочем, — отметил докладчик, — пока нет хороших методов в науке, которые предсказывали бы переход от турбулентного к ламинарному потоку»). Кроме того, нужны новые материалы и конструкции, выдерживающие высокие температуры, при этом они должны быть лёгкими и прочными. Что касается современных ракетных двигателей, они имеют низкую эффективность. Из-за этого вывод грузов на орбиту обходится слишком дорого. При использовании в воздушно-реактивном двигателе 600 т кислорода можно часть брать из воздуха. При аэродинамическом торможении кинетическая энергия аппарата превращается в тепло, сообщаемое воздуху и поверхности аппарата. Общее количество тепла, выделяемого, например, при аэродинамическом спуске с околоземной орбиты, составляет свыше 30 мегаджоулей в расчёте на 1 кг массы аппарата.

Как же сверяются расчёты и теория? Освоение гиперзвуковых скоростей является одним из важнейших направлений работ МКБ «Радуга». Ещё в 1973—78 и в 1980—1985 гг. было разработано несколько опытных образцов для испытаний гиперзвуковых авиадвигателей. В начале 1990-х годов конструкторы «Радуги» разработали крылатую ракету нового класса — гиперзвуковую Х-90. В 1992 г. работу над боевой ракетой приостановили, однако для отработки различных решений на базе Х-90 была разработана система нового класса — гиперзвуковой экспериментальный летательный аппарат

(ГЭЛА). «В начале пути, перед тем как создавать такой аппарат, американцы отставали от России лет на двадцать, но до 90-х гг. все работы были закрыты», — отметил В.М. Фомин. — А потом начались совместные исследования. В 2012 году такая ракета на основе гиперзвукового прямоточного двигателя должна полететь в космос».

Имеется беспилотный экспериментальный гиперзвуковой летательный аппарат, построенный по программе НАСА разработки самолёта с прямоточным реактивным двигателем (для разгона, т.е. вывода на требуемую скорость и высоту использовался разгонный блок ракеты «Пегас»). Первый полёт состоялся в июне 2001 года, однако в одном случае имели место ошибки системы управления. Два других ЛА успешно выполнили программу: прямоточный реактивный двигатель работал 10 секунд, затем следовало 10-минутное планерное снижение; обе модели утонули в Тихом океане. Третий полёт установил рекорд скорости в 12.144 км/ч (Мах 9.8) 16 ноября 2004 года.

В настоящее время работу по гиперзвуковым программам активно проводят многие страны, среди которых Австралия, Бразилия, Великобритания, Германия, Израиль, Индия, Италия, Китай, Россия, США, Франция, Швеция и Япония. Однако особое внимание на встрече со старшеклассниками было уделено научным проблемам и исследованиям, которые ведут учёные Сибирского отделения РАН, в частности, проектам Института теоретической и прикладной механики по изучению гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей. У ИТПМ имеется неплохой задел и мировой приоритет по исследованиям гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей. У ИТПМ имеется не только впервые в мире была экспериментально продемонстрирована тяга ГПВРД, но и проведены испытания десятков различных конфигураций как отдельных элементов (воздухозаборников, камер сгорания, сопел), так и ГПВРД в сборе. Разрабатывались и малогабаритные прямоточные двигатели, которые можно использовать, например, в качестве высокоскоростных снарядов.

Созданы уникальные гиперзвуковые аэродинамические трубы — установки, позволяющие проводить исследования гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей в условиях, близ-

ких к полётным. Проводится конструирование трёхмерных несущих конфигураций с интегрированными поверхностью сжатия и воздухозаборником, а также изучение суммарных тягово-аэродинамических характеристик ГЛА с воздушно-реактивными двигателями. Учёные института занимаются экспериментальными исследованиями физических процессов горения в высокоскоростном потоке, управлением газодинамикой течения, оптимизацией модели ГПВРД с горением водорода в импульсной аэродинамической трубе ИТ-301 впервые в мире было продемонстрировано образование суммарной положительной тяги, кроме того, впервые были экспериментально показаны механизмы стабилизации ламинарного течения при гиперзвуковых скоростях.

Обычно уникальные экспериментальные результаты получают, когда используются уникальные методы, поэтому много внимания уделяется развитию экспериментальной техники. Здесь очень важно сотрудничество с институтами СО РАН, которое помогло разработать такие экспериментальные методы, в частности, датчики на основе микротрубок, созданные в ИФП по «технологии Принца». В лаборатории физики и технологии трёхмерных структур Института физики полупроводников под руководством д.ф.-м.н. В.Я. Принца получают металлические нанотрубочки любого заданного диаметра по оригинальной технологии — в многослойном материале один слой вытравливают, и тогда этот материал начинает заворачиваться в виде трубочки. Теперь её можно использовать в виде чувствительного элемента датчика-термоанемометра. Это и было сделано, в результате чувствительность датчика возросла почти в 100 раз. Постоянная времени датчика из микротрубки в 80 раз меньше постоянной времени проволочного датчика. Замена микропроволочки на микротрубку позволяет существенно уменьшить инерционность чувствительного элемента и расширить частотный диапазон измерений.

В ИТПМ СО РАН создана уникальная аэродинамическая экспериментальная база, единственная в Академии наук и в азиатской части России. В аэродинамических трубах ИТПМ моделируются тече-

ния газов в диапазоне скоростей от малых дозвуковых до космических ($M=0,1-25$) и чисел Рейнольдса, вплоть до натуральных при гиперзвуковых скоростях полёта, что позволяет моделировать параметры вдоль всей траектории полёта аэрокосмических систем (типа «Энергия-Буран»). Аэродинамические установки мирового класса обеспечивают высокое качество проводимых фундаментальных и прикладных исследований. Благодаря высокому качеству потока дозвуковой малотурбулентной трубы Т-324 получен ряд выдающихся результатов по переходу от ламинарных течений к турбулентным.

Имеется также сверхзвуковая аэродинамическая труба Т-313: по параметрам, качеству потока и характеристикам полностью автоматизированного измерительного комплекса она является установкой мирового класса; в ней выполнен ряд фундаментальных исследований в области сверхзвуковой аэродинамики. Благодаря импульсной аэродинамической трубе ИТ-302 выполнено большое число исследований в модельных прямоточных воздушно-реактивных двигателях, в том числе и с горением различных топлив. А уникальная гиперзвуковая труба адиабатического сжатия АТ-303, введенная в эксплуатацию в 2000 году, моделирует рекордные параметры в гиперзвуковой области полёта аэрокосмических систем.

«Современная наука немислима без численных методов», — сказал в завершение академик В.М. Фомин. — Они позволяют более глубоко понять физические механизмы явлений, происходящих в гиперзвуковых потоках. Для этого мы используем как собственные, так и коммерческие программные пакеты, развиваем вычислительную базу, покупаем вычислительные кластеры. В этом году у нас уже будет кластер с 256 ядрами. Если же не хватает своих ресурсов, отработаем параллельное программирование, выйдем на Сибирский суперкомпьютерный центр СО РАН, Москву, на зарубежные партнеров... Таким образом, создание нового класса гиперзвуковых летательных аппаратов с воздушно-реактивными двигателями является очень перспективным направлением развития техники высокоскоростных полётов. ИТПМ сохраняет приоритет в мире в этой области исследований, но в настоящее время для развития этого направления институту необходимо совершенствовать экспериментальную базу, в том числе построить новую аэродинамическую трубу, по своим параметрам не имеющую аналогов в мире».

Что же может обеспечить новая аэродинамическая труба? Прежде всего, её создание позволит получить следующие параметры: сверхвысокие давления (до 3000 атмосфер) и температуры (до 3000 К) при достаточной продолжительности (>50 мсек), необходимые для проведения испытаний ГЛА с ГПВРД. По своим техническим характеристикам данная установка является уникальной, она займет ведущее место в мире, обеспечивая испытания перспективных летательных аппаратов на 30—50 лет вперед.

Ю. Александрова, «НВС»
Фото В. Новикова