



Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

ЗА НАУКУ В СИБИРИ

ОРГАН
ПРЕЗИДИУМА
И МЕСТНОГО КОМИТЕТА
ПРОФСОЮЗА СО АН
СССР

Год издания 8-й.
№ 7 (385).
12 февраля 1969 г.
СРЕДА.
Цена 4 коп.

Д Е Н Ъ НАУКИ— ТРЕТИЙ

100-летию со дня рождения

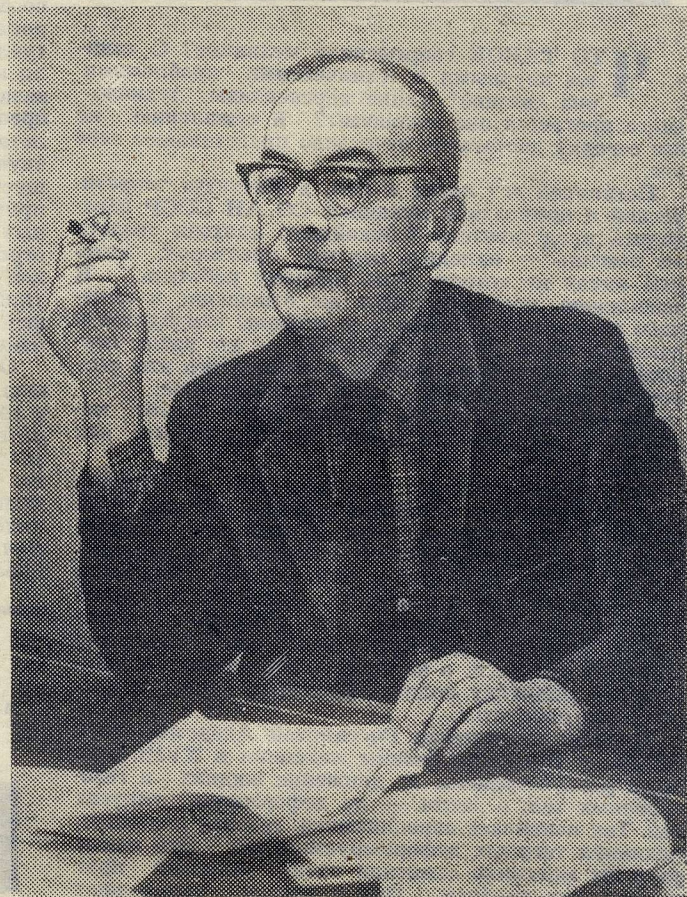
В. И. ЛЕНИНА

ПОСВЯЩАЕТСЯ

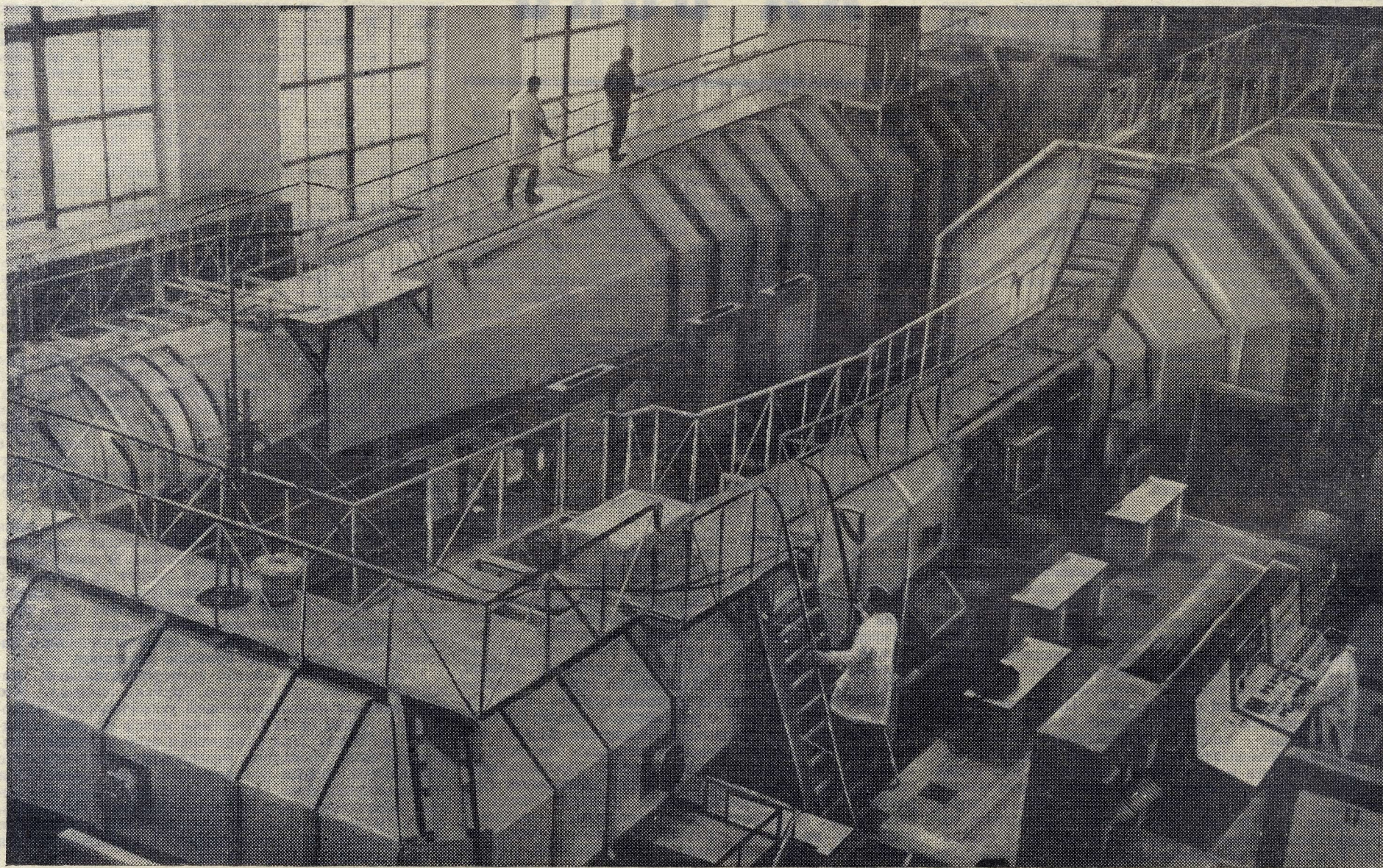
РАССКАЗЫВАЮТ УЧЕНЫЕ ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ

Сверхзвуковой пассажирский самолет ТУ-144. Его фотографии и информация о первом его полете обошли недавно всю мировую прессу, заставив читателей задуматься над вопросом — какими же будут самолеты будущего! В каких направлениях будет развиваться скоростная авиация и ракетная техника! Ответить на эти вопросы могут ученые, в частности ученые Института теоретической и прикладной механики СО АН СССР. Проблемы газовой динамики, аэродинамики разреженного газа и плазмы, проблемы устойчивости трехмерных течений газа, разработка общей теории турбулентности, — вот лишь часть проблем, над которыми они работают и о которых рассказывают в сегодняшнем номере газеты, посвященном Дню науки.

В СО АН СССР это уже третий День науки, который сибирские ученые посвящают 100-летию со дня рождения В. И. Ленина.



Академик В. В. Струминский, директор Института теоретической и прикладной механики СО АН СССР.



Аэродинамическая труба дозвуковых скоростей с малой степенью турбулентности потока. Первый пуск состоялся в канун 51-й годовщины Октября. Труба предназначена для исследований пограничного слоя. Фото А. Зубова.

ДЕНЬ НАУКИ- ТРЕТИЙ

ЧТО ТАКОЕ современная механика? С какими научными и техническими проблемами она связана? Какие перспективы технического прогресса она открывает? К сожалению, не все сегодня достаточно отчетливо представляют себе это.

Несколько лет назад к нам, в Институт теоретической и прикладной механики СО АН СССР обратились представители ближайшего колхоза оказать им помощь — наладить партию тракторов, которые никак не хотели по-настоящему работать... К сожалению, примерно такое же отношение к механике проявляется подчас и со стороны кандидатов и докторов наук. Для них механика — это рычаг первого и второго рода, законы равномерного или равноускоренного движения тел и тому подобное.

Да, это действительно те простейшие задачи механики, с которых она начала формироваться как наука.

Величайшие гении человечества — Галилей, Ньютон, Гамильтон заложили мощный научный фундамент и построили на этом фундаменте первый этаж прекрасного здания — «механику материальной точки и системы тел». Эти законы механики нашли простейшее применение во всей последующей деятельности человечества, они объяснили также законы движения небесных тел, они безотказно служат и сейчас и, в частности, определяют траекторию и динамику полета самолетов, ракет и космических аппаратов.

Трудами академиков Российской Академии наук Эйлера и Бернулли законы механики в XVIII веке были распространены на движение жидких и газообразных тел, а затем — на деформации упругих тел. Так появилась аэродинамика, газовая динамика, механика твердых деформируемых тел. Эти новые разделы механики охватили очень широкий круг технических проблем. Они и поныне определяют перспективу дальнейшего развития и прогресс многих важнейших отраслей техники.

В середине прошлого века благодаря работам всемирно известных ученых Клаузиуса, Максвелла, Больцмана возможности механики существенно расширились. Ее законы были объединены с законами теории вероятности. Так появился новый великолепный этаж, так появилась кинетическая теория газов, обосновавшая основные законы термодинамики и открывшая богатые возможности для теоретического обоснования законов движения жидких и газообразных сред, для построения теории движения наиболее сложной формы состояния материи — плазмы.

Время шло, и вот уже в самом начале XX века появилось дальнейшее обобщение механики — релятивистская механика (теория относительности Эйнштейна), объяснившая закон движения тел со скоростями, приближающимися к скорости света. Появилась квантовая механика Гейзенберга, Шредингера, Дирака, объяснившая строение атома и молекул и теоретически обосновавшая периодическую систему Менделеева.

И, по-видимому, недалеко то время, когда механика, конечно, в каком-то особом виде, с новыми дополнениями и обобщениями, сможет служить основой для объяснения строения атомного ядра и элементарных частиц. И это будет не последний этаж в самом великолепном здании, которое когда-либо строил человек. Но уже и сейчас около него воздвигнуто огромное число первоклассных строений, в которых разместились многочисленные прикладные науки: сопротивление материалов, гидротехника, строительная механика, теплотехника и многие другие.

XX век принес новые направления и особенности в развитии механики. Быстро развивающаяся техника потребовала более глубокого, более детального изучения основных законов механики. Эти требования были настолько серьезными, настолько обязательными, что человечество не считалось ни с какими трудностями. Сложнейшие проблемы решались одна за другой. Особенно сложные проблемы выдвигала быстро развивающаяся авиационная техника. Приведу несколько примеров. В этот период Жуковский и его ученики исследовали и решили проблему подъемной силы крыла. Прандтль и его школа разработали одну из самых изящных теорий аэродинамики — теорию пограничного слоя, позволившую рассчитывать сопротивление трения элементов самолета и самолета в целом. В 30-х годах в авиации был достигнут такой прогресс, что максимальные скорости самолетов приближались к скорости звука. На этих режимах полета стали играть основную роль новые законы аэродинамики, связанные с влиянием сжимаемости воздуха — законы газовой динамики.

Хотя общие законы газовой динамики были сформулированы еще в XVIII веке, их конкретные формы до этих пор были мало изучены. Экспериментальные исследования в аэродинамических трубах и приближенные теоретические оценки указывали, что при приближении к скорости звука сопротивление

XX век принес новые

самолета может возрастать в несколько раз. На пути скоростной авиации появился, так называемый, звуковой барьер. К решению проблемы звукового барьера и проблем газовой динамики к этому времени уже были привлечены виднейшие механики мира и большие коллективы ученых. Наряду с разработкой теории были приняты серьезные меры по созданию больших и дорогостоящих аэродинамических труб с околосвуковой скоростью потока. Работы по изучению околосвуковых режимов обтекания усиленными темпами велись во многих крупнейших лабораториях разных стран. Борьба за превосходство авиации в воздухе, борьба за максимальную скорость самолета, делала эти исследования очень актуальными и напряженными. Первыми не выдержали немцы. Они стремились к быстрой победе в развязанной ими второй мировой войне. Они пытались преодолеть звуковой барьер и завоевать небо на самолетах старой аэродинамической формы. Преодолеть звуковой барьер в лоб. Преодолеть его за счет существенного увеличения тяги двигателей, путем применения дополнительных, крайне не экономичных жидкостно-реактивных двигателей. Преодолевав огромное сопротивление, самолет врезался в волновой кризис, терял устойчивость и сваливался в неуправляемое пикирование. Катастрофа за катастрофой. Немцы потеряли с десятком первоклассных летчиков и прекратили бессмысленные затеи...

Однако борьба за преодоление звукового барьера шла с неослабевающим напряжением. Исследования в аэродинамических трубах больших скоростей теоретические изыскания позволили найти новые формы крыла, фюзеляжей и других элементов самолета. Советские авиаторы на самолетах со стреловидными крыльями, разработанными генеральными конструкторами С. А. Лавочкиным, А. И. Микояном, А. С. Яковлевым, впервые в мире успешно преодолели звуковой барьер и вышли на сверхзвуко-

В. В. СТРУМИНСКИЙ,
академик, директор Института теоретической и прикладной механики СО АН СССР.

МЕХАНИКА XX века

вые скорости полета. Теперь отечественные и зарубежные самолеты беспрепятственно проходят звуковой барьер и выходят на скорости, в два-три раза превышающие скорость звука.

Успешное развитие сверхзвуковой авиации и ракетной техники создало благоприятные условия для бурного развития космической техники. Как известно, космический корабль проходит всю толщу земной атмосферы. Особенно сложные условия складываются при посадке его на Землю. Существует очень узкий коридор (диапазон параметров траектории), по которому космический корабль может безопасно вернуться на Землю. Поэтому необходимы очень точные данные по аэродинамическим силам, действующим в верхних слоях атмосферы на корабль, и очень высокие требования к системам наведения и управления. Однако законы классической аэродинамики больших скоростей не применимы к верхним разреженным слоям атмосферы. Здесь действуют свои, еще не познанные человечеством законы аэродинамики разреженных газов.

Интересно отметить, что эти законы могут быть получены с помощью кинетического уравнения, написанного еще в конце прошлого века немецким ученым Больцманом. Многие известные математики в начале нашего века испытывали свои силы и способности, пытаясь решить уравнение Больцмана. Однако это не удалось сделать даже известному математику Гильберту. Интерес к кинетической теории и уравнению Больцмана возобновился лишь в середине нашего века в связи с развитием космической техники. К этой проблеме вновь привлечены крупные коллективы ученых. Эта проблема должна быть и будет решена в ближайшие годы. В космос должны быть проложены широкие дороги, а не узкий коридор. Наряду с разработкой аналитических методов решения уравнения Больцмана широко используются электронно-вычислительные машины и создаются специальные вакуумные аэродинамические трубы и установки с широким диапазоном скоростей потока, моделирующим условия входа в атмосферу. В теоретическом отношении проблема оказалась настолько сложной, что пока основные данные по обтеканию космических кораблей в верхних слоях атмосферы получены на основе экспериментальных материалов в специальных аэродинамических трубах и установках с последующим пересчетом на натурные условия.

Как видно из приведенных примеров, XX век выдвинул на передний план целый ряд новых проблем механики и потребовал глубокой разработки их в

кратчайшее время. Успешное решение этих проблем оказалось возможным в результате привлечения больших коллективов научных сотрудников и крупных ученых, в результате всесторонних теоретических и экспериментальных исследований. Важнейшее значение сыграла созданная в свое время необходимая экспериментальная база. В наше время разработка крупных проблем механики, как, впрочем, и других отраслей науки, возможна лишь в результате коллективного труда ученых различного профиля. Век гениальных одиночек давно прошел.

Во второй половине XX века потребуются дальнейшая концентрация научных сил на важнейших проблемах механики, более внимательное отношение к созданию экспериментальной базы для перспективных исследований и потребуются переброска ученых с одних научных проблем механики на другие, более актуальные.

Вторая половина XX века будет связана с решением ряда научных проблем механики, которые в значительной степени определят технический прогресс во многих отраслях промышленности. Главное направление будет связано с переходом во всех областях механики от феноменологических методов механики сплошных сред к статическим методам описания на молекулярном уровне. Эти методы получат дальнейшее развитие для плотных газов, жидкостей и твердых тел с учетом квантовой структуры молекул и атомов. Наибольшие продвижения будут получены при построении теории плазмы.

Теперь мне хочется остановиться более подробно на некоторых проблемах, относящихся к аэродинамике, непосредственно к моей специальности и к основному направлению работ нашего института.

Одна из таких проблем, над которой работает наш институт, связана с сопротивлением, вызванным вязкостью воздуха и турбулентностью потока. Эта проблема разработана совершенно недостаточно, она содержит в себе еще нетронутые резервы. От использования их в ближайшие годы будет зависеть прогресс многих отраслей науки и техники, в том числе авиационной. Особенно неблагоприятно обстоит дело с исследованием турбулентных течений газа. Хорошо известно, что турбулентные движения являются наиболее распространенным видом движения материи. Они существуют в далеких туманностях, в межзвездном пространстве, в атмосферах Солнца, Земли, Венеры, в океанах и морях. Турбулентное движение играет огромную роль во многих энергетических, химических и даже биологических процессах. Однако, несмотря на такое широкое распространение, этот вид движения материи еще не понят и не поддается теоретическому описанию, несмотря на огромные усилия крупнейших математиков и механиков.

В конце прошлого века известный ученый Рейнольдс получил систему уравнений для описания турбулентных течений газа. Но эта система была незамкнутой, она содержала ряд неизвестных функций. В 30-х годах ведущими аэродинамистами Прандтлем и Карманом на основе уникальных экспериментальных исследований Никурадзе были разработаны первые полумпирические теории турбулентности, позволившие рассчитать сопротивление турбулентного трения. Однако эти теории применительно к новым условиям полностью исчерпали свои научные предпосылки. С тех пор было сделано много попыток решить проблему турбулентности. В 1966 году на международном симпозиуме по турбулентности в Киото известный английский ученый Лайтхилл правильно отметил, что кладбище теории турбулентности переполнено до предела, а проблема почти не сдвинута с места.

Для решения этих проблем необходима значительно более глубокая разработка законов аэродинамики вязкой жидкости, чем та, что мы имеем на сегодня. И в первую очередь необходимы новые фундаментальные эксперименты в специальных малотурбулентных трубах.

В нашем институте проделана большая работа по созданию первых в Сибири малотурбулентных труб с околосвуковой и гиперзвуковой скоростью потока. В конце прошлого года закончены строительные и монтажные работы и начаты первые экспериментальные исследования в новых трубах. Наряду с развитием экспериментальной базы и совершенствованием измерительной техники в институте проводятся теоретические исследования по данной тематике.

В проблемах течения вязкого газа огромную роль играет теория устойчивости. Как известно, она играет большую роль и в теории плазмы. В свое время теория устойчивости наложила запрет на работы по управляемой термоядерной реакции. Этот запрет, как мне кажется, еще пока не снят. Вот для того, чтобы теория устойчивости не наложила запрет на наши работы по увеличению аэродинамического качества, мы уделяем ей большое внимание.

1. Анализ американских экспериментальных материалов в бестурбулентных трубах показал, что классическая линейная теория устойчивости расходится с этими экспериментами почти на два порядка — в 50 раз. Для объяснения этой разницы в институте были проведены исследования по разработке нелинейной теории устойчивости. При применении модифицированного метода Пуанкаре были построены равномерно точные приближения. Оказалось, что возмущения вовсе не растут по экспоненте, как предсказывает линейная теория, а стабилизируются к новым ламинарным течениям.

Так, в нашем институте разработана теория переходных режимов течения, о которой догадывался в свое время Ландау. Эта теория будет подвергнута тщательной проверке в наших малотурбулентных трубах.

(Продолжение на 4-й стр.).

направления в развитии механики

МОДЕЛИРОВАНИЕ В АЭРОДИНАМИКЕ БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ исследования сыграли исключительную роль в развитии газовой динамики и понимании основных принципов физических явлений. Однако аналитические и численные методы решения многих конкретных проблем аэродинамики встречаются с непреодолимыми математическими трудностями. Несмотря на ряд выдающихся достижений, эти методы не позволяют решать задачи обтекания тел сложной конфигурации. Вместе с тем мы являемся свидетелями непрерывного прогресса науки и техники, в частности, авиационной и космической, который был бы невозможен без экспериментальных методов исследований. Ярким примером является проблема звукового барьера, с которой наука столкнулась в послевоенное время. Решением этой проблемы занимались самые крупные теоретики. Однако решающие результаты были получены только после создания специальных трансзвуковых аэродинамических труб, исследования в которых позволили быстро преодолеть звуковой барьер. Теоретически эта проблема не решена полностью и сейчас. По мере освоения гиперзвуковых и орбитальных скоростей все больше возрастает значение экспериментальных исследований в лабораторных условиях. Известно, что при создании сверхзвукового самолета Ф-111 с изменяющейся стреловидностью было затрачено 12.000 часов на испытания в различных аэродинамических трубах. Для выполнения этой программы восемь крупных аэродинамических труб должны работать в течение целого года.

Эксперименты в натурных условиях трудны, дороги, а зачастую вообще невозможны. Поэтому прибегают к моделированию, основной смысл которого заключается в том, что по результатам исследования моделей можно судить о характере явления и величинах в натурных условиях. Переход от результатов модельных испытаний к натуре осуществляется с помощью критериев подобия. Одним из основных критериев является число Рейнольдса (Re), которое характеризуется отношением сил инерции к силам вязкости. Для дозвуковых скоростей число Re оказалось важнейшим критерием динамического подобия. При приближении к звуковой скорости сжимаемость воздуха становится существенной, и важнейшим критерием становится число Маха (M), равное отношению скорости газа к скорости звука. Так, современные околозвуковые пассажирские самолеты летают при $M=0,8-0,9$. Осваиваются сверхзвуковые скорости, соответствующие $M=2-2,5$. Первая и вторая космические скорости соответствуют $M=25$ и 35 . Все летательные аппараты должны проходить диапазон от взлетно-посадочных скоростей до максимальных. Весь этот диапазон необходимо моделировать во время экспериментов. Хотя числа Re и M имеют преобладающее значение в большинстве до- и сверхзвуковых аэродинамических задач, часто оказывается необходимым соблюдение и других условий. Например, при решении ряда тепловых задач необходимо моделировать температуру тормо-

жения, до которой нагрелся бы набегающий поток, если его затормозить без потерь. Для изучения течений непосредственно вблизи поверхности тел (в пограничном слое) играет важную роль степень турбулентности потока. В зависимости от специфики задачи могут привлекаться и другие критерии подобия.

Наиболее распространенными инструментами экспериментальной аэродинамики являются аэродинамические трубы. В них неподвижная модель обтекается потоком газа с заданными параметрами. Силы и моменты, действующие на модель, обычно измеряются специальными аэродинамическими весами. При этом измерения ведутся в быстром темпе с высокой точностью. Модель устанавливается на весы с помощью подвесных устройств, которые, находясь в потоке, могут искажать картину обтекания. Исключение влияния подвесных устройств всегда было проблемой для экспериментаторов, которая решается с большими трудностями. В связи с этим во Франции была даже разработана магнитная подвеска, в которой модель удерживается в потоке посредством магнитных сил. При этом аэродинамические силы определяются по требуемой напряженности магнитного поля. Сверх- и гиперзвуковые трубы оснащаются оптическими приборами Теллера и интерферометрами, которые позволяют непосредственно наблюдать скачки уплотнения и картину обтекания.

Поток газа в рабочих частях аэродинамических труб создается перепадом давлений, который при транс- и малых сверхзвуковых скоростях обеспечивается вентилятором, а при больших сверхзвуковых — баллонами со сжатым воздухом. Разгон газа до требуемой скорости осуществляется в специальных соплах. При этом внут-

ренняя энергия газа переходит в кинетическую, и температура падает. При числах M свыше четырех требуется подогрев, чтобы избежать конденсации воздуха. Подогрев создает много трудностей, связанных с теплостойкостью нагревательных элементов и проблемой охлаждения конструкций. Числа M выше десяти вынуждают переходить от электрических нагревателей сопротивления к плазменным. Таким образом, в настоящее время в аэродинамических трубах с подогревом можно получить числа M до шестнадцати. Если же применять гелий, имеющий низкую температуру конденсации, то можно получить числа M до 40. Однако гелий существенно отличается по своим свойствам от воздуха. Поэтому гелиевые трубы имеют большое значение для развития теории, но их нельзя использовать для решения большинства прикладных задач. Целый ряд проблем при больших гиперзвуковых скоростях можно исследовать с помощью импульсных и ударных труб. Поток в них создается посредством электрического разряда или ударной волны. Таким образом, можно получить числа M до 30 при высоких температурах торможения. Недостатком труб такого типа является малое время работы, равное 0,01—0,1 сек.

Современная газодинамика изучает течение газа в очень широком диапазоне. В экспериментальных установках одного типа невозможно воспроизводить всю гамму требуемых параметров. Поэтому для моделирования натурных условий применяются аэродинамические трубы разных типов.

При создании аэродинамических труб ученым и инженерам приходится решать

сложный комплекс научно-технических вопросов. От степени совершенства аэродинамических труб, от возможности воспроизводить в них необходимые критерии подобия зависит совершенство будущих летательных аппаратов.

В развитых капиталистических странах уделяется очень большое внимание созданию экспериментальной аэродинамической базы. Например, в США функционируют более 200 крупных аэродинамических труб различных типов, на что истрачено миллиарды долларов. Эта мощная аэродинамическая база создана по инициативе крупнейшего аэродинамика Т. Кармана. В связи с новыми проблемами газовой динамики характеристики существующих аэродинамических труб оказываются недостаточными. Поэтому американские ученые разработали программу реконструкции ряда существующих экспериментальных установок и создания новых аэродинамических центров с экспериментальной базой, соответствующей решению новых проблем.

Пуск каждой новой аэродинамической трубы, расширяющей область доступных для исследований параметров, позволяет существенно продвинуться вперед. Это событие подобно пуску нового ускорителя в ядерной физике, который обычно сопровождается целым каскадом научных достижений.

Для решения ряда проблем газовой динамики в нашем институте в 1967 году создана первая в Сибири большая сверхзвуковая аэродинамическая труба. По своим характеристикам она не уступает лучшим мировым образцам установок такого типа. Отличительной особенностью этой трубы является повышение числа Re , что позволяет моделировать широкие диапазоны натурных условий. Все это позволяет производить фундаментальные научные исследования. Например, взаимодействие удар-

ных волн с пограничным слоем, срывных течений, исследование аэродинамических характеристик и интерференции частей летательных аппаратов, ламинаризация турбулентного пограничного слоя и др.

Аэродинамическая труба оснащена весами с автоматической перфорацией результатов измерений. В настоящее время создается система непосредственного ввода экспериментальных данных в электронную машину с обработкой и выдачей результатов непосредственно во время эксперимента. Такой комплекс (аэродинамическая труба + электронночислительная машина) позволит ученым быстро и с высокой точностью решать задачи обтекания тел произвольной формы.

В настоящее время ведутся работы по расширению диапазона чисел M с 4-х до 7, что существенно увеличит экспериментальные возможности этой установки.

Для исследования проблем обтекания тел при числах M до 15 ученые и конструкторы института работают над созданием малой гиперзвуковой аэродинамической трубы с плазменным подогревом. Такая труба позволит решить ряд важных задач газовой динамики.

В последнее время на одно из первых мест выдвинулись проблемы, связанные с течениями в пограничном слое. Экспериментальное исследование этих задач возможно в аэродинамических трубах с малой турбулентностью набегающего потока, приближающейся к характеристикам свободной атмосферы. Только в установках такого типа можно моделировать важное явление перехода ламинарных течений в турбулентные. Созданию малотурбулентных аэродинамических труб уделяется большое внимание в зарубежных странах. Известно, что по инициативе Т. Кармана в Марселе создан специальный институт турбулентности, который располагает несколькими малотурбулентными трубами.

В нашем институте в 1968 г. в отделе, которым руководят Н. Ф. Поляков и В. В. Черных, созданы две уникальные малотурбулентные аэродинамические трубы для исследований в диапазоне скоростей от малых дозвуковых до $M=6$. В настоящее время в них проводятся первые научные исследования.

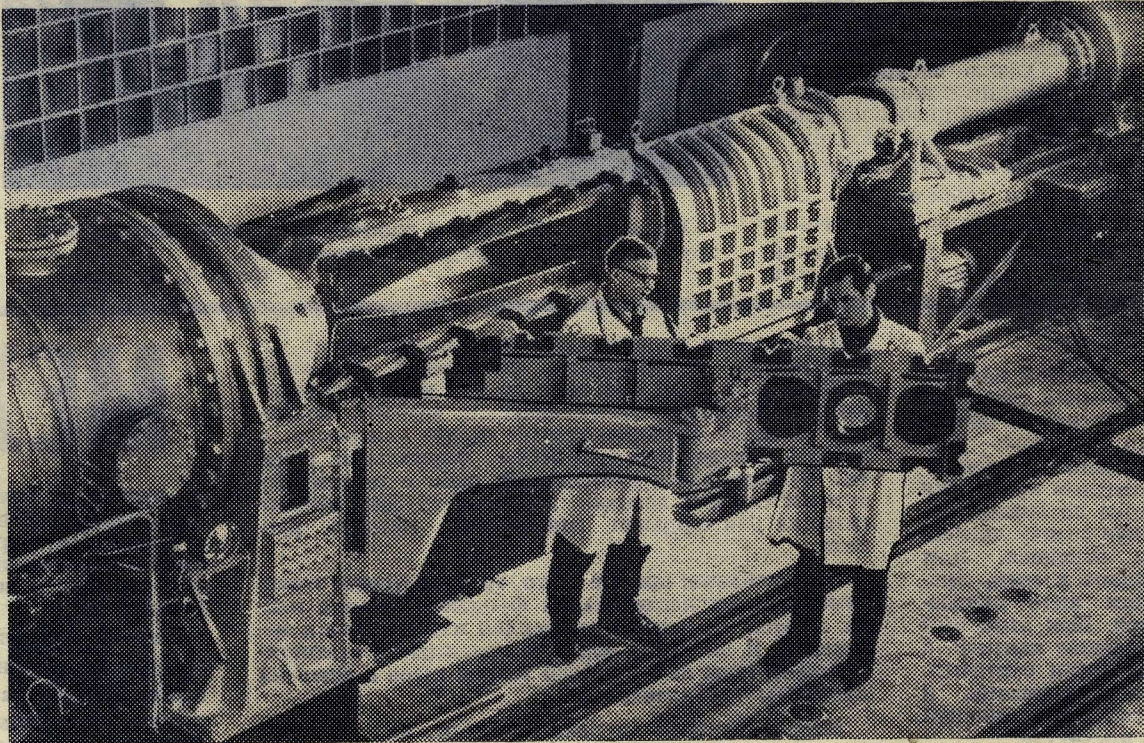
При создании этих установок пришлось преодолеть ряд сложных научно-технических проблем.

Непрерывное развитие авиационной и космической техники выдвигает новые научные проблемы, для решения которых необходимо новое экспериментальное оборудование, моделирующее широкий диапазон натурных условий.

Разрабатывая аэродинамические трубы, необходимо иметь в виду не только интересы ближайшей перспективы, но и создание обширного научного задела. Есть основания считать, что располагая такой экспериментальной базой, ученые института внесут новый вклад в решение фундаментальных проблем механики.

А. ХАРИТОНОВ,
начальник экспериментального отдела.

Г. КЛЕМЕНКОВ,
заместитель начальника экспериментального отдела.



Старшие инженеры А. И. Осадчий и Г. Г. Доронин за подготовкой малотурбулентной сверхзвуковой аэродинамической трубы к эксперименту. Фото А. Зубцова.

ДЕНЬ НАУКИ— ТРЕТИЙ

Техника потребовала

слоя в настоящее время достаточно хорошо развита, то проблемы турбулентного слоя, особенно при больших скоростях, значительно меньше разработаны. Полуэмпирические теории турбулентного слоя в сжимаемой газе используют результаты и допущения, сложившиеся при расчете турбулентного слоя в несжимаемой жидкости (метод Прандтля — Кармана). Такой подход является сугубо приближенным и в настоящее время

ных течений — самой распространенной формы движения жидкостей и газов — занимается большое число ученых в различных научных учреждениях как в СССР, так и за рубежом. На наш взгляд, однако, эти исследования являются разрозненными и недостаточно сконцентрированы на главных направлениях. Для решения проблемы турбулентности необходимы фундаментальные экспериментальные исследования внутренней

структуры турбулентных течений. Такие исследования, например, проводит специальный институт турбулентности во Франции, располагающий для этой цели достаточным числом научных сотрудников, специальными малотурбулентными аэродинамическими трубами и очень точной измерительной аппаратурой. В исследованиях нашего института проблема турбулентности занимает одно из ведущих мест. У нас построены первые в Сибири дозвуковая и сверхзвуковая малотурбулентные аэродинамические трубы, создана уникальная термоанемометрическая аппаратура, пригодная для измерений и при сверхзвуковых скоростях. На решении этой проблемы сконцентрированы усилия нескольких лабораторий института. В частности, в институте проводятся исследования различных вопросов пограничного слоя: его устойчивости, перехода ламинарной формы течения в турбулентную, проблемы ламинаризации, внутренней структуры турбулентного слоя, его интегральных характеристик при больших сверхзвуковых скоростях и др.

Границы устойчивости ламинарного потока определяются по так называемой линейной теории устойчивости, которая хорошо развита для плоско-параллельных течений. Однако даже в этом простейшем с физиче-

ской точки зрения случаевиду больших математических трудностей определение границ устойчивости стало возможным лишь с появлением быстродействующих электронно-вычислительных машин. Научные сотрудники института А. Г. Володин и С. А. Гапонов провели большую серию расчетов на ЭВМ, в результате которых были определены границы устойчивости плоского ламинарного пограничного слоя в любой точке крылового профиля при больших числах Рейнольдса.

В трехмерных течениях процесс потери устойчивости значительно усложняется. В институте проведены теоретические исследования устойчивости пограничного слоя на стреловидных крыльях, вскрывшие ряд интересных особенностей явления, и разработан метод расчета параметров, характеризующих устойчивость в этом случае.

Линейная теория устойчивости описывает только начало перестройки исходного ламинарного потока. Анализ тонких исследований пограничного слоя, проведенных в США в специальной аэродинамической трубе с очень низкой степенью турбулентности потока, показал, что между точкой потери устойчивости и точкой, где наблюдается развитый турбулентный пограничный слой, расположена протяженная зона сложного ламинарного течения. Теоретическое объяснение этого явления дано академиком В. В. Струминским, построившим нелинейную теорию развития возмущений в ламинарном потоке. Результаты этой работы были доложены на XII Международном конгрессе по прикладной механике, состоявшемся в августе 1968 года в Стэнфорде (США). Согласно этой теории, возмущения перестраивают исходный ламинарный поток в новый, также ламинарный, более сложной структуры. Этот последний, в свою очередь, может терять устойчивость и перестроиться в еще более сложный ламинарный поток, и т. д. Ламинарное течение переходит в турбулентное через серию сложных ламинарных течений. Такая картина возникновения турбулентности была предсказана академиком Л. Д. Ландау из интуитивных соображений. В работах института она получила строгое доказательство на основе точных уравнений гидродинамики.

Большое внимание в тематике института отводится вопросам ламинаризации пограничного слоя при сверхзвуковых скоростях. Создана и прошла первые испытания модель прямого крыла с системой отсоса пограничного слоя.

Интересные и полезные исследования сжимаемого турбулентного слоя выполнили молодые научные сотрудники института В. С. Косорыгин, В. Н. Долгов и В. В. Шумский. Они рассчитали сопротивление трения произвольного профиля под углом атаки и исследовали пограничный слой в сверхзвуковом воздухозаборнике.

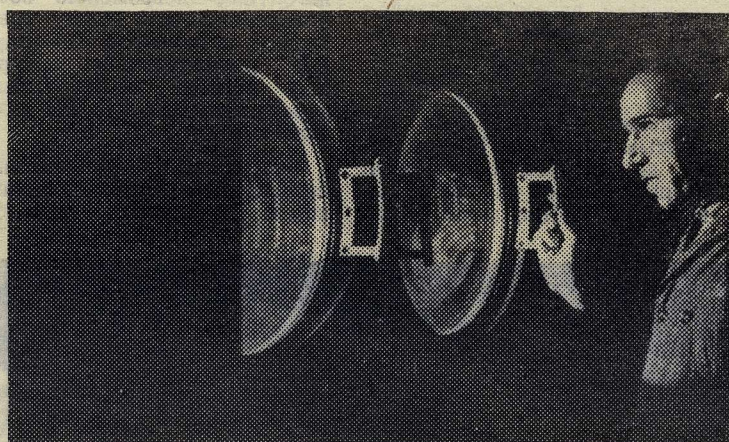
ВЯЗКОСТЬ ПОТОКА

Н. А. ЖЕЛТУХИН,
член-корреспондент АН СССР.
В. М. КОВАЛЕНКО,
В. Я. ЛЕВЧЕНКО,
кандидаты технических наук.

исчерпал свои возможности. Для создания методов расчета гиперзвукового пограничного слоя необходимы новые фундаментальные исследования внутренней структуры пограничного слоя в области больших чисел Маха, а для нужд авиационной техники — и в области больших чисел Рейнольдса. Такие исследования необходимо проводить в аэродинамических трубах с низким уровнем турбулентности потока. Эти трубы являются также единственным инструментом для исследования сложных процессов возникновения и развития турбулентных течений. Внутренняя структура этих течений, в том числе сверхзвуковых, может быть исследована, например, с помощью весьма тонкого прибора — термоанометра.

Существует еще одна проблема, связанная с турбулентностью течений — шум струй, истекающих из сопел реактивных двигателей. При огромной мощности современных самолетных двигателей борьба с шумом — нежелательным проявлением турбулентности — становится задачей, требующей больших усилий ученых.

Исследованиями турбулент-



Инженер Г. Р. Грек у рабочей части аэродинамической трубы во время очередного эксперимента.

Фото А. Зубцова.

ТЕЧЕНИЕ вязкой жидкости существенно зависит от коэффициента вязкости, скорости потока и характерных размеров обтекаемого тела. Эти величины составляют критерий подобия движения вязкой жидкости — число Рейнольдса. При медленном обтекании тел малого размера очень вязкой жидкостью (то есть при малых числах Рейнольдса) силы вязкости проявляются в очень большой области течения. При движении тел больших размеров и при больших скоростях полета в воздухе, вязкость которого очень мала, числа Рейнольдса будут большими. Этот случай имеет наибольшее прикладное значение, в частности, в авиации. Течение в окрестности тела в этом случае можно разделить на две области: на область очень тонкого слоя вблизи тела (пограничный слой), где вязкость играет существенную роль, и на область вне этого слоя, где вязкостью можно пренебречь.

Теория пограничного слоя оказалась чрезвычайно плодотворной и дала мощный толчок дальнейшему развитию теоретических исследований. В настоящее время она является важнейшей составной частью механики жидкости и газа. Теория пограничного слоя позволяет рассчитывать сопротивление трения тела, теплообмен между газом и телом, объяснить возникновение лобового сопротивления, резкое падение подъемной силы при больших углах атаки и многие другие интересные явления.

В зависимости от величины числа Рейнольдса течение в пограничном слое может быть ламинарным или турбулентным. Например, на передней части крыла или фюзеляжа самолета течение, как правило, имеет спокойный, ламинарный характер.

По мере распространения по крылу пограничный слой утолщается, ламинарный режим течения в нем разрушается, и течение становится хаотическим, турбулентным. И силы трения, и теплообмен между газом и телом в турбулентном слое по сравнению с ламинарным возрастают в 5—10 раз. Увеличение сопротивления и нагревания тела в потоке воздуха приводит к усложнениям конструкции, дополнительным затратам мощностей и поэтому являются нежелательными.

Чтобы иметь возможность активно воздействовать на характер течения в пограничном слое, необходимо изучить процесс перехода ламинарного течения в турбулентное. Причи-

ной возникновения турбулентности является неустойчивость ламинарного пограничного слоя по отношению к малым возмущениям, обусловленным какими-либо внешними факторами. Теория гидродинамической устойчивости описывает начальную стадию перехода к турбулентности и характер течения в переходной области. Эта теория указывает методы сохранения ламинарного режима течения в пограничном слое. Она предсказала, что с помощью отсоса части пограничного слоя или путем его весьма глубокого охлаждения можно искусственно затян timer и даже предотвратить переход к турбулентности. Экспериментальные исследования подтвердили практическую осуществимость сохранения ламинарного течения в пограничном слое на небольших моделях, т. е. при числах Рейнольдса, значительно меньших натуральных. Имеются только единичные опыты на режимах, близких к натурным (число Рейнольдса приблизительно равно 30 млн.). В этих опытах выявилась существенная роль пространственного характера течения на стреловидных крыльях, а также роль акустических явлений. Для успешного исследования вопросов сохранения пограничного слоя в ламинарном состоянии при условиях, приближающихся к натурным, необходимы аэродинамические трубы больших размеров и с низким уровнем турбулентности потока. Важность решения проблемы ламинаризации пограничного слоя становится ясной, если учесть, например, что сопротивление трения сверхзвукового самолета больших размеров составляет половину и больше от полного сопротивления этого самолета. Ламинаризация обтекаемой поверхности даст возможность существенно улучшить характеристики самолетов, увеличить дальность и продолжительность беспосадочных полетов. Однако внедрение идеи ламинаризации в жизнь требует еще решения целого комплекса аэродинамических проблем.

На большей части обтекаемой поверхности современных летательных аппаратов пограничный слой является турбулентным. И, если теория ламинарного

в практически полном отсутствии необходимых экспериментальных данных о физической сущности процессов. К этой проблеме до сих пор подходили либо с формально математических позиций, применяя сложный функциональный анализ (например, в работах Хопфа) или еще более формальный аппарат Фейнмановских разложений; либо с инженерно-потребительских позиций, допуская грубые аппроксимации для создания инженерных методов расчета.

Эта проблема, прежде всего, требует тонких экспериментальных исследований фундаментального плана, а затем — совместных усилий математиков и механиков. Я возлагаю большие надежды на статистические методы кинетической теории газов в решении проблемы турбулентности.

Вторая крупная научная проблема, над которой работает наш институт в последние годы, связана с газовой динамикой, аэродинамикой разреженного газа и плазмы. Эта проблема в настоящее время тоже совершенно недостаточно исследована. Она так-

МЕХАНИКА

же открывает большие возможности для дальнейшего совершенствования различных отраслей науки и техники. Эта проблема может быть рассмотрена с единой позиции кинетической теории газов и, в первую очередь, с позиций кинетического уравнения Больцмана.

Хорошо известно, что для нижних слоев атмосферы, для достаточно плотных слоев воздуха, из уравнения Больцмана следуют уравнения классической газовой аэродинамики. Законы классической аэродинамики уже достаточно подробно изучены. Многие весьма интересные задачи обтекания тел простейших форм были исследованы и решены на ЭВМ. Законы обтекания тел сложных конфигураций могут быть изучены лишь в аэродинамических трубах.

(Продолжение. Нач. на 2-й стр.)

2. Представляет исключительно большой интерес теория устойчивости трехмерных течений газа. Эта проблема очень сложна. Недавно в беседах с американскими учеными мы узнали, что они тоже усиленно занимаются ею. Для исследования устойчивости трехмерных течений на стреловидном крыле они воспользовались разложением потока по линиям тока потенциального течения и решали задачу численно на электронно-вычислительных машинах. Нам удалось недавно найти очень изящное и очень простое решение этой задачи и в явном виде определить влияние основных параметров. При этом был обнаружен ряд совершенно неожиданных явлений, а именно: те течения газа, которые всеми считались малоустойчивыми, оказались очень устойчивыми, и наоборот. Великая сила теории устойчивости лишний раз подтвердилась в этих работах института.

В институте проводятся также исследования по разработке общей теории турбулентности. Наш анализ показывает, что основные трудности состоят

глубокого изучения законов механики

ВОЗДУШНЫЙ ОКЕАН И ДИНАМИКА ГАЗОВ

Быстрый прогресс авиационно-ракетной техники после второй мировой войны стимулировал развитие многих наук, среди которых в первую очередь следует назвать газовую динамику — науку, изучающую закономерности и явления в газах, обусловленные большими скоростями движения.

Исторически первые исследования по принципиальным проблемам динамики газов связаны с именами Ньютона, Эйлера. Однако в течение последующих почти двух столетий процесс обогащения новыми результатами этого раздела механики шел весьма медленно и нецелесообразно. Лишь после того как воздушный океан открыл человеку свои просторы, наука о движении газов получила четкую ориентацию и нашла свой неистощимый источник проблем. Резкое увеличение фронта исследований работ по газовой динамике во всех высокоразвитых странах мира было связано с бурным развитием скоростной авиации и ракетной техники. В этот же период выполнено большое количество фундаментальных работ по аэродинамике и завершено формирование газовой динамики как самостоятельной науки, которая сейчас находится в процессе своего дальнейшего развития. Одной из ярких и характерных страниц, теперь уже истории газовой динамики, является штурм так называемого «звукового барьера», то есть совокупности кризисных явлений при околозвуковых скоростях полета (резкий рост сопротивления, потеря управляемости, устойчивости и т. д.). «Звуковой барьер» был преодолен совместными усилиями ученых экспериментаторов и теоретиков. Само понятие барьера исчезло. Однако еще очень рано говорить о том, что нет больше трудностей и проблем, связанных с прохождением сверхзвуковыми самолетами околозвукового интервала скоростей. Здесь сохраняется большой простор для интересной и важной исследовательской работы, особенно в теоретическом плане.

При околозвуковых и сверхзвуковых скоростях полета все основные свойства летательного аппарата становятся сильно зависящими от сжимаемости воздуха. Эффекты сжимаемости газовой среды предъявляют свои особые требования в отношении выбора аэродинамических форм крыльев и летательных аппаратов в целом. При сверхзвуковых скоростях полета резко изменяется даже качественная картина обтекания твердых тел внешней газообразной средой. Возникают новые специфические явления, свойствен-

ные только сверхзвуковым потокам газа. Среди этих явлений в первую очередь нужно назвать ударные волны — тонкие образования, на которых практически мгновенно, скачкообразно изменяются плотность, давление, температура, скорость и другие газодинамические параметры. При прохождении газа сквозь фронт ударной волны совершаются процессы с необратимыми потерями механической энергии. Поэтому всякая ударная волна является источником дополнительного и, как правило, весьма большого сопротивления движению тела, так называемого волнового сопротивления. Стремление снизить величину этого сопротивления приводит к необходимости изыскания новых, не похожих на прежние, внешних форм летательных аппаратов, особенно при гиперзвуковых (то есть очень больших сверхзвуковых) скоростях полета. Процесс совершенствования аэродинамических форм скоростных самолетов и ракет еще очень далек от завершения.

Принципиально возможно значительно снизить волновое сопротивление тел сложной конфигурации. Классическим примером является биплан Буземана, у которого взаимное расположение профилей и их форма таковы, что у биплана в целом волновое сопротивление равно нулю. Этот пример наглядно показывает, что за счет интерференции можно значительно снизить волновое сопротивление такого сложного по своей конфигурации тела, каким является современный самолет. Но биплан с нулевым волновым сопротивлением не имеет подъемной силы, а реальный самолет должен создавать такую силу, поскольку без нее невозможен управляемый полет. Проблема интерференции состоит в исследовании влияния взаимного расположения отдельных элементов, соединенных в единую конструкцию на аэродинамические характеристики системы в целом. Выяснение законов интерференции усложняется тем, что с изменением скорости полета меняется и характер взаимодействия отдельных элементов.

В нашем институте разрабатываются методы расчета интерференции элементов летательных аппаратов на больших скоростях. Сове-

М. Ф. ЖУКОВ,
член-корреспондент
АН СССР, зам. директора
института.

В. Г. ДУЛОВ,
кандидат физико-математических наук, начальник
отдела.

менная вычислительная техника открывает широкие возможности для исследований по этой проблеме. Однако даже ЭВМ часто не способны преодолеть трудности, связанные с реализацией теоретических методов, и экспериментальное изучение характера взаимодействия различных комбинаций элементов летательных аппаратов становится необходимым для выяснения основных закономерностей этого явления. Такие исследования проводятся в сверхзвуковой трубе института.

При больших сверхзвуковых скоростях полета возникают сложные газодинамические проблемы, связанные с элементами двигательной установки (сверхзвуковой диффузор, камера сгорания, сопло).

Для обеспечения сгорания топлива и подвода энергии к газу необходим процесс сжатия газа, то есть торможение сверхзвукового или гиперзвукового потока. Этот процесс совершается в сверхзвуковом диффузоре (воздухозаборнике) с неизбежными энергетическими потерями. После подвода энергии к газу в камере сгорания последний сно-

ва разгоняется в сопловом аппарате. Эффективность обоих элементов двигательной установки на различных режимах полета оказывается чрезвычайно важной, определяющей характеристики всей установки, в частности, ее экономичность. Это связано с тем, что по мере увеличения скорости тяга двигателя представляет собой все меньшую и меньшую разность между количествами движения входящего и выходящего потоков. Последнее обстоятельство таит в себе опасность превращения двигателя в устройство для бесполезного нагрева газа без создания тяги. Этим объясняются непрерывные поиски в течение последних двух десятилетий рациональных форм воздухозаборников и сопел. Проблема становится еще более актуальной по мере приближения к гиперзвуковым скоростям полета в атмосфере из-за резкого увеличения габаритов систем забор воздуха и выхлопа, поскольку гиперзвуковой полет должен происходить в относительно разреженных слоях атмосферы.

В настоящее время научными сотрудниками института разрабатываются методы подхода к расчету и созданию высокоэффективных многорежимных воздухозаборников. На ЭВМ проводятся расчеты оригинальных схем сверхзвуковых и гиперзвуковых диффузоров. В большой аэродинамической трубе про-

водятся модельные исследования с целью отыскания оптимальных вариантов. Успех решения проблемы в этой области будет в значительной степени определяться гибким сочетанием теоретических исследований с экспериментом.

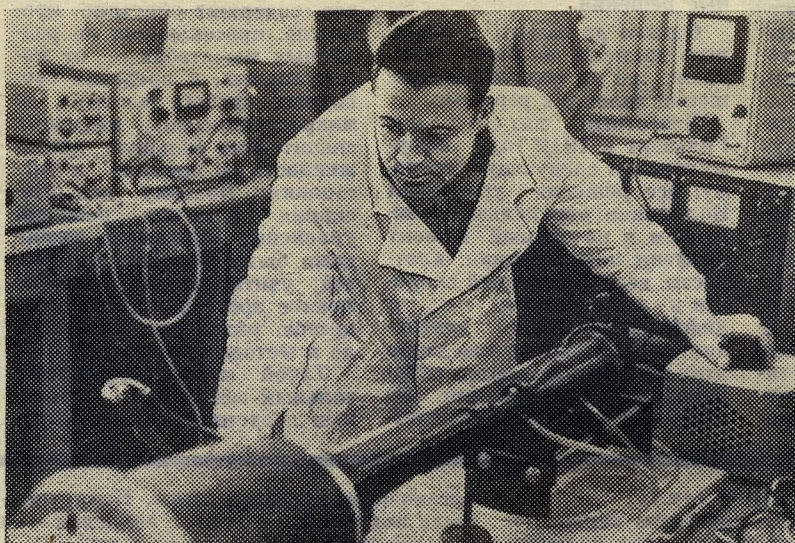
Еще одна интересная газодинамическая проблема привлекает внимание ученых в последние годы: исследование сверхзвуковых и гиперзвуковых струйных течений газа. Область приложенных результатов исследований весьма обширна. Эффективность двигательной установки, условия старта с наземного оборудования или со спутника, процессы разделения ступеней — типичные вопросы, требующие качественного и количественного анализа струйных течений со сверхзвуковыми скоростями. В процессе исследования выявляются интересные и неожиданные эффекты, связанные, например, с потерей устойчивости стационарных режимов, причем нередко даже принципиальная трактовка причинных связей оказывается затруднительной.

Некоторые задачи этой большой проблемы решены теоретически с помощью нового метода исследования осесимметричных сверхзвуковых и гиперзвуковых течений, разработанного в институте. Сверхзвуковая струя даже при стационарном режиме представляет сложное газодинамическое явление, требующее дальнейшего теоретического и экспериментального изучения.

Сказанное выше, естественно, не исчерпывает перечень актуальных проблем газовой динамики.

Для решения широкого круга вопросов в газовой динамике необходимы высококвалифицированные специалисты, которых готовят, в частности, кафедра газовой динамики Новосибирского Государственного университета.

Базовым институтом для кафедры является Институт теоретической и прикладной механики СО АН СССР. Все профессора и преподаватели кафедры являются сотрудниками этого института. Институт располагает хорошей современной экспериментальной базой. Начиная с 3-го курса студенты, специализирующиеся на кафедре, помимо обычных учебных занятий несколько дней в неделю работают в лабораториях под руководством квалифицированных научных работников. Как правило, дипломные работы выполняются в рамках тематических исследований, которыми занимается институт. После защиты дипломных работ и окончания университета специалисты по газовой динамике в большинстве случаев направляются в исследовательские институты.



Старший инженер А. М. Якушев за тарировкой термоанемометра.

Фото А. Зубцова.

XX века

В результате огромных усилий коллектива нашего института в Академгородке в 1967 году была пущена первая в Сибири крупная сверхзвуковая аэродинамическая труба. Сейчас в этой трубе максимальная скорость потока достигает 4500 километров в час. В ближайшее время она будет увеличена до 8500 километров в час. Труба оборудована уникальными автоматическими быстродействующими весами с выходом информации на машину «Минск-22», что позволяет получать обработанные материалы во время испытаний.

В сверхзвуковой аэродинамической трубе начаты исследования проблем современной газовой динамики, связанных с интерференцией крыла, фюзеляжа и других элементов самолета, с торможением

газа перед заборниками воздуха, с истечением газовых струй. Так обстоит дело с изучением законов аэродинамики в низших, достаточно плотных слоях атмосферы.

Однако на высотах выше 50—60 километров эти законы непригодны, они существенно изменяются. Исследование их может быть осуществлено только на базе решений уравнения Больцмана. Было предложено несколько методов решений этого уравнения, но эти методы приводят к различным результатам. Каким методом следует пользоваться, вопрос оставался открытым.

Недавно в нашем институте закончено исследование этой проблемы и построено полное решение (задача Коши) уравнения Больцмана. Эти результаты были доложены на III Всесоюзном съезде механиков в Москве 1968 года и на Международном симпозиуме по аэродинамике разреженных газов в Бостоне (США) в 1968 году. Было показано, что уравнение Больцмана обладает весьма любопытным свойством быстро «забывать» начальную информацию, и

это позволит воспользоваться законами классической газовой динамики до высот полета порядка 70—80 километров. Правда, на этих высотах нужно несколько изменить граничные условия, уточняя законы взаимодействия молекул с поверхностью корабля.

На еще больших высотах полета картина совсем мрачная. Здесь пока никто не может предложить метода решения этого премудрого уравнения Больцмана. Зато на достаточно больших высотах полета порядка 120—130 километров, когда газ совсем разрежен, законы обтекания тел утрачиваются сами собой. Здесь нет нужды искать решений уравнения Больцмана. Молекулы воздуха движутся независимо друг от друга. Однако, соударяясь с телом, они тормозят его и нагревают. Силы, действующие на спутник, зависят от законов взаимодействия молекул с его поверхностью. От этого зависят продолжительность жизни спутника, температура его поверхности и траектории полета. Эти законы сложны и определяются

(Продолжение. Нач. на 2 стр.).

Сложные проблемы выдвинули

ДЕНЬ НАУКИ-ТРЕТИЙ

ВТОРАЯ половина двадцатого века вполне обоснованно может быть названа веком авиации и космонавтики. Блестящие достижения в этих передовых областях современной техники стали возможными благодаря большим успехам, достигнутым в последние десятилетия в развитии ведущих направлений науки, и, в первую очередь, — аэродинамики.

Классическая аэродинамика, теоретические основы которой были заложены еще в XVIII веке, за последние пятьдесят лет добилась выдающихся результатов, — применение численных методов с использованием ЭВМ и экспериментальные исследования в аэродинамических трубах позволяют в настоящее время решать практически все задачи по определению аэродинамических характеристик тел в сплошной среде.

Однако в последнее время, благодаря исключительно быстрому темпу развития высотной авиации и космонавтики, возможности применения классической аэродинамики для обеспечения дальнейшего прогресса техники были исчерпаны. Возросшие возможности современной авиации вышли за рамки применимости основных положений классической аэродинамики. Уже на высотах, равных 50—60 километрам, там, где сегодня летают экспериментальные самолеты, а завтра будут летать пассажирские гиперзвуковые лайнеры, воздух нельзя считать сплошной средой. Космические аппараты при их старте и возвращении на землю проходят всю толщу атмосферы до высот 200—400 километров и более, где воздух настолько разрежен, что размеры летательных аппаратов становятся сравнимыми с длиной сво-

вии получила название парадокса Гильберта. И вот почему. Независимой переменной в уравнении Больцмана является функция распределения молекул по скоростям. Для ее определения необходимо, строго говоря, задать бесконечную совокупность макроскопических величин (таких, как плотность, средняя скорость, температура газа и т. д.). Гильберт же утверждал, что для этого достаточно лишь первых пяти величин.

Это и другие противоречия в методике Гильберта побудили ученых искать новые способы решения уравнения Больцмана. Эנסког, а затем Чепмен развили метод, основанный на довольно искус-

ственным. Им было показано, что по истечении короткого промежутка времени (порядка нескольких свободных пробегов) все решения уравнения Больцмана приближаются к решениям уравнений газовой динамики и, действительно, определяются заданием в начальный момент плотности, средней скорости и температуры газа. Однако для отыскания решений на малых промежутках времени необходимо задать начальную функцию распределения молекул по скоростям. Таким образом, был разрешен парадокс Гильберта и получена последовательность макроскопических уравнений относительно плотности, средней

не реализуются и необходимо рассматривать все процессы, сопровождающие взаимодействия отдельных молекул с поверхностью обтекаемого тела. Эти процессы очень сложны и их теоретическое описание, ввиду явного недостатка сведений из смежных областей науки — физики твердого тела, физической химии и т. д., — пока не входит в рамки полумпирического моделирования. Поэтому исключительно большое значение приобретают экспериментальные методы изучения взаимодействия молекул газа с поверхностями твердых тел.

Для проведения таких исследований в Институте теоретической и прикладной ме-

ВЫСОТНАЯ АЭРОДИНАМИКА

бодного пробега молекул.

Какие же законы аэродинамики справедливы на этих высотах, каким образом необходимо решать задачи аэродинамики, когда газ перестает быть сплошной средой? — Решение этих фундаментальных вопросов аэродинамики является основным содержанием молодой, быстро прогрессирующей науки — динамики разреженных газов. Научные основы динамики разреженных газов были заложены еще в прошлом веке в работах Максвелла и Больцмана. Используя методы статистической механики и учитывая характер взаимодействия отдельных частиц газа, Больцман получил нелинейное интегродифференциальное уравнение, которое описывает все процессы в газе на молекулярном уровне. Кинетическое уравнение Больцмана настолько сложно, что потребовалось несколько десятилетий, прежде чем были получены его первые приближенные решения.

Однако до самого последнего времени не было ясно, какие же из полученных решений являются верными.

Известный математик Гильберт в 1912 году сформулировал следующую теорему: все решения уравнения Больцмана определяются заданием в начальный момент времени пяти величин: плотности, вектора средней скорости и температуры газа, а дифференциальные уравнения, определяющие поведение этих величин, являются неоднородными уравнениями Эйлера. Эта теорема впослед-

ственном разложении производных по времени, в результате которого из уравнения Больцмана в первом приближении были получены уравнения газодинамики, учитывающие вязкость и теплопроводность газа — эти уравнения в точности совпали с ранее известными уравнениями Навье-Стокса.

Американский ученый Грэд предложил свой оригинальный метод, долго считавшийся универсальным. Метод Грэда приводил к исключительно сложным уравнениям газодинамики, в них фигурировали новые величины, физический смысл которых подчас оставался неясным.

Как всегда в науке, обилие различных методов и отличающихся друг от друга результатов свидетельствовало о том, что верное понимание процессов в разреженных газах еще не достигнуто.

Кинетическое уравнение Больцмана, описывая все многообразие в поведении газов, содержит описание процессов, протекающих на различных масштабах — от молекулярных, в пределах свободного пробега молекул, до макроскопических, имеющих значительно большую протяженность во времени и пространстве. Поэтому для отыскания точных решений уравнения Больцмана необходимо было разработать метод, учитывающий одновременное протекание этих процессов, различных по природе и методам описания.

Такой новый, фундаментальный метод был предложен академиком В. В. Стру-

скорости и температуры, которая позволяет описывать течение газов при различных степенях его разреженности.

Значение этих фундаментальных результатов не ограничивается рамками динамики разреженных газов. При описании течений даже в отнюдь не плотных газах, имеющих малый масштаб протяженности, например, в ударных волнах, пограничном слое, мы сталкиваемся с теми же проблемами, что и в динамике разреженных газов. В результате исследований структуры пограничного слоя и его устойчивости, проведенных в Институте теоретической и прикладной механики, было показано, что правильное описание динамики вязкого течения в узком слое вблизи границы тела возможно лишь на уровне кинетической теории газов. Поэтому кинетическую теорию газа можно по праву считать основным теоретическим фундаментом современной аэродинамики.

Однако проблемы динамики разреженных газов не ограничиваются методами решения кинетических уравнений. Одним из важных вопросов является вопрос о граничных условиях, то есть определение параметров течения газов у границы поверхности обтекаемого тела. В классической аэродинамике принималась гипотеза, согласно которой газ «прилипает» к поверхности и его температура у поверхности равна температуре тела. Это допущение справедливо лишь в рамках теории сплошной среды. На самом же деле эти условия

хранили были созданы первые в СССР экспериментальные установки, которые позволяли моделировать взаимодействия высокоскоростных молекулярных потоков с твердыми поверхностями. Экспериментальные исследования в этой новой и мало изученной области значительно сложнее и многообразнее, чем в обычной аэродинамике. Нужно научиться не только создавать в лаборатории условия высокого и сверхвысокого вакуума и разгонять пучки нейтральных молекул до космических скоростей, но и уметь с высокой точностью регистрировать взаимодействие практически каждой отдельной молекулы. По сложности и технической оснащенности средства экспериментального исследования в динамике разреженных газов могут соперничать с экспериментальными установками в атомной и ядерной физике.

Современная аэродинамика, в особенности ее новое направление — динамика разреженных газов, стала в настоящее время одним из передовых рубежей науки и ее развитию уделяется исключительно большое внимание как СССР, так и за рубежом. В нашем институте ведется широкий круг теоретических и экспериментальных исследований по динамике газов малой плотности, успехи в этих исследованиях помогут существенно ускорить развитие многих важнейших направлений современной техники.

Ю. НАГОРНЫХ,
заведующий лабораторией аэродинамики разреженных газов.

(Окончание. Нач. на 2 стр.).

экспериментально. В институте построена первая в СССР установка с молекулярными пучками большой интенсивности для изучения этих законов. Сейчас закончен первый цикл экспериментальных исследований и получены весьма интересные данные.

К исследованиям по проблемам газовой динамики и аэродинамики разреженных газов близко примыкают работы, проводимые в лабораториях института по магнитной газовой динамике и низкотемпературной плазме.

В институте проведен большой цикл работ по проблемам течения проводящей среды применительно к магнитно-динамическим генераторам. Работа проводилась, главным образом, по принципиальным вопросам теории этих течений и исследованию физической картины течения. Здесь получен целый ряд очень интересных и важных результатов, совершенно необходимых при создании МГД-генераторов.

В последнее время сотрудники нашего института совместно с сотрудниками института академика М. В. Келдыша обнаружили очень интересный новый эффект Т-слоя. Здесь установлены условия, при которых ступок плазмы, входящий в магнитное поле, сильно разогревается до огромных температур.

В институте проведен большой цикл работ по проблемам низкотемпературной плазмы. Работа была сосредоточена на проблеме создания высокоэффективных плазмотронов, которые бы обладали высоким КПД, большим ресурсом, характеризовались бы устойчивой работой. Вокруг этой проблемы был

организован широкий поиск. Наилучшие результаты были получены в схемах с вихревой — воздушной и с магнитной стабилизацией дуги.

В настоящее время институт располагает всем необходимым, чтобы выдать рекомендации по плазмотронам промышленности. Такие рекомендации выданы ряду КБ химической промышленности. Плазмотроны имеют большое значение для создания экспериментальных стендов и аэродинамических труб с большими гиперзвуковыми скоростями.

Наряду с работами по механике жидкостей и газов в институте на протяжении ряда лет проводится небольшой цикл теоретических работ по механике твердого тела.

Здесь получен ряд интересных результатов по моделям упруго-пластических сред и прочности горных пород.

Теперь я остановлюсь еще на одном комплексе фундаментальных научных проблем, с которыми придется встретиться крупным ученым и большим коллективам механиков в ближайшие десятилетия. Эти проблемы также будут порождены дальнейшим развитием и совершенствованием авиационной и космической техники. Чем раньше эти проблемы будут сформулированы, хотя бы в общих чертах, тем быстрее, надежнее и с меньшими затратами они будут решены.

В наше время пассажирская и транспортная авиация с дозвуковой скоростью полета завоевала всеобщее признание и заняла важнейшее место в перевозке пассажиров и грузов. Недавно совершил свой первый полет сверхзвуковой пассажирский са-

МЕХАНИКА

молет ТУ-144. Не вызывает сомнения, что в ближайшие годы сверхзвуковые пассажирские самолеты найдут широчайшее применение на больших трассах мира.

В каком же направлении пойдет дальнейшее развитие авиации? Над этим вопросом механики различных специальностей раздумывают уже много лет. Во многих странах мира ведутся серьезные работы. Проводятся теоретические, расчетные и экспериментальные исследования. Результаты этих исследований со всей определенностью сегодня указывают на возможность создания пассажирского самолета с гиперзвуковой скоростью полета порядка 10 000—12 000 километров в час.

Сегодня уже многое можно сказать об особенностях такого самолета, об его аэродинамической схеме. Отмечу некоторые из них:

1. Вместо обычного турбореактивного двигателя на самолете должен быть применен прямоточный двигатель со сверхзвуковым горением.
2. Вместо обычных керосиновых топлив должны быть применены более эффективные криогенные топлива, например, жидкий водород.
3. Фюзеляж самолета должен быть органически соединен с заборниками воздуха, двигателем и реак-

Авиация, энергетика и космонавтика

ГИПЕРЗВУКОВАЯ ПАССАЖИРСКАЯ АВИАЦИЯ

РАЗВИТИЕ авиации идет по пути непрерывного увеличения скорости полета. Рассматривая этот процесс, можно заметить, что на протяжении не многим более 50-летней истории существования авиации перед учеными и авиационными специалистами не раз возникали сложнейшие научные проблемы, трудность решения которых ставила под сомнение возможность дальнейшего увеличения скорости самолетов.

Успех в решении этих сложных вопросов определялся главным образом тем, насколько готовы были к ним ученые и конструкторы, насколько мощной и перспективной была экспериментальная база для исследований.

С гордостью за достижения советской науки и техники мы можем отметить, что наша авиация оказывалась на высоте положения. Первым в мире вышел на пассажирские трассы турбореактивный дозвуковой самолет ТУ-104, развивавший скорость до 900 км/час, а ныне мы являемся свидетелями нового успеха — 31 декабря 1968 года первым в мире поднялся в воздух пассажирский сверхзвуковой самолет ТУ-144. Скорость его полета будет достигать 2500 км/час. Создание сверхзвуковых самолетов связано с решением весьма сложных проблем. Летные качества такого самолета должны обеспечивать безопасность и экономичность на всех режимах полета, а также на взлете и на посадке. Наряду с этими обычными для пассажирской авиации требованиями здесь появляются и качественно новые дополнительные проблемы, связанные с повышенным аэродинамическим нагревом самолета, а также с так называемым «звуковым ударом» — громopodobными скачками уплотнения в воздухе при полете сверхзвукового самолета. Для обеспечения малых уровней звукового удара требуется оптимальный выбор форм самолета, его веса и траектории полета. В то время как продолжается освоение сверхзвукового этапа в развитии пассажирской авиации, научная мысль уже обращается к новым перспективам. Во всех ведущих странах мира осуществляются работы по созданию гиперзвуковых самолетов со скоростями полета 8000 — 12000 км/час. Создание таких самолетов позволит достигнуть любой точки земного шара за время не более двух часов, причем его экономическая эффективность может быть даже выше, чем у современных реактивных пассажирских самолетов.

С ростом скорости полета все больше становится целесообразным взаимное слияние двигателя и планера самолета. Для

уменьшения сопротивления при сверхзвуковом полете двигатель должен «вписываться» в планер. С другой стороны, размеры воздухозаборника становятся больше поперечных размеров двигателей, и возникает необходимость использовать часть поверхности планера в качестве поверхности воздухозаборника. Аналогичная ситуация имеет место для реактивного сопла. Таким образом, происходит слияние планера с силовой установкой и внешний облик самолета все в большей степени определяется газодинамикой двигателя.

Претерпевает изменения и сам двигатель. Если при дозвуковых и умеренных сверхзвуковых скоростях полета степень сжатия воздуха в воздухозаборнике мала и для обеспечения высокого КПД в турбореактивных двигателях необходимо было применять воздушный компрессор, то при больших сверхзвуковых и гиперзвуковых скоростях полета степень сжатия воздуха в воздухозаборнике становится вполне достаточной и необходимость в компрессоре отпадает. Поэтому на смену основному в настоящее время типу двигателя — турбореактивному придет прямоточный воздушно-реактивный двигатель.

В принципе он весьма прост, состоит из трех основных элементов: воздухозаборника, камеры сгорания и реактивного сопла. Тяга его, как и другого любого двигателя, тем больше, чем

больше тепла подводится к камере сгорания.

Оказывается, однако, что не всегда можно осуществить подогрев за счет сгорания. При достижении определенного уровня скорости полета температура воздуха за счет сжатия в воздухозаборнике становится настолько высокой, что при вводе топлива в камеру сгорания температура конечных продуктов может оказаться даже ниже температуры воздуха на входе в нее за счет диссоциации. В этом случае двигатель не создает тяги. Но ученые нашли путь преодоления и этого «барьера»: было предложено оставить поток сверхзвуковым во всем тракте двигателя, и лишь частично тормозить его перед входом в камеру сгорания. Такой двигатель, получивший в литературе название прямоточного воздушно-реактивного двигателя со сверхзвуковым горением, является, пожалуй, единственно возможным типом двигателя для гиперзвуковых самолетов.

Реализация его поставила перед учеными с особой остротой задачу исследования сверхзвуковых течений в каналах различной формы при наличии тепло- и массообмена и химических реакций. Проблема этого двигателя привлекла внимание многих ученых, и в последние годы мы являемся свидетелями появления в связи с этим большого числа теоретических и экспериментальных работ по смешению и горению в сверхзву-

вом потоке, теплообмену в струйном пограничном слое с химическими реакциями, интерференции скачков в каналах, по методам расчета и экспериментальным установкам для исследования элементов двигателя.

Для исследования этих вопросов в США, например, создана аэродинамическая труба с мощностью плазменного подогревателя воздуха 50 Мвт., начато выполнение программы «Скремджет» по испытанию модели воздушно-реактивного двигателя со сверхзвуковым горением при полетах на экспериментальном самолете X-15.

Следует отметить еще одну проблему — проблему топлива. Из всех химических топлив наибольшей теплотворной способностью обладает водород, и, следовательно, он наиболее выгоден для гиперзвуковых самолетов.

Вместе с тем жидкий водород создает ряд определенных трудностей при использовании его в качестве авиационного топлива. Жидкий водород относится к категории криогенных жидкостей, отличающихся чрезвычайно низкими температурами кипения. Он кипит при температуре около -250°C . К тому же плотность жидкого водорода в 12 раз меньше плотности авиационного керосина. Поэтому для размещения одного и того же весового количества топлива при стоянках на земле и при полете самолета необходима высокоэффективная и в то же время легкая теплоизоляция.

Известно, что в ряде случаев возможно теплоизолировать криогенные топлива с помощью лучших «обыденных» теплоизоляционных материалов типа пенопластов и стекловаты. На основе подобных материалов, например, теплоизолировалось топливо на ракете-носителе «Сатурн-5», обеспечившей выполнение недавнего облета космического корабля «Аполлон» вокруг Луны. Однако при такой

теплоизоляции теплоприток к топливу остается довольно большим, и при полете гиперзвукового самолета топливо будет относительно быстро выкипать.

В то же время уже известны такие средства теплозащиты, как экрановакуумная изоляция. Лучшие образцы ее имеют коэффициент теплопроводности в 1000 раз меньший, чем у привычных нам пенопластов и стекловаты. Такая изоляция сравнительно давно используется в наземных сосудах для длительного хранения и транспортировки криогенных жидкостей. Однако, чтобы сделать ее достаточно легкой — «летающей», нужно решить целый ряд научно-технических задач.

Проблемы, связанные с криогенным топливом, не ограничиваются одной лишь его теплозащитой. Гиперзвуковой самолет на криогенном топливе будет представлять собою сочетание таких термических противоположностей, как сильный нагрев конструкций снаружи и глубокий холод внутри — в топливных отсеках. Здесь потребуются специальные материалы, надежно работающие в столь растянутом температурном диапазоне.

Возможно, что с помощью криогенного топлива будут охлаждаться наиболее теплонеприятные элементы планера и двигательной установки. Здесь потребуются знание законов теплообмена и гидравлики при движении криогенной жидкости и ее паров в каналах, охлаждающих панелях и теплообменниках.

Проблемы, которые необходимо решить, прежде чем гиперзвуковой воздушный транспорт станет реальностью, во многом более серьезные, чем проблемы, стоявшие перед наукой и техникой в период разработки дозвуковых реактивных самолетов.

Однако при современном состоянии науки и техники к решению вышеупомянутых задач могут быть привлечены крупные научно-технические силы, а это вселяет надежду на успешное решение новых задач авиации.

В. БАЕВ, С. КУЦ, В. ЗАТОЛОКА, кандидаты технических наук; **Ю. ЮДИН-ЦЕВ**, заведующие лабораториями.



Старший инженер П. Г. Кирток, начальник экспериментального отдела Н. Ф. Поляков и старший инженер Г. В. Медведев у пульта управления малотурбулентной аэродинамической трубы дозвуковых скоростей.

ТОЛЬКО ФАКТЫ

Институт имеет постоянную связь с 9 ведущими зарубежными научными учреждениями, в том числе с Принстонским университетом, Массачусетским технологическим институтом (США), Национальным институтом аэрокосмических исследований, Институтом турбулентности (Франция) и др.

За последние 3 года институт посетили 19 крупных зарубежных ученых. Многие из них выступили с лекциями и докладами перед сотрудниками Института, в том числе: профессор Триллингер, профессор Валио-Лаурин, профессор Пеннингер (США), профессор Фавр, профессор Крайя (Франция) и др.

XX века

тивными соплами, чтобы обеспечить потребное аэродинамическое качество при гиперзвуковых скоростях полета.

4. На самолете должна быть применена суперизоляция. В частности, внутри водородных баков температура должна быть порядка -253°C , а на внешней поверхности самолета — порядка $+800$ — 1000°C .

Созданию гиперзвукового пассажирского самолета должен предшествовать огромный научный задел по фундаментальным проблемам механики. Вот некоторые из них:

1. Смещение, горение криогенных топлив при сверхзвуковых скоростях с учетом сложных химических реакций.

2. Устойчивость горения при сверхзвуковых скоростях.

3. Интерференция элементов самолета при гиперзвуковых скоростях, проблема аэродинамического качества.

4. Трение и теплоотдача при гиперзвуковых скоростях с учетом процессов диссоциации молекул.

5. Теплозащита элементов конструкции и водородных баков. Эффективность суперизоляции.

Решение этих проблем механики не только по-

зволит создать гиперзвуковую пассажирскую авиацию, но позволит также проложить новую более широкую и более надежную дорогу в космос.

Как известно при старте к другим планетам непосредственно с земного космодрома необходима космическая ракета с колоссальным начальным весом. Вес такой ракеты измеряется тысячами тонн. Ведь на борт ракеты придется взять не только все необходимое для того, чтобы достичь другой планеты, но и стартовое устройство для взлета с этой планеты, топливо для полета туда и возвращения на землю. Такие ракеты представляют собой гигантские сооружения. Еще большие размеры приобретают космодромы и стартовые устройства. В целом вся космическая система, предназначенная для полета к другим планетам, оказывается страшно сложной недостаточно надежной и, конечно, исключительно дорогой.

Вот поэтому весьма заманчивым оказывается другое направление в развитии космической техники с использованием промежуточных орбитальных станций. Сложная операция полета на другие планеты в этом случае как бы расчленяется на ряд более простых операций: полет с земного космодрома к околоземной орбитальной станции, полет с околоземной орбитальной станции на орбитальную станцию другой планеты и т. д.

В этом случае вес ракеты для решения отдельных операций будет много меньше, а система в целом будет надежнее и экономичнее. Транспортировка оборудования, горючего и материалов на склады орбитальной станции может осуществляться на специ-

альных грузовых космических кораблях.

При использовании орбитальных станций открывается возможность отказаться от применения одноразовых ракет с вертикальным стартом для полета в космос и использовать многоразовые самолетные системы для регулярной связи с орбитальными станциями с нормальным взлетом и посадкой на аэродромы. В этом случае самолетная система будет несколько сложнее обычной. Самолет также будет двухступенчатым. Первая ступень будет подобна описанному выше гиперзвуковому пассажирскому самолету, который совершает нормальный взлет с аэродрома, набирает высоту и скорость, разогнавшись до 12—16 тысяч километров в час. На большой высоте от него отделяется вторая ступень, которая движется к орбитальной станции. Гиперзвуковой самолет — самолет-разгонщик, выполнив свою задачу, идет на посадку. Он готов доставить на орбиту новый груз или новую группу космонавтов.

Недавние полеты советских космонавтов на кораблях «Союз-4» и «Союз-5» доказали возможность создания в космосе орбитальных станций, возможность стыковки космических кораблей на орбите, возможность выхода космонавтов в открытый космос для выполнения необходимых работ.

Советские космонавты практически доказали существование новой, более широкой, более надежной и более дешевой дороги в космос.

В освоении ее решающую роль играют те законы механики, которые сегодня уже известны, и те, над которыми усиленно работает большой коллектив ученых-механиков.

ПРОЧНОСТЬ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

ВРЕМЯ предъявляет новые требования ученым и конструкторам. Сегодня необходимо создавать конструкции оптимальных размеров и веса при сохранении их работоспособности в условиях значительных нагрузок и высоких температур. Для того, чтобы отвечать на запросы практики, чтобы решать сложные научно-технические задачи сегодня, необходимо лучше, чем вчера, знать свойства деформируемых материалов, особенности их поведения при больших нагрузках, в т. ч. за пределами упругости. Изучение механических свойств материалов, математическое описание их поведения при нагрузках необходимо для широкого круга прикладных задач — это задачи прочности аэродинамических конструкций, механики горных пород действия взрыва и удара на деформируемые материалы.

В лаборатории механики твердого тела, созданной в Институте теоретической и прикладной механики в 1950—60 годах, разрабатываются новые математические модели твердых деформируемых тел, на основе которых можно рассчитывать поведение конструкций из различных материалов при воздействии статических и динамических нагрузок; к числу таких моделей, которые подвергаются усовершенствованию и получают дальнейшее развитие, относятся, например, упруго-пластические модели твердых тел. Насколько разнообразен и широк круг приложений этих моделей видно хотя бы из некоторых задач, исследуемых в лаборатории.

Первый пример относится к задачам механики горных пород (исторически так сложилось, что первые задачи лаборатории были связаны с проблемой горного давления). Пусть в глубине горного массива для каких-либо технических целей сделана выработка. Под действием силы тяжести горных пород в окрестности этой выработки возникает сложное напряженно-деформированное состояние, количественные характеристики которого зависят от многих физических и геометрических факторов (прочность горной породы, оцениваемая по податливости сдвига и изменению объема; глубина выработки под поверхностью и ее относительные размеры). Известно, что задачи, аналогичные по постановке, являются чрезвычайно актуальными для Кузбасса, например, где дальнейшее повышение добычи угля связано с переходом на глубокие горизонты — в области повышенного горного давления. В лаборатории для расчета напряжений и деформаций в окрестности такой области, как горизонтальная или вертикальная выработка, была применена упруго-пластическая модель горной породы, как сплошной среды. Полученные количественные данные удовлетворительно согласуются с данными наблюдений и находят применение в задачах проектирования подземных сооружений при разработке технологии добычи полезных ископаемых. В этой задаче была применена математическая модель, известная и до работ лаборатории, но детальное исследование математического решения позволило указать целый ряд новых применений полученных результатов. Последние оказались полезными не только в механике горных пород, но и в близких по физической постановке задач геофизики и тектофизики: при относительном перемещении берегов разлома земной коры в ней могут возникать аналогичные «выработки» (уже не пустоты, а области разрыхленного материала), в окрестности которых под действием силы тяжести формируется аналогичное напряженное состояние, как и в рас-

Е. И. ШЕМЯКИН,
доктор технических наук.
В. С. НИКИФОРОВСКИЙ,
кандидат физико-математических наук.

смотренной задаче. Другим, прямым применением является применение полученных результатов в теории хрупкого разрушения твердых тел — при оценке продвижения одиночной трещины в сплошной среде, а эта задача последних лет является одной из основных в теории хрупкого разрушения. Можно было бы назвать и некоторые другие сферы применения полученных результатов, но приведенные достаточно убедительно свидетельствуют о пользе построения математических моделей деформируемых твердых тел.

В настоящее время в теории прочности нет универсальных моделей твердого тела, пригодных при самых различных по величине статических и динамических нагрузках в широком диапазоне температур. Это обстоятельство иллюстрируется вторым примером, в котором, в отличие от первого, рассмотрена динамическая задача, задача о поведении твердого тела при переменных нагрузках, типа удар, взрыв, быстрый нагрев (охлаждение).

Если по поверхности одного тела наносится удар другим деформируемым телом, то в обоих телах от места соударения начинают распространяться волны — состояние сменяется напряжений и деформаций. Волны могут распространяться в твердых телах с высокой скоростью (так, в металлах и прочных горных породах скорости распространения волн достигают величин порядка 5—7 км/сек.). При слабых соударениях тел эти волны являются слабыми, амплитуды механических напряжений в них малы и во многих таких задачах о слабом взаимодействии (или на больших расстояниях от места соударения при сильных взаимодействиях) оказывается вполне пригодной классическая модель упругого тела. При значительных скоростях встречи тел, как это имеет место при ударе метеорита, в месте соударения происходят значительные необратимые изменения, связанные с переходом за предел прочности. Этот факт необходимо учесть при построении математической модели волновых процессов в твердых соударяющихся телах. Изучение динамики таких процессов наталкивается на трудности математического и физического характера: решение задач требует развития математических методов, а постановка задачи — экспериментального исследования свойств твердого тела при высоких давлениях и температурах. Как деформируется материал при прохождении волн с амплитудами вблизи предела прочности, какие необратимые явления могут произойти в нем — все это вопросы, на которые нужно ответить раньше, чем может быть поставлена сложная и конкретная техническая задача. Поэтому исследователи идут двумя параллельными связанными между собой путями — либо ставят специальные опыты для сравнительно простых случаев, либо производят расчеты для целой серии гипотетических моделей явления, из которых опыты выбирает ту, которая правильно и непротиворечиво описывает закономерности взаимодействия тел при ударе (скорости распространения волн, законы затухания амплитуд в волнах и т. д.).

На основе изучения экспериментальных данных о динамическом сжатии твердых тел и исследовании целого ряда математических моделей в лаборатории была разработана модель

твердого тела с трением для описания поведения твердого тела при быстрых динамических нагрузках, по амплитуде превосходящих на порядок предел упругости. Решения конкретных задач на основе этой модели привели к удовлетворительным результатам: теория правильно описывает поведение твердых тел при динамических нагрузках и может быть использована для исследования более сложных явлений, в которых распространение волн играет основную роль. Такой задачей является, например, задача об откольном разрушении: при ударе по пластинке из твердого материала разрушение может развиваться с лицевой и тыльной сторон, хотя в середине пластины материал не разрушен. Численный расчет явления откола включает в себя точное описание затухания волн, падающих и отраженных на поверхности пластины, взаимодействие этих волн и приводит к отмеченным разрушениям. В работах, выполненных в лаборатории, было обнаружено значительное влияние прочности не только на сам процесс разрушения, но и на характер взаимодействия отраженных волн.

Как было отмечено в примерах, разработка и построение математических моделей твердых тел для различных целей невозможны без привлечения экспериментального материала, с одной стороны, и одновременно тесно связаны с развитием математических методов решения уже поставленных задач, с другой — последнее почти очевидно, т. к. в ходе физического обсуждения и математической постановки задачи явление само «подсказывает» возможные упрощения и уточнения в методах решения. Поэтому исследование в лаборатории ведется совместно с научными и производственными организациями, заинтересованными в решении прочностных задач. По этой причине и в силу сложившихся традиционных связей сотрудники лаборатории имеют тесные научные контакты со своими коллегами из учреждений Москвы, Ленинграда, Алма-Аты, Фрунзе, не говоря уже об институтах СО АН, связи с лабораториями которых естественны и наиболее просты организационно. Так, разработка моделей твердого тела проводится в совместных работах с лабораториями Вычислительного центра, Института гидродинамики, Института горного дела СО АН. Тесные контакты с Вычислительным центром сложились также и потому, что построение моделей и разработка методов решения задач тесно связаны (как было отмечено). Среди современных методов решения сложных задач динамической прочности численные методы и применение ЭВМ безусловно становятся преобладающими.

В последние годы лаборатория укрепила свои связи с Новосибирским университетом (кафедра численных методов механики сплошной среды), в лаборатории подготавливаются аспиранты, проходят практику студенты НГУ — специальность «теория упругости и пластичности». За счет привлечения аспирантов и студентов к решению основных задач лаборатории практические возможности лаборатории значительно расширены.

В настоящее время в планах лаборатории — продолжение исследований моделей твердого тела, в основном упруго-пластических моделей для статических и динамических задач, и разработка методов решения конкретных задач для упруго-пластических тел. Вместе со своими товарищами из других институтов СО АН сотрудники нашей лаборатории образуют достаточно прочный и сильный коллектив, способный решать многие важные задачи науки и практики.



Техник экспериментального отдела Н. С. Новоселов готовит модель к испытаниям.

Фото А. Зубцова.

В ЗДОРОВОМ ТЕЛЕ—ЗДОРОВЫЙ ДУХ!

Ежегодно в институте проводятся спартакиады, которые носят подлинно массовый характер. На футбольных, волейбольных, баскетбольных, легкоатлетических, теннисных и шахматных турнирах ведутся жаркие сражения за обладание традиционными трофеями. Основная цель этих соревнований — не воспитание рекордсменов и чемпионов, а привлечение как можно большего числа сотрудников к занятию физической культурой.

Вместе с тем спортивная общественность института смело выходит на соревнования более крупного масштаба. Баскетбольная команда института, например, является в течение трех последних лет бессменным чемпионом СО АН. Футбольная команда — также бывший чемпион среди институтов, и прошлогоднюю неудачу болельщики склонны рассматривать как досадный срыв.

Регулярно участвуют в первенствах СО АН команды института и по другим видам спорта, и часто не без успеха. А сотрудники А. Долгов и Ю. Прудас успешно выступают на соревнованиях всесоюзного масштаба по водным лыжам.

В настоящее время большую популярность получили в институте авиационные виды спорта: планеризм, парашютизм, авиамоделизм. Сотрудники с увлечением занимаются в секциях и выступают в состязаниях.

Легкоатлеты института совместно со спортсменами Института катализа являлись инициаторами развития легкой атлетики в Академгородке и провели легкоатлетический матч по полной олимпийской программе под условным названием «Коррида».

Любители спорта института активно воздействуют и на международный спорт. В частности, В. И. Ядров помог (в качестве болельщика) выиграть первенство мира по хоккею в Вене (Австрия), а Н. Ф. Воробьев участвовал в Олимпийских играх в Мексике (также в качестве зрителя).

МЕХАНИКИ ТОЖЕ ШУТЯТ

ЧТО ТАКОЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТРУБА?

Аэродинамическая труба — устройство, на вход которого подается сжатый воздух, а на выходе получают отчеты, диссертация и... будущие самолеты.

ЗАЧЕМ ИЗОБРЕТАЮТ САМОЛЕТЫ?

С точки зрения аэродинамики, человек — это затупленное тело, имеющее неудачную компоновку, относительно большой стартовый вес и малую тягу. Поэтому его крейсерская скорость настолько мала, что пришлось изобретать самолеты.

МЕХАНИКА, ПРОБЛЕМЫ ГОРОДА И СЕЛА

Создание двигателя на водородопутно решит некоторые проблемы города и села. Автомобиль с таким двигателем не только избавит горожан от загазованности воздуха и смога, но также сделает ненужным огромный парк поливальных машин. Ведь продуктом сгорания водорода является обычная питьевая вода. Тысячи гиперзвуковых самолетов, летящих над бескрайними просторами страны, по той же причине навсегда покончат с угрозой засухи...

И. о. редактора
Т. А. ДРЕМОВА.

АДРЕС РЕДАКЦИИ: Новосибирск-90, ул. Терешковой, 30, комн. 221, тел. 65-09-03.

Тип. «Советская Сибирь».

Заказ 2015. Тираж 3000.