

Известно, что картина обтекания плохообтекаемых тел воздухом весьма осложнется. Так, например, при обтекании водой зону следа, примыкающую к задней стороне тела, можно иногда считать с достаточной точностью областью постоянного давления — относительная устойчивость поверхностей каверн и струй обеспечивается большой разностью плотностей воды, паров и воздуха (критерии течения: число Рейнольдса и число кавитации). В случае воздушных течений это допущение будет весьма приближенным — свободные поверхности раздела легко размываются, легко образуются вихревые течения (критерий: число Рейнольдса и число Маха); таким образом, картина течения оказывается многое сложнее.

Для этого последнего случая в работе не дано четкого описания введенной автором модели диссипатора.

Схема Г. И. Таганова с диссипатором, конечно, искусственна. Однако этот недостаток она разделяет со многими ценных гидродинамическими схемами. Основной принципиальный недостаток предложенной схемы кроется в другом.

Рассматривая схемы: кавитационных течений; обтекания крыла; удара о воду или более общую модель идеальной жидкости (уравнения Эйлера); модель вязкой жидкости (уравнения Навье — Стокса), сразу видно их главное достоинство: точна или неточна любая из перечисленных схем или моделей, но каждая из них приводит к постановке математической задачи, которую можно попытаться решить корректно.

Предложенная схема с диссипатором не приводит к рациональной математической задаче.

Для этой схемы автор использует гипотезы в излишне категорической форме, в оправдание которых приводит недостаточно убедительные доводы из экспериментальных данных и расчетов задач. Поэтому опубликование статьи Г. И. Таганова, посвященной одному из принципиальных вопросов аэрогидродинамики, следует признать недосмотром редакции.

Предоставив Г. И. Таганову право ответа, редакция считает, что первоначальная статья Г. И. Таганова, критическая заметка Г. Ю. Степанова и опубликованное выше письмо Г. И. Таганова содержат достаточно материалов, чтобы заинтересованный читатель составил свое собственное мнение по затронутым вопросам.

## **ЮБИЛЕЙНАЯ НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ОТДЕЛЕНИЯ МЕХАНИКИ И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР, ПОСВЯЩЕННАЯ 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В. И. ЛЕНИНА**

Сессия состоялась 31 марта и 1 апреля 1970 г. в Институте машиноведения (Москва).

Открывая юбилейную научную сессию, академик-секретарь Отделения Б. Н. Петров охарактеризовал выдающуюся роль В. И. Ленина в становлении и развитии наук в СССР, его прозорливость при планировании научного прогресса в неразрывной связи науки с запросами техники и народного хозяйства. Большое непосредственное значение для развития механики в нашей стране имело указание В. И. Ленина об организации Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ) и высокая оценка им заслуг выдающегося ученого-механика Н. Е. Жуковского. Б. Н. Петров отметил большое повседневное внимание, уделяемое нашей партией и правительством научным исследованиям, в частности исследованиям по механике и процессам управления.

Советские ученые достигли крупных успехов в постановке и решении многих проблем механики жидкостей и газов, теории прочности и пластичности, теории машин, автоматического управления и навигации, общей теории систем и системного анализа, автоматизации систем управления.

В области механики жидкости и газа на сессии были заслушаны один проблемный доклад и пять сообщений.

*Современные проблемы механики жидкостей и газов.* Л. И. Седов, В. В. Струминский, Г. Г. Черный (докладчик Л. И. Седов).

Механика жидкостей и газов в настоящее время интенсивно разрабатывается. В решении ее задач участвуют много институтов и ученых; в рамках краткого доклада можно отметить только ряд направлений, которые авторы доклада считают наиболее значительными.

Основная группа проблем относится к движению тел в воде и воздухе с большими скоростями. В ближайшие годы ожидается информационный взрыв по этим проблемам. Для них прежде всего характерны тесные непосредственные связи с ма-

тематикой, физикой и химией; в равной мере важны вычисления и опыты. В современных и особенно перспективных аппаратах, предназначенных для движения с большими скоростями, подъемная сила и тяга создаются в едином объекте, иначе говоря, разделение подъемной силы, сопротивления и тяги перестает быть существенным.

Вопреки установившимся в учебной литературе утверждениям теоретические модели обтекания тел весьма разнообразны. Для движения тел в воде наиболее известная модель установившегося течения — сплошное обтекание — оказывается вто-ростепенной. При большой скорости движения в этой схеме существенно возрастает сопротивление трения, которое слабо управляемое, и обычные винтовые движители перестают быть эффективными. Значительное увеличение затрат мощности не дает существенного увеличения скорости. Основными схемами течения становятся кавитационные с числами кавитации, не равными нулю, т. е. с давлением в срывных зонах, не равным давлению в невозмущенной жидкости. Большой интерес приобретает схема, предложенная еще С. А. Чаплыгиным, со срывными зонами в окрестности критических точек. Вдув на поверхности тела с образованием срывных зон позволяет резко уменьшить сопротивление движению. Различные стационарные модели срывной зоны за телом, с полыми вихрями, модели Рябушинского, Эфроса в действительности разрушаются, перемещаясь с окружающим потоком; эти схемы должны быть дополнены учетом нестационарных явлений.

В условиях сплошного обтекания имеются и тщательно изучаются различные возможности снижения трения в турбулентном пограничном слое. Одним из направлений является использование малых добавок полимерных веществ с большими линейными молекулами. В последнее время установлен механизм этого эффекта, связанного с воздействием добавок на пристеночный слой, его утолщением и гашением пульсаций. Создана расчетная схема явления, получены полуэмпирические формулы, которые хорошо описывают наблюдаемые зависимости коэффициентов трения от числа Рейнольдса  $R$ , концентрации полимера и шероховатости стенки. Установлена существенная зависимость влияния добавки полимера от числа  $R$  (при очень больших числах  $R$  выигрыш уменьшается) и от шероховатости стенки, поэтому необходимы натурные экспериментальные исследования.

В гиперзвуковых летательных аппаратах двигатель объединяется с несущей поверхностью, основной становится теория воспламенения, горения и детонации в пространственном сверхзвуковом потоке с ударными волнами. В схеме гиперзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ГПВРД) сгорание смеси топлива и воздуха происходит непосредственно за ударной волной, и при расширении продуктов сгорания образуются одновременно тяга и подъемная сила. Возможна и перспективная схема ГПВРД с горением во внешнем потоке и в следе за телом. При разработке указанных аппаратов следует опираться на исследования структуры детонационной волны и механизмов смесеобразования и сгорания; установлен принципиальный факт возможности автоколебаний, которые требуют дальнейшего изучения и управления. Если раньше двигатель и аппарат можно было рассматривать отдельно, учитывая их взаимодействие в линейном приближении, то теперь они образуют единую систему, которую надо исследовать в целом.

При входе различных тел и аппаратов в атмосферу планет с первой и особенно второй космическими скоростями возникает сложная проблема гиперзвукового торможения в атмосфере многокомпонентных реагирующих газов, включая реакции ионизации на термохимически разрушающейся стенке. За ударной волной диссоциированный воздух встречается с истекающими продуктами аблирующего тела. Возникающие при этом диффузионные и термодиффузионные процессы требуют глубокого изучения. Созданы и реализованы некоторые расчетные модели, позволяющие оценить распределение термодинамических параметров в области торможения.

Расширяющееся применение сверхзвуковых и в перспективе гиперзвуковых летательных аппаратов, и в частности сверхзвуковой пассажирской авиации, ставит задачу о распространении и действии образуемых ими ударных волн. Исследования показывают, что уже реально существующие аппараты при высоте полета 10 км создают у поверхности Земли ударные волны с интенсивностью порядка 10 кГ/м<sup>2</sup>, причем эта интенсивность, заметно возрастая с увеличением скорости полета и веса аппарата, относительно мало падает с высотой полета. Установлено, что интенсивность волны может существенно зависеть от неоднородностей атмосферы и формы летательного аппарата. Имеется предположение, что применение аппаратов необычных форм (типа полуклина или полуконуса) позволит почти вдвое уменьшить интенсивность звукового удара.

Ряд важных вопросов связан с образованием и перемешиванием вязких и особенно турбулентных струй и следов. В литературе описано и обобщено много опытов и сделан ряд новых выводов. В частности, в последнее время изучены турбулентное движение струй с твердыми частицами, подавление турбулентности с помощью акустических и магнитных воздействий, развитие ближнего следа за плохообтекаемым

мым телом. Решены некоторые задачи струйных течений вблизи твердых и жидкок гранец в связи с разработкой самолетов вертикального взлета и посадки, а также аппаратов на воздушной подушке.

Отмеченные выше и другие актуальные научные проблемы содержатся в координационном плане Научного совета по механике жидкостей и газов; некоторые из них затрагиваются в последующих кратких сообщениях.

#### *Аэродинамика малотурбулентных течений. Н. А. Желтухин.*

Известно, что при малых степенях турбулентности набегающего потока свойства пограничного слоя сильно сказываются на характеристиках летательных аппаратов. При переходе пограничного слоя из ламинарного состояния в турбулентное качественно меняются все его свойства: профиль скорости, пульсации, корреляции, трение и теплообмен. Имеется аналогия с фазовым переходом, причем роль константы перехода играет критическое число  $R$ . Большое практическое значение имеет задача стабилизации слоя (аналогичная перегреву при фазовом переходе); наиболее распространенными способами стабилизации являются отсос с поверхности и ее охлаждение (при обтекании газом с обычными свойствами). Теоретический анализ потери устойчивости даже при плоском течении и в линейном приближении (задача Ора — Зоммерфельда) очень сложен. Некоторое усовершенствование обычной процедуры этого анализа позволило численным путем повторить и улучшить известные результаты, а также получить новую вторую кривую нейтральной устойчивости. Дальнейшими задачами в этой области является развитие трехмерной и нелинейной теории. По-видимому, только такая теория позволит правильно описать переход от ламинарного течения к ламинарному квазистационарному и затем к турбулентному потоку. Экспериментальные исследования требуют прежде всего наличия малотурбулентных аэродинамических труб. Одна из таких труб создана и работает в Институте теоретической и прикладной механики (Новосибирск). В трубе достигнута минимальная степень турбулентности 0,02%, которая позволяет изучать обтекание ламинарных профилей и отрыв ламинарного слоя.

#### *Магнитогидродинамические эффекты. Г. А. Любимов, В. В. Гогосов (докладчик В. В. Гогосов).*

Магнитогидродинамические (МГД) эффекты проявляются при движении электропроводящей среды в магнитном поле. Известны различные способы образования МГД-потока и различные расчетные модели. При постановке соответствующих задач особенно важно задание граничных условий для электрических величин. Наличие призлектродного скачка потенциалов (которым часто пренебрегают) существенно влияет на результаты расчета. На простом примере МГД-генератора показано, что учет призлектродных слоев существенно снижает расчетный к.п.д. генератора под нагрузкой. Среду в МГД-потоках следует рассматривать как многокомпонентную, состоящую из ионов и электронов различной температуры. Соответственно, у стени и в некоторых случаях в потоке образуется несколько тонких граничных слоев с резким изменением температуры компонентов поперек слоя. Учет этих реальных свойств МГД-потоков позволит уточнить методы их расчета.

#### *Аэродинамика гиперзвуковых аппаратов многоразового использования. В. В. Сычев.*

При создании космических аппаратов была успешно решена задача выбора их формы и теплозащиты, обеспечивающих необходимое торможение при входе в атмосферу. Первые аппараты имели затупленную форму с низким аэродинамическим качеством. Следующий шаг — создание маневренных аппаратов с точной посадкой и многоразовым использованием. Этот шаг требует проведения аэродинамических исследований в широком диапазоне изменения числа Маха и числа Рейнольдса, измерения тепловых потоков на всей поверхности аппарата, разработку новых систем теплозащиты (например, вдува легких газов), изучения гиперзвуковых течений разреженных газов, разработки теории взаимодействия вязкого слоя с основным потоком. Известно, что при так называемом сильном взаимодействии с гиперзвуковым потоком возмущения в вязком слое могут передаваться вперед на расстояния порядка длины тела; аналогично при обтекании скользящего (стреловидного) крыла возмущения от центральной плоскости могут воздействовать на все крыло. В целом в рассматриваемой задаче необходим пересмотр привычных представлений и уточнение постановок задач в связи с различными эффектами гиперзвуковых течений, а также с учетом разреженности газа.

#### *Аэродинамика разреженных газов. М. Н. Коган.*

В области исследования течений разреженных газов возникает ряд проблем, которыми занимается много организаций. Направление, которое представляет докладчик, рассматривает в основном два вопроса: исследование течений газа в широком диапазоне чисел Кнудсена  $K$  (отношение длины свободного пробега к размеру тела) и обоснование постановок газодинамических задач.

В основе теоретических исследований лежат кинетические уравнения Больцмана. В известном разложении этих уравнений в ряд по степеням  $K$  первый член дает уравнения Эйлера, учет второго — уравнения Навье — Стокса и третьего — уравнения Барнетта. Было показано, что ряд сходится только в асимптотическом смысле и не позволяет получить дальнейшего уточнения решения. Разработаны прямые численные методы решения уравнений Больцмана, из них наиболее перспективны основанные на методе Монте-Карло (статистических испытаний), фактически на «разыгрывании» столкновений отдельных молекул. Таким методом получены решения задач о течениях, близких к свободно-молекулярным, и отдельных одномерных и модельных двумерных задач при  $K \sim 1$ . Экспериментальные исследования затрудняются тем обстоятельством, что в натурных условиях обычно  $M \gg K$ , в трубах же  $M \gg 1/K$ .

Были уточнены условия подобия и показано, что основным критерием является число Рейнольдса  $R_o$ , в котором коэффициент вязкости определяется по параметрам заторможенного потока. С учетом этого обстоятельства оказалось возможным в одном эксперименте, перемещая модель вдоль оси сверхзвуковой струи, истекающей в вакуум, получить аэродинамические характеристики обтекания тела во всем диапазоне от свободно-молекулярного потока до сплошной среды ( $R_o \gg 1$ ). Было показано, что в переходной области силовые характеристики даже простых тел (конуса, пластинки) проходят немонотонно и вообще не могут быть получены интерполяцией между их асимптотическими выражениями.

Один из интересных частных результатов заключается в том, что при течении разреженного газа в трубе движение определяется не только градиентом давлений, но и градиентом температур стенки. При этом можно получить случай динамического равновесия потока в трубе при наличии перепада давлений, когда средние скорости газа у оси трубы и вблизи стенки имеют противоположные знаки. Наконец, было показано, что уравнения Барнетта могут дать уточнение в задачах течения обычного газа, например, при больших градиентах температур.

#### *Механика нефтедобычи. С. С. Григорян.*

Практика и теория разработки нефтяных месторождений, добычи и транспортировки нефтепродуктов всегда были и остаются источником многих интересных задач механики. В последнее время потребные темпы и объемы развития нефтедобычи приходят в противоречие с традиционной технологией как бурения, так и извлечения нефти. В связи с потребностью решения новых практических задач укрепляются связи механиков со специализированными организациями нефтяной промышленности. В сообщении кратко характеризуется несколько таких новых задач и указываются возможные пути их решения.

Для бурения на дне моря при глубине более 20—40 м предлагается создать жесткую подводную опору в виде погруженного поплавка, причаленного к сваям, забитым в дно моря. Жесткость установки поплавка обеспечивается его избыточной плавучестью; забивка свай производится ракетами. На поплавке строится эстакада, прозрачная для волн; на эстакаде устанавливаются буровые вышки.

Другой вопрос — борьба с авариями. Прихват трубной колонны бурильных труб в скважине может быть устранен путем возбуждения продольных упругих волн в колонне. Закрыть газовый фонтан можно путем опускания в скважину специального снаряда. Наконец, имеются большие резервы гидродинамической очистки и даже проведения скважин под действием малых колебаний длинного столба жидкости, вызывающих резонансные колебания небольшого количества жидкости на дне скважины между специальными воздушными карманами.

Г. Ю. Степанов