

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО МЕХАНИКЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ ПРИ ОТДЕЛЕНИИ МЕХАНИКИ И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ АН СССР

Научный совет по механике жидкостей и газов образован решением годичного собрания Отделения механики и процессов управления АН СССР 14 января 1964 г. В состав Совета вошли ведущие ученые в области механики и аэрогидродинамики институтов АН СССР и Сибирского отделения АН СССР, МГУ, союзных отраслевых и учебных институтов и ученые союзных республик.

В бюро Совета вошли: Акад. Л. И. Седов (председатель Совета), доктор физ.-мат. наук Л. Г. Лойцянский, член-корр. АН СССР В. В. Струминский чл.-корр. АН СССР Г. Г. Черный (заместители председателя), Н. Ю. Кишкина (ученый секретарь).

Постановлением Президиума АН СССР от 3 июля 1964 г. на правах отделения Научного совета создан Совет по проблемам гидромеханики АН Укр. ССР.

Научным советом за истекший период проведено восемь пленарных заседаний и две научные сессии. Заседания Совета были посвящены выработке важнейших научных направлений по проблемам механики жидкостей и газов.

Для анализа состояния научных исследований по проблемам механики жидкостей и газов, а также для определения перспектив решения этих проблем на ближайшие годы Совет выделил ученых, которые составили развернутые проблемные записки по каждой из сформулированных проблем.

При обсуждении проблемы «Применение механики жидкостей и газов к проблемам химической технологии и реологии» Совет постановил провести научную сессию и заслушать доклад Г. И. Баренблатта на тему — «Проблемы химии и биологии в механике сплошных сред». Сессия состоялась 5 мая 1964 г. Три доклада по отдельным вопросам было заслушано на заседаниях Совета: «Гидродинамические проблемы, возникающие при движении быстроходных судов на поверхности воды» (И. Т. Егоров); «Поведение воздушных пузырьков в жидкости при вибрации» (Ю. Л. Якимов); «Обзор работ по горению в сверхзвуковом потоке» (Л. А. Клячко).

С целью широкого обсуждения выработанных проблем Совет постановил провести расширенную сессию в виде специальной конференции.

ВСЕСОЮЗНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МЕХАНИКЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Конференция была организована Научным советом по механике жидкостей и газов при Отделении механики и процессов управления Академии наук СССР совместно с Академией наук Азербайджанской ССР в г. Баку с 1 по 5 ноября 1965 года.

В конференции приняло участие около 250 ученых из ряда научно-исследовательских институтов АН СССР, СО АН СССР, АН Союзных республик, отраслевых институтов, некоторых ОКБ, университетов и учебных институтов, в том числе 50 ученых из исследовательских и промышленных учреждений Азербайджанской ССР.

На конференции было заслушано 13 докладов ведущих ученых по основным проблемам механики жидкостей и газов. К подготовке ряда докладов, как и положенных в их основу проблемных записок, были привлечены специалисты различных отраслей промышленности (авиационной, нефтяной, судостроительной и др.).

В каждом из докладов подводились итоги развития соответствующего раздела науки и, в результате анализа состояния вопроса, формулировались общие проблемы, а также наиболее важные частные задачи, заслуживающие дальнейшей разработки.

Во вступительном докладе Л. И. Седов, открывая конференцию, сформулировал ее цели и сообщил о порядке работы конференции.

Свободное обсуждение проблем, стоящих перед организациями, научными коллективами и отдельными учеными, имеет большое значение, т. к. позволяет избежать ошибок в выборе направлений работы, сконцентрировать усилия и материальные затраты для решения наиболее важных задач¹.

Новые проблемы возникают, как правило, на границах известного и в связи с рекордными результатами, а также на стыке различных наук. С общей точки зрения прежде всего представляют интерес фундаментальные исследования по созданию новых моделей сплошной среды, учитывающих свойства новых материалов, новые эффекты при крайних состояниях вещества, физические и химические эффекты, взаимодействие механики с электродинамикой и с биологией.

¹ Научный Совет по механике жидкостей и газов с благодарностью примет все дополнительные общие и частные соображения по затронутым проблемам, которые просим направлять в адрес редакции журнала.

В настоящее время результаты общетеоретических проблемных исследований очень быстро реализуются в технике и в промышленности. Многочисленные примеры таких реализаций общеизвестны.

Тематика недавних и предстоящих международных конгрессов и симпозиумов по механике весьма характерна для формулировки современных перспективных направлений. Так, на прошедшем конгрессе в Мюнхене около 140 докладов из 400 имели отношение к новым механическим моделям сплошной среды; в Вене предстоит симпозиум по необратимым эффектам и явлениям переноса; в Киото — по пограничному слою турбулентности; в Неаполе — по двухфазным средам и по проблемам горения; в Оксфорде — по разреженным газам.

Контакты с международными организациями, в первую очередь с IUTAM (International Union of Theoreticas and Applied Mechanics), а также с зарубежными коллегами весьма поучительны и полезны. В этом отношении заслуживает упоминания недавно проведенный симпозиум в Юрате (Польша).

Из числа современных проблем механики жидкостей и газов, выдвигаемых запросами техники и промышленности, в первую очередь следует отметить проблему повышения скорости движения различных тел и аппаратов в воздухе и в воде. Возникают задачи изыскания оптимальных форм, в частности аппаратов, возвращаемых из космоса, а также задачи понижения сопротивления обтекаемых тел путем ламинаризации, различных присадок к жидкости, использования упругих свойств обтекаемой поверхности, а также придания ей особо высокой гладкости.

Отчасти связанной проблемой является проблема неустановившихся движений жидкости, устойчивости течений вообще, и, в частности, движений вязкой жидкости, высоко- и низкотемпературной плазмы.

В проблеме турбулентных движений ощущается необходимость усовершенствования постановок, статистических подходов, осознания и теоретического обобщения многочисленных экспериментальных данных. Теория турбулентных движений важна для практических задач разработки магнитно-гидродинамических генераторов, смешения до- и сверхзвуковых струй и организации горения, химической технологии, метеорологии и других.

Значительный технический интерес представляют проблемы промышленной гидравлики и газовой динамики. Эти проблемы связаны с изысканием и разработкой рациональных типов и схем различных промышленных аппаратов, двигательных установок, турбомашин и т. п.

Специально следует отметить колоссальный эффект, который дают современные средства проведения вычислений. Эти средства уже позволяют решать сложнейшие задачи течения жидкостей и газов, а в будущем они будут иметь еще большее применение и значение.

Ниже приводятся краткие сообщения о заслушанных на конференции докладах.

1. **Галин Л. А.**, *Развитие проблем теории фильтрации и подземной гидромеханики нефти и газа.*

В различных областях техники возникает широкий круг задач движения жидкости в пористых средах, в которых теория фильтрации выступает совместно с теорией упругости и пластичности, с термодинамикой и химической кинетикой.

Наряду с известными полностью детерминированными задачами большое практическое значение получают задачи с неполными данными, для решения которых необходимо привлекать статистические методы. Значительный интерес представляют пространственные и нестационарные задачи, в том числе при наличии свободной поверхности, задачи движения многофазных систем, изучение дополнительных эффектов — капиллярности, специальных свойств жидкости и среды. Новые проблемы появляются в связи с эксплуатацией нефтяных скважин на больших глубинах, развитием новых способов добычи нефти, созданием подземных хранилищ газа.

К исследованиям по теории фильтрации примыкают многие другие задачи, как, например, о взаимодействии фундамента с грунтом, по динамике деформирования горных пород, задачи химической технологии, по псевдо-оживленному слою.

Для успешного продвижения необходимо широко применять численные методы и развивать технику экспериментальных исследований.

Практические задачи подземной гидродинамики, связанные с исследованиями АН Азербайджанской ССР, были изложены в трех докладах:

2. **Абасов М. Т., Джалиев К. Н.**, *Развитие вопросов подземной гидродинамики в Азербайджане* (выступал М. Т. Абасов);

3. **Мирзаджанзаде А. Х., Мовсумов А. А., Саидраза Т. К.**, *Гидродинамические основы осложненных процессов проводки скважин* (выступал А. Х. Мирзаджанзаде);

4. **Касимов А. Ф., Мирзаджанзаде А. Х., Перивердян А. М., Петрошевский Е. И.**, *Газо-гидродинамические исследования задач нефтедобычи* (выступал А. Ф. Касимов).

5. Лойцянский Л. Г., Мониин А. С., *Динамика вязкой жидкости и газа, пограничный слой, турбулентность теплопередача* (выступал Л. Г. Лойцянский).

Наиболее важная проблема в теории движения вязкой жидкости — проблема турбулентности, во всем многообразии ее теоретических аспектов, экспериментальных методов и практических приложений. Известные теоретические результаты касаются простейших случаев потоков с некоторыми свойствами симметрии, а также основываются на различных правдоподобных гипотезах. Дальнейшее развитие требует дифференцированного подхода в различных условиях, совместного применения статистических, полуэмпирических и эмпирических методов с учетом новых экспериментальных результатов. Открыт вопрос о механизме влияния сжимаемости газа и изменения его физико-химических свойств на турбулентный обмен при больших скоростях. Для технических приложений весьма важно уточнение расчета турбулентного пограничного слоя, включая вопрос о его отрыве и образовании замкнутых отрывных зон. В несколько лучшем положении находится теория турбулентных струй, развитие которой необходимо в случаях неизобарических, а также многофазных и многокомпонентных потоков. Необходимо развитие экспериментальной техники, особенно хороших методов измерения статистических характеристик турбулентности.

Требования практики заставляют развивать эмпирические методы управления турбулентной структурой потока с целью оптимизации различных процессов или уменьшения сопротивления; в последнем случае следует изучать роль высокомолекулярных «присадок» к жидкости и физико-химических свойств обтекаемой поверхности.

Задачи о ламинарных движениях, в отличие от турбулентных, как правило, вполне детерминированы. В настоящее время к ним вновь проявляется интерес в связи с потребностями космической техники, а также новыми возможностями численного интегрирования уравнений Навье-Стокса в точной постановке с помощью ЭЦВМ. Имеются интересные примеры решений для случаев неустановившегося движения за цилиндром, вторичных течений в углублениях и другие; в задаче Тейлора обнаружена множественность стационарных форм течений между вращающимися цилиндрами. Большой интерес представляют задачи движения по трубам при наличии упругих стенок и периодических изменениях давления; трехмерного течения в подшипниках; вращательных движений; движения неньютоновских жидкостей.

В теории ламинарного пограничного слоя любая корректно поставленная задача может быть решена численно, однако по-прежнему весьма важны качественно обозримые приближенные аналитические решения. Один из путей получения таких решений — применение универсальных уравнений пограничного слоя и параметрических методов их интегрирования. Весьма интересны проблемы пограничного слоя при больших скоростях, и в частности с учетом равновесных и неравновесных процессов, явлений диффузии и теплопередачи, а также при наличии многофазного и многокомпонентного слоя в неоднородном газе на неизменной и на разрушающейся поверхностях.

Очень важна нелинейная проблема устойчивости пограничного слоя и перехода его в турбулентный. Необходимо создание рациональных теорий, учитывающих наличие переходных режимов, а также историю потока, влияние вторичных течений, конечных и трехмерных возмущений, волнистой формы упругой стенки.

Неотложная задача — взаимодействие пограничного слоя с внешним вязким потоком при больших числах M и малых числах Re , характерных для гиперзвукового обтекания тонких тел. Близкие задачи сверхзвуковых течений — задачи о течиении за отсоединенной ударной волной, об отрывной зоне и следе за телом и о «донном» давлении. Необходимо расширять набор точных решений на ЭЦВМ, причем наряду с получением этих решений важно численное исследование их устойчивости.

6. Абрамович Г. Н., Гембаржевский М. Я., Ушаков К. А., Федяевский К. К., Шепелев И. А., *Промышленная аэродинамика* (выступали К. А. Ушаков, И. А. Шепелев и К. К. Федяевский). Перечислено несколько вопросов совершенствования теории и конструкции вентиляторов, воздухопроводов, различных струйных аппаратов и ветродвигателей, а также обеспечения устойчивости конструкций под действием переменных ветровых нагрузок. Из доклада следует, что необходимо существенно повышать научный уровень исследований по прикладной аэродинамике.

7. Баренблатт Г. И., Левич В. Г., *Химическая механика — применение механики жидкости и газов к задачам химической технологии, химической кинетики и реологии* (выступал Г. И. Баренблатт).

Рассматриваемый новый раздел механики развивается в связи с различными техническими потребностями, в частности, с задачами интенсификации и оптимизации химической технологии, а также с изучением биологических процессов.

Одна группа проблем связана с разработкой теории многофазных потоков. При движении взвесей и суспензий твердых частиц наблюдается воздействие твердой фазы на развитие турбулентности: ранняя турбулизация потока в вертикальной трубе и,

наоборот, гашение турбулентности и уменьшение сопротивления в горизонтальном потоке. Другая актуальная задача — о движении взвешенного (псевдооживленного) слоя. В нем наблюдаются различные макроструктуры: стационарный слой, слой с пузырями и «пакетами». В теории этого слоя обнаружен аналог поверхностного натяжения и установлены условия устойчивости структуры. Представляет интерес изучение закономерностей перемешивания фаз, теплоотдачи и других физико-химических процессов в слое; поведения полидисперсных систем, воздействия различных силовых полей, влияние вибрации. В более общем смысле возникает проблема гидродинамического описания стационарных и нестационарных процессов в многофазных и многокомпонентных системах при отсутствии и наличии фазовых переходов, тепло- и массопередачи, физических и химических воздействий.

Большое значение в химии и в биологии имеют исследования течения аномальных (неньютоновских) жидкостей, а также деформации упругопластических (реологических) сред. При движении этих жидкостей и сред проявляются новые эффекты, требующие детального изучения. Так, например, очень слабые растворы полимеров оказывают заметное влияние на свойства потока в трубе (уменьшают гидравлическое сопротивление); при выдавливании полимера через фильеру в зависимости от скорости истечения возникают различные периодические и аperiodические структуры (так называемая «твердая турбулентность»). В этой области важно строгое механическое описание процессов течения и деформации, обратимых и необратимых изменений структур, постановка и решение краевых задач, учитывающих термодинамические, химические и физические эффекты, так например, выделение тепла, протекание реакций, воздействие внешних излучений, лазера и т. д.

Традиционный объект химической механики — воспламенение и горение. Весьма важна проблема устойчивости пламени, успешное решение которой, по-видимому, требует пространственной нелинейной постановки, уточненных представлений об устойчивости, учета конечных возмущений и наличие различных областей и фаз.

Первоочередные новые задачи — горение конденсированных систем (порохов); вибрационное горение; стационарные и нестационарные потоки химически активных жидкостей вблизи каталитических или разрушающихся поверхностей.

Во всех упомянутых областях химической механики ставится задача теоретического описания периодических процессов или структур, возникающих при нестационарных условиях (задача типа автоколебаний в распределенных системах).

8. Голубинский А. И., Никольский А. А., Райзер Ю. П., Рыжов О. С., Смирнов В. А., Проблемы неустановившихся движений сплошной среды (выступали А. И. Голубинский и Ю. П. Райзер).

Весьма актуальная проблема связана с распространением и взаимодействием слабых ударных волн в атмосфере, и в том числе образование «звуковых ударов», происходящих в результате воздействия ударных волн от сверхзвукового самолета.

Много задач возникает в связи с неустановившимся обтеканием тел, например, при обтекании порывами, при нестационарном движении летательных аппаратов, периодических срывах потока, колебаниях формы тел (оперения). Представляют интерес задачи дифракции волн при обтекании тел сложной конфигурации, срывного обтекания в нестационарных условиях, гиперзвуковых и околозвуковых течений. При гиперзвуковых скоростях, высоких температурах и давлениях необходимо учитывать излучение, равновесные и неравновесные реакции, разрушение поверхности.

Для расчета нестационарных одномерных движений применяются универсальные численные методы, однако необходима дальнейшая разработка приближенных аналитических и качественных методов. В этом плане следует обратить внимание на задачи о разлете газа в вакууме с различными начальными данными, о струях из двигателей космических аппаратов, о нестационарных течениях в атмосферах планет и звезд (с учетом сил тяжести, а также релятивистских эффектов).

Большой интерес представляет физический аспект нестационарных проблем. В этом аспекте следует изучать удары тел (метеоритов) с большими скоростями, сильные взрывы на границе полупространства, в частности воздействие луча лазера, распространение ударных волн с учетом реальных физических свойств среды.

В экспериментальном плане весьма важно получение и изучение ударных волн высокой интенсивности при воздействии сильных магнитных полей и электрических токов. На этом пути возможно получение космических скоростей среды, и в перспективе — достижение условий возникновения термоядерных реакций.

9. Струминский В. В., Сычев В. В., Теленин Г. Ф., Аэродинамика больших скоростей (выступал В. В. Струминский).

В традиционной, достаточно полно разработанной области дозвуковых скоростей практика выдвигает ряд новых задач, требующих исследования: обтекание профиля вблизи твердой и жидкой поверхностей (в нелинейной постановке); обтекание пограничным слоем (вдувание, отсос, различные средства механизации крыла); воздействие струй двигателей. Особенно важны проблемы повышения качества крыла (в частности, ламинаризация пограничного слоя) и устойчивости летательных аппаратов.

В аэродинамике сверхзвуковых скоростей недостаточно изучены задачи обтекания при переходе через скорость звука; пространственных течений около тел сложной конфигурации; влияния формы тела и свойств атмосферы на «удары»; управления пограничным слоем в целях ламинаризации и охлаждения.

При гиперзвуковых скоростях существенно используются соображения подобия (взрывная аналогия) и асимптотические методы. Важно решать нелинейные задачи, развигать численные методы, учитывать эффекты вязкости и теплопроводности, изменение термодинамических свойств воздуха, неравновесные процессы, кинетическую теорию. При расчете гиперзвуковых течений возникают принципиальные вопросы о применимости уравнений пограничного слоя, его взаимодействия с ударной волной и внешним потоком, а также о структуре срывных течений.

В большинстве задач аэродинамики фундаментальное значение приобретают численные методы. Необходимо расширять их применения, большее внимание уделять вопросам разрешимости, усовершенствованиям решения нелинейных задач и в частности рациональному сочетанию численных и асимптотических методов.

10. Войт С. С., Линейкин П. С., Моисеев Н. Н., *Движение весомой и невесомой жидкостей* (выступали все авторы).

Общая теория движений идеальной несжимаемой жидкости со свободными границами разработана относительно подробно. Важно решение вопросов существования и единственности ряда задач, развитие и применение численных методов.

В докладе в основном рассматривались теория волн, приливов и морских течений, причем значительное внимание уделялось истории вопроса.

В теории гравитационных волн необходимо развигать методы решения нелинейных задач; теорию уединенных волн; изучать течения при малых числах Фруда. Заслуживают упоминания задачи о волнах на вихревых потоках, о спектре прогрессивных волн, о различных поверхностных и стратифицированных волнах. Много неясного в вопросах возбуждения волн ветром, распространения волн в замкнутых акваториях. Слабо изучены волны в вязкой жидкости.

Интересный круг задач связан с волнами при слабой гравитации, как конечными отклонениями от равновесных форм жидкости, в том числе пространственные задачи о движении жидкости в сосуде с нарушением сплошности и динамики тела с жидкостью (применительно к движению ракет).

Проблема приливных волн математически связана с нелинейной задачей интегрирования эллиптических уравнений при граничных условиях весьма общего вида. В задачах о приливных течениях следует учитывать естественные формы бассейнов и трение о дно. Большое народнохозяйственное значение имеет практическая задача энергетического использования энергии приливов.

Теория морских течений касается в основном двумерных полей течения бароклинной жидкости. Развитие этой теории важно для целей краткосрочных и сезонных прогнозов.

Необходимо развигать методику измерений и расширять экспериментальные исследования.

11. Егоров И. Т., Логвинович Г. В., Лотов А. Б., Эпштейн Л. А., Якимов Ю. Л., *Гидродинамика больших скоростей* (выступали все докладчики).

Движение тел в воде с большими скоростями происходит при развитой кавитации. Для управления каверной в нее подается газ (воздух). Важные направления — точное решение осесимметричных и пространственных задач, создание рациональных теорий уноса газа из каверн и их устойчивости. Другая актуальная проблема — ударный вход тел в жидкость. Следует развигать исследования входа под углами атаки и тел сложной формы; необходимо учитывать упругость тел и жидкости, образование местных отрывов и возможный наддув образующейся каверны.

Большое практическое значение имеют исследования подводных крыльев. Важно решать плоские и пространственные задачи движения крыльев различных форм, в том числе при развитой кавитации, изучать различные средства управления подводными крыльями и прилагать гидродинамические результаты к динамике судов.

При локальном изучении движений жидкости с разрывами и образованием каверн большую роль играют различные физико-химические эффекты. Необходимо расширять исследования механизма кавитации и образования каверн, движения газо-жидкостных смесей, создавать рациональные теории и модели явления. Создание моделей должно опираться на физические исследования и приближенные теоретические методы.

Для дальнейшего развития первоначально необходимо проведение экспериментов с применением быстродействующих измерительных приборов.

В приложении к докладу был показан фильм (выполненный под руководством Г. В. Логвиновича), иллюстрирующий обтекание при развитой кавитации и вход тел в воду.

12. Коган М. Н., Куликовский А. Г., Любимов Г. А., Черный Г. Г., *Механика плазмы и разреженных газов* (выступали М. Н. Коган и Г. А. Любимов).

Задачи магнитогидродинамики (низкотемпературной плазмы) формулируются обычно для течений в каналах, применительно к генераторам тока (малые магнитные числа Рейнольдса R) или к ускорителям плазмы (большие числа R). Кроме того, эти задачи возникают в связи с магнитным управлением аэродинамическими и тепловыми характеристиками космических аппаратов, исследованиями ионизированных следов, астрофизическими проблемами. Необходимо уточнение уравнений движения и граничных условий применительно к конкретным техническим устройствам и изучаемым явлениям, уточнение кинетических коэффициентов, учет излучения, неравновесных процессов, учет физических процессов на электродах и в плазме. Следует развивать как точные, так и приближенные методы расчета, в частности при $R \sim 1$, изучать асимптотику решений и применять методы осреднения с учетом пространственной неоднородности потока.

Особую важность имеет проблема устойчивости потока плазмы, определение критических условий перехода его к турбулентному состоянию и возникновения автоколебаний.

Необходимо существенное расширение экспериментальных исследований, усовершенствование методов измерений.

В области теории разреженных газов основной проблемой является выбор подходящей модели сплошной среды и правильная формулировка для нее краевой задачи. Требуется проведение исследований по обоснованию и определению границ применения кинетических уравнений Больцмана, разработке методов их численного решения, а также рациональной аппроксимации. Ряд интересных задач возникает для условий движения космических аппаратов, так, например, при больших числах Кнудсена $K \gg 1$ и Маха $M \gg 1$ вблизи тела образуется молекулярный пограничный слой повышенной плотности.

С практической точки зрения весьма важно создание экспериментального оборудования, позволяющего моделировать обтекание тел в реальном диапазоне изменения чисел K и M , а также получать высокоскоростные молекулярные пучки.

13. Андроникашвили Э. Л., Мамаладзе Ю. Г., *Квантовые эффекты в жидкости* (выступал Ю. Г. Мамаладзе).

В докладе рассмотрено вихревое движение сверхтекучего гелия 2 в смеси с обычным гелием 1, которое происходит с квантованной циркуляцией. Проведившиеся экспериментальные исследования подтверждают развитую феноменологическую теорию взаимодействия нормальной и сверхтекучей компонент жидкости и показывают возможность создания «сверхтекучего» гироскопа, практически лишенного помех.

Большинство докладов, заслушанных на конференции, широко обсуждались, и по ним были сделаны ценные критические замечания и дополнения.

Тексты докладов и результаты их обсуждения будут использованы при подготовке статей сборника «Механика в СССР за 50 лет».

Г. Ю. Степанов