

**О ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ И ЗАДАЧАХ
В МЕХАНИКЕ СПЛОШНЫХ СРЕД¹**

Л. И. Седов

(Москва)

В этом сообщении я предполагаю высказать несколько общих соображений по ряду основных методических вопросов и по существу некоторых новых перспективных направлений в механике. Кроме того, я остановлюсь на описании отдельных конкретных постановок реально разрешимых очередных задач. Очевидно, что дать сколько-нибудь обстоятельный и полный обзор перспективных направлений и, тем более, важных и интересных задач в механике, по-существу, невозможно. Тем не менее попытаюсь отметить некоторые назревшие и узловые проблемы макроскопической механики с точек зрения познания природы и приложений к технике.

Первой и наиболее характерной особенностью нашего времени (которую необходимо подчеркнуть явно, несмотря на отсутствие теперь, но бывавших недавно, разногласий) является все нарастающее углубление взаимодействий и связей привычной нам со школьной скамьи механики с современной физикой и с другими естественными науками (химия, биология, геология, геофизика и др.). Разница между предметами и методами исследования физики и механики зачастую намного меньше, чем разница между различными задачами в физике и в самой механике. Можно сказать прямо, что физика и механика в своих главных принципиальных основах — это теперь одно неразделимое целое и что соответствующие различия могут носить только терминологический характер как в области существа дела, так и в области теоретических и экспериментальных методов исследований. Например, общие термодинамические и электромагнитные свойства материальных тел и полей, иначе — реология, ведь это есть чистая механика, но очевидно, это есть и настоящая физика.

Тесное объединение механики и физики очень плодотворно. Многие традиционные вопросы, такие, как распространение возмущений, как установление уравнений состояния, кинетических уравнений и т. п., изучавшиеся раньше только в физике и химии, теперь переходят к механикам. Исследования типичных взаимодействий в веществе и в полях неотделимы от явлений движения, и их успешное изучение возможно только на основе теоретических и экспериментальных методов, уже развитых и развиваемых

¹ По материалам доклада на Пленарном заседании в день открытия IV Всесоюзного съезда по теоретической и прикладной механике 21 мая 1976 г.

вновь специалистами в области механики. Например, многие достижения в кинетике химических реакций добываются теперь в теоретических и экспериментальных работах по механике.

Второй особенностью в развитии современной механики является ее технизация. Фундаментальные исследования в области физики и механики сильно стимулируются бесчисленными задачами, возникающими в технике, в промышленности и в приложениях к другим наукам. Связь с приложениями проявляется в истоках постановок новых фундаментальных проблем, в опоре при исследованиях на различного рода средства техники, в использовании новой совершенной измерительной аппаратуры, в частности, автоматизированных систем измерений и их обработки с использованием электронных вычислительных машин и всевозможных усложненных технических установок для опытов. Все это представляет собой основную базу, без которой теперь немислим прогресс в науках вообще.

Несомненно, что да ^днейшие достижения в науках и в технике неразделимы как в методическом отношении, так и в отношении конструктивного разрешения проблем познания природы или решений практических задач. Если в начальные времена становления современной механики ее матерью были наблюдения и описание небесных явлений — небесная механика, то теперь, наряду с продолжающимися сильными влияниями на механику астрофизических и космогонических проблем, наибольшее значение приобретают инженерные задачи, связанные с конструктивными решениями проблем описания, использования и подчинения явлений природы человеку.

Тесно связанное с проблемами моделирования освоение, внедрение и дальнейшее совершенствование последних достижений в методах измерений, в постановке экспериментов и в их обработке — это актуальнейшие задачи для многих наших институтов и лабораторий.

Третья характерная особенность связана с тем, что в настоящее время имеются мощные вычислительные и экспериментальные средства, позволяющие практически разрешать всякую нужную хорошо и правильно поставленную конкретную задачу. В связи с этим, наряду с решением таких конкретных задач или в связи с разработкой актуальных проблем, дальнейшие исследовательские успехи находятся в прямой зависимости от конструирования новых моделей и новых схематизированных постановок задач. Центр тяжести творческих исследований перемещается к проблемам моделирования и к плодотворным постановкам новых задач.

Теперь все большее значение приобретают свойства тел и полей и соответствующие процессы, связанные с комплексными неразделимыми взаимодействиями различной природы, такими как механические, тепловые, электродинамические, химические, ядерные и другие взаимодействия. Соответствующие явления характеризуются существенными расширениями диапазонов состояний вещества и полей. В частности, для деформируемых тел требуется описывать состояния, близкие к процессу разрушения; приобретают большое значение состояния с очень низкими или, наоборот, с очень высокими плотностями вещества и температуры; явления больших

трансформаций энергии, физико-химические и другие процессы в неорганической природе и в живых организмах и т. д.

Для понимания и описания такого рода явлений требуется строить новые модели с внутренними степенями свободы, вводить новые характерные макроскопические величины и устанавливать для их определения новые универсальные и частные соотношения — закономерности, независимые от уже известных соотношений типа законов сохранения массы, энергии, количества движения и т. п.

В последние десятилетия появилось большое количество работ, в которых предложены разнообразные новые модели; в некоторых работах предлагаются различные подходы к формулированию соответствующих уравнений или отдельных более или менее универсальных свойств тех или иных типов моделей или обсуждаются различные соотношения, которые, по мнению их авторов, должны стать полезными или должны найти применение при построении новых моделей. Нередко выдвигаемые предложения слабо связаны с накопленной информацией, с анализом макроскопических следствий, вытекающих из микроскопических механизмов взаимодействий и строения вещества, и с накопленным опытом в физике; зачастую они носят формальный математический характер с явным стремлением, главным образом, достигнуть наибольшей общности без учета обязательных требований о разумной простоте и эффективности в последующем использовании предлагаемых моделей. Всегда математическим варьированием можно выдвинуть наиболее простые варианты моделей, которые в дальнейшем получают внедрение и сравнительно широкое признание.

Как правило, новые модели и их описание, по сравнению с уже известными моделями, связаны с усложнениями, вытекающими из существа дела, которые вместе с этим нередко связаны также с усложненными искусственными и нецелесообразными.

Такое положение дел приводит к трудностям понимания ряда соответствующих работ, которые изучаются редко или совсем игнорируются. Создалось такое положение, что в некоторых случаях проще разработать и предложить свою «собственную» модель, чем понять и критически освоить модели, предложенные другими авторами.

Теория моделирования деформируемых сред у нас и за границей затоплена мутными потоками дилетантской путаницы, которые сбивают с толку многих специалистов и часто запутывают учащихся. В результате дурных примеров они теряют ориентировочные вехи и рациональность стиля в своих работах, связанных с постановками новых задач.

Очевидно, что при становлении нового нельзя требовать законченной рациональности и строгого порядка. Однако все же целесообразны разработки разумных основ и обсуждение методических базисов теорий, в которых полезно учитывать успешно зарекомендовавшие себя в практическом и историческом планах теоретические приемы, накопленные методы и разнообразные физические обоснования.

Важная особенность переживаемого этапа состоит в том, что необходимо изменять наши представления о соответствии между теоретическим

модельным описанием изучаемых явлений и опытами. Теперь все острее выявляются особенности некоторых несоответствий опытам полезных и хороших моделей, которые, тем не менее, широко внедрены и часто применяются в специальных примерах в науке и технике. Вместе с тем я далек от утверждения, что все предлагаемые модели, даже явно неправильные, полезны и имеют право на существование. В этом отношении я склонен скорее к противоположной крайней точке зрения.

Если для основных физических моделей, таких, как евклидово пространство, идеальная или вязкая жидкость или упругое тело имеются очень широкие диапазоны их замечательного соответствия с действительностью (однако только в соответствующих и недостаточных для приложений диапазонах), то для новых моделей, таких как модели пластических тел или плазмы или для многих примеров турбулентных движений жидкостей и газов, их соответствие опытам связано с большей узостью соответствующих классов явлений и диапазонов и, вообще говоря, с более явным отсутствием отчетливого согласования с опытами.

Например, так обстоит дело в теориях пластичности по Треска или по Мизесу, которые должны и могут применяться к состояниям тел с большими внутренними напряжениями для некоторых путей нагружения, даже и тогда, когда в опытах начинают проявляться ползучесть и многие другие свойства твердых тел.

В связи с этим, несмотря на явную пользу для приложений классических моделей теории пластичности, их соответствие опытам и, вообще, соответствие любых моделей теории пластичности опытам носит довольно условный характер. При классическом образе мышления в этом вопросе всегда возможны принципиально неустранимые ощущения неудовлетворенности и разочарования.

Аналогичное положение дел характерно для многих других примеров новых моделей, что, однако, на практике не может сильно умалить их ценности. Здесь полезно иметь в виду, что всегда применяются идеализации и схематизации, заложенные в определение теоретических моделей для сред, полей и процессов и, с другой стороны, также в постановках конкретных задач для получения расчетных данных. Кроме того, научное сопоставление теоретических моделей проводится с частными видами «чисто» поставленных лабораторных опытов, тогда как в действительности на практике приходится иметь дело с сильно огрубленными ситуациями. В связи с этим усугубляются условности в проблеме описания реальных ситуаций в приближенном виде.

Все это заставляет исследователей и потребителей более глубоко посмотреть на существо и уровень целесообразных требований к теоретическому конструированию моделей. Ясно, что с точки зрения приложений достаточно, чтобы предлагаемые модели позволяли понять возникающие эффекты, давать в достаточно полном виде нужные ответы на поставленные практические вопросы и предсказывать в приемлемой форме нужные выводы.

Для явной и сознательной ориентировки в сути дела не следует за-

бывать, что «открытия» «истинных» свойств и закономерностей в рассматриваемых средах и в реальных процессах в действительности всегда представляют собой не больше чем некоторые придуманные и надежно допустимые в известных рамках представления, которые в последующих более детальных и уточненных исследованиях могут нарушаться и в лучших случаях будут рассматриваться только как достаточные или совсем недостаточные первоначальные приближения или как исходные грубые представления.

Как известно, для математики характерны мощные методические достижения, строгость и точность в постановках и в разрешении разнообразных задач и в построениях общих теорий.

В механике, физике и технике на конечных этапах формулирования законов, многих предложений и рекомендаций, так же как и в математике, требуется обоснование соответствия действительности применяемых схематизированных моделей и постановок задач в определенных условиях, позволяющих надежно и достоверно описывать в существенных чертах свойства объектов и процессов в природе и технике.

Очевидно также, что необходимо с максимальной тщательностью разрабатывать выгодные инженерные проекты и изобретения как для массового производства, так и для уникальных объектов.

В отличие от чистой математики в естественных науках и технике стиль исследований связан с широким использованием экспериментов, и эти исследования подчинены требованиям об обязательном и, вообще говоря, срочном получении обоснованных ответов на очередные вопросы практики и познания природы.

Для сокращения и упорядочения потока публикаций с построением всякого рода моделей сплошных сред уже назрела первоочередная задача составления монографии по общей теории моделирования механических объектов на единых основаниях. Кроме приемов построения конкретных моделей, такая монография должна содержать законченное и ясное описание хороших примеров, разработанных новых моделей, необходимых для развития научных перспективных направлений.]

Дальше мы не будем останавливаться на существовании подробных общих теорий и методов. Вместо этого укажем только на сильно укрупненный и очень неполный перечень неклассических моделей, которые в научной литературе разрабатывались в последние три-четыре десятилетия:

- модели нелинейно-упругих тел;
- модели неньютоновских жидкостей и газов;
- модели пластических тел с упрочнением;
- статистические и динамические модели континуальных дислокаций;
- модели Коссера и другие аналогичные и более общие примеры моделей с внутренними степенями свободы;
- модели твердых деформируемых тел с учетом временных эффектов;
- модели деформируемых сред с учетом термодинамических влияний производных различных порядков по координатам и по времени от искомым функций;

- модели гетерогенных и анизотропных деформируемых твердых и жидких тел и, в частности, жидкие кристаллы;
- модели материальных сред, взаимодействующих с излучениями, и, в частности, при облучении нейтронами;
- модели суспензий жидкостей и газов с твердыми частицами;
- модели жидкости с пузырьками;
- модели смесей различных веществ и их фаз с учетом фазовых переходов, химических и ядерных реакций, диффузии, теплопередачи излучений и вязкости;
- модели различных классов турбулентных движений жидкостей и газов;
- модели материальных сред, взаимодействующих с электромагнитным полем (плазма, взаимодействие тел со светом, намагничивающиеся и поляризующиеся твердые, жидкие и газообразные среды, жидкости с поляризующимися и намагничивающимися частицами в электромагнитном поле и др.);
- модели различных типов грунтов (в частности, геологических пород, льдов, снега и др.);
- моделирование керамических материалов, в частности, в состоянии при высоких температурах;
- моделирование явлений фильтрации жидкостей и газов в почве и в грунтах;
- модели вещества при высоких и сверхвысоких плотностях;
- модели газа и плазмы при больших разряжениях;
- моделирование вещества и полей в атмосферах и в окружающем пространстве планет и звезд;
- модели различного рода структур разрывов, контактных слоев и пограничных слоев в жидкостях, газах, плазме и твердых телах;
- модели пластинок, оболочек, стержней, различных деформируемых пленок;
- модели многочисленных биологических объектов и процессов;
- модели жидкостей, в которых макроскопические эффекты имеют квантовую природу;
- моделирование пространства — времени и различных физических полей.

Это — популярные примеры моделей, строящихся и уже фигурирующих в различных приложениях.

Обратимся теперь к перечислению перспективных и актуальных направлений и конкретных проблем, которые необходимо развивать и разрешать в рамках классических моделей или перечисленных выше моделей, или же специальных новых моделей, которые потребуются построить в ближайшем будущем.

1°. Наряду с развитием экспериментальных методов исследования для решения уже поставленных задач первоочередным направлением является развитие методов численных решений с использованием быстродействующих электронных вычислительных машин.

Благодаря применению вычислительных машин меняются наши представления о разрешимости механических задач. Например, многие задачи гидродинамики и аэродинамики о неустановившихся движениях жидкости и газов с поверхностями разрыва и задачи о смешанных упруго-пластических деформациях тел, которые раньше были совершенно недоступны для их эффективного разрешения аналитическими методами, теперь успешно разрешаются численными методами с помощью ЭВМ.

Если в области газовой динамики и отчасти в области гидродинамики численные методы получили у нас хорошее развитие и этим путем добыто много результатов, то еще мало решений задач упругопластического деформированного состояния тел. Эти расчеты предстоит еще развивать в более широких масштабах.

Очевидно, что большое значение имеет также совершенствование метеорологических теорий и численных методов расчета прогнозов погоды.

Для использования ЭВМ основное значение приобретает дальнейшая разработка устойчивых и эффективных алгоритмов и программ для численных решений механических задач. Особенно необходимо развитие методов решений в рамках усложненных моделей, задач, основанных на разрешении универсальных интегральных уравнений, алгоритмов типа методов конечных элементов. Эти задачи актуальны и стоят в первом ряду очередных перспективных работ.

Подчеркнем еще специально уже хорошо понятое всеми положение, что вопросы создания новых экспериментальных установок и внедрение новых методов измерений и их обработка — это всегда было и остается для будущего основной движущей силой в развитии механики, так же как во многих других науках.

2°. В теории прочности и в теории разрушения твердых деформируемых тел в последние годы произошли большие сдвиги, развитие теории трещин способствовало углублению понимания многих эффектов, обуславливающих явление разрушения как явления глобальной неустойчивости, которая во многих случаях, но не всегда, стимулируется локальными условиями, определяющими возникновение, накопление и лавинообразный рост трещин.

В связи с этим требуется дальнейшее усовершенствование понятий о критериях разрушения. В настоящее время успешно пропагандируются новые взгляды на явление разрушения, учитывающие различные механизмы разрушения для различных материалов, в зависимости от технологии изготовления рассматриваемых деталей, их конструкций, от повышенной или очень низкой температуры, от присутствия начальных напряжений и свойств начальной и приобретаемой анизотропии.

Локальные и глобальные критерии и механизмы разрушения различных изделий могут быть различными в зависимости от их изготовления из монокристаллов, поликристаллических материалов или полимерных материалов, керамики, композитных материалов и в других случаях. Возникновение дислокаций, пластических деформаций, остаточных деформаций ползучести и других временных эффектов, как правило предшествует

явлению разрушения и поэтому теория хрупкого и развивающегося во времени разрушения обычно строится в тесном контексте с теориями упругопластических, вязкоупругих, вязкопластических и других моделей деформируемых тел.

В последнее время явления прочности и разрушения тесно увязываются с видом напряженного состояния и с введением специальных внутренних характерных механических параметров скалярной и тензорной природы, которые необходимо определять с помощью отдельных физических допущений в согласии с данными обработки массовых экспериментов. Для качественного и количественного описания разрушения можно использовать аналогии с плавлением тел и с фазовыми переходами.

Очевидно, что для многих конструкций и материалов проблемы динамической прочности, циклической прочности, вибропрочности и усталости с учетом тепловых и других физических эффектов, включая различного рода облучения, приобретают большое значение в современной технике.

Логика развития теории прочности и разрушения заставляет ученых обращаться к термодинамическим трактовкам этих физических свойств, что связано с определением вводимых новых внутренних параметров с помощью постулирования некоторых «принципов» или просто соответствующих уравнений термодинамической природы, находящихся в согласии с опытами.

Большое значение и подспорье в этой области имеют: накопление практического опыта, эмпирических формул и различных выводов, добываемых с помощью статистической обработки экспериментальных данных, полученных в лабораториях, в практике производства и в эксплуатации разнообразных деталей машин в различных отраслях техники.

Практика показывает, что традиционные методы оценки прочности различных изделий и сооружений нуждаются в теоретическом просветлении и в дальнейшем уточнении.

Несомненно, что благодаря наметившимся новым подходам и представлениям о явлении разрушения появляются хорошие перспективы для построения на принципиально новых основах теорий прочности, которые в обостренных ситуациях могут приобрести огромную практическую ценность.

3°. В качестве нового важного направления в механике необходимо указать на задачи механики в технологии химического производства. Если недавно основные проблемы механики были связаны главным образом с небесной механикой, с авиацией, с разнообразными движениями тел в воде, с ракетной техникой, с исследованиями явлений взрыва и соударения тел, со строительной механикой, с нефтяным делом, с процессами в гидравлических и газовых машинах и т. п., то теперь на первый план выдвигаются также механические проблемы химической технологии.

Как известно, многие процессы химического производства осуществляются в ламинарных или, как правило, в турбулентных потоках газов и жидкостей, зачастую содержащих пузырьки или твердые частицы, с реализацией различного рода химических реакций или при фазовых переходах в таких потоках.

Качество процессов связано самым непосредственным образом с механическими свойствами соответствующих потоков газов или жидкостей.

Требования практически выгодных режимов переходят во многих случаях в гидроаэродинамические требования, накладываемые на соответствующие движения. Проблемы организации барботажных режимов движения смесей и химических реакций в кипящем слое — это гидроаэродинамические проблемы. Сюда же примыкают вопросы теплопередачи в потоках, обеспечение равномерных распределений различных характерных величин, устранение перегревов или коррозии и т. д.

Для решения соответствующих задач необходимо опираться на теоретические методы, связанные с использованием новых моделей сплошных сред, а также на различного рода лабораторные и другие эксперименты, поставленные в рамках представлений о новых моделях сплошных сред.

В связи с этим возникает много очень важных и еще недостаточно проясненных вопросов и, в частности, вопросов о масштабных эффектах при переносе лабораторных результатов на натурные объекты.

Проблемы нахождения оптимальных каналов в соответствующих устройствах и оптимальных режимов технологических процессов в условиях конкретных производств должны решаться на основе механических исследований. Интересны задачи исследования в условиях невесомости технологии различных производств на космических станциях и, в частности, при выращивании кристаллов.

Одной из основных задач является задача о выяснении устойчивости выгодных режимов движения жидкостей и газов с химическими реакциями и о мерах, обеспечивающих их устойчивость, когда это нужно.

4°. В последние годы все большее значение приобретают задачи управления процессами в сплошных средах и, в частности, задачи подавления различного рода барьерных неустойчивостей с помощью взаимодействий континуальных систем, характеристики которых распределены по объемам неоднородно и неустановившимся образом.

Возникает проблема взаимодействия, вообще говоря, двух континуальных систем, одна из которых выполняет основные технологические функции в организуемых процессах с заданными режимами движения с нужной структурой и свойствами потока, обусловленными практическими требованиями. Вторая система является вспомогательной, она служит для управления характеристиками и динамическими явлениями в первой системе. Управляющая система подбирается конструктором в зависимости от поставленной цели. Обе системы описываются уравнениями в частных производных, причем основные взаимодействия могут осуществляться, в частности, на соответствующих поверхностях раздела, на которых должны выполняться граничные условия. Эти поверхности раздела и соответствующие условия можно регулировать нужными способами с помощью изменяемых реологических свойств второй системы и внешними воздействиями на вторую систему с помощью массовых сил, например электромагнитных сил, или различными другими путями.

Возможно также применение системы выгодно подобранных датчиков, сообщающих о возмущениях в основной системе и о характеристиках состояний, развивающихся вблизи осуществляемого заданного процесса в регулирующие устройства, управляющие внешними противодействующими или демпфирующими влияниями, позволяющими подавить развитие нежелательных эффектов.

В этих проблемах, помимо решения задач об описании возникающих явлений, основное значение имеют вопросы разработки феноменологических свойств управляющей среды и выявление оптимальных автоматически действующих мер, обеспечивающих достижение поставленных целей.

Таким образом, возникают новые задачи, в которых требуется подбирать и осуществлять подходящие реологии управляющих сплошных сред в изучаемых и в организуемых неустановившихся процессах.

Вопросы о методах обеспечения требуемых феноменологических свойств и выполнения программ, вырабатываемых автоматически в зависимости от хода изучаемых явлений для улучшения качества протекающих явлений и для их устойчивости, представляют собой новую интересную и крайне важную теоретическую конструктивную проблему.

Теоретически регулирование можно предложить с помощью внутренних распределенных источников энергии, однако такой способ в естественных условиях нереален, регулируемую систему, в частности, можно осуществить в виде внешних оболочек или в виде сложных сред, представляющих собой систему тонких оболочек.

В настоящее время в этой новой и важной области механики сплошных сред работы ведутся, однако крайне желательно расширение фронта таких работ и их применений в различных приложениях.

Отмечу, что высказанные выше общие идеи нашли свое воплощение в задачах об обеспечении устойчивости движения высокотемпературной плазмы. Именно такие принципы регулирования позволили в последнее время получить новые рекордные результаты по температуре и по увеличению промежутка времени существования ступков подвижной плазмы, реализованные в опытах.

Важны также разработки режимов удержания жидкого металла во взвешенном состоянии в вертикальных потоках в установках для получения сверхчистых металлов.

Многообещающи приложения таких теорий для поддержания выгодных режимов химических реакций, которые без регулирующих систем неосуществимы из-за неустойчивости.

Такого рода регулирование в рамках теорий сплошных сред можно осуществлять и в упругих конструкциях, неустойчивых при отсутствии регулирующих систем, например, в случае равновесия стержня, нагружаемого в известной постановке задачи Эйлера, но регулируемого с помощью внешних моментов (в нижней точке закрепления), которые управляются датчиками, расположенными по длине вертикального сечения. При регулировании стержень можно нагружать нагрузками, большими критической, с сохранением его вертикального положения равновесия, резко

неустойчивого при отсутствии регулирующих устройств. Такого рода эффекты в этой частной задаче могут иметь важное значение для многих приложений, например при бурении глубоких скважин или при сверлении в металле глубоких отверстий.

Аналогичные постановки задач и подобные их решения могут встречаться в практике проявления гидро- и аэроупругости на кораблях, самолетах и в различных наземных сооружениях.

По-видимому, проблемы управления с изменяющейся реологией проявляются в биологической механике при моделировании работы мышц, в вопросах распространения нервных возбуждений и в некоторых других явлениях в живых организмах.

5°. Обратимся к проблемам турбулентных движений жидкости и газов. К этой области уже долгое время привлечено внимание многих ученых. В результате их усилий в ряде важных практических явлений введены характерные величины, разработаны методы их расчета и выявлены различные и очень полезные качественные и количественные закономерности.

С другой стороны, в некоторых примерах встречаются расплывчатость характерных эффектов, неясности в существе постановок назревающих задач и в требуемых с практической точки зрения формулировках вопросов и соответственно в содержании ожидаемых ответов.

При изучении турбулентных движений сплошных сред типичные характеристики явлений вводятся как средние, плавно меняющиеся по времени и по объему, взамен или как дополнение к нерегулярным, пульсационным, «истинным», мелкомасштабным, но все же макроскопическим состоянием и движением «молей».

Как в теории турбулентности, так и в других теориях механики сплошных сред можно употреблять различные способы для введения средних, однако основная идея осреднения связана с введением средних как величин практически «постоянных» в соответствующей малой области осреднения.

Полезно помнить, что сравнение местных средних по времени в опытах с турбулентными потоками и расчетными не может отражать тонкостей разных теорий, порождаемых различиями в теоретических методах осреднения.

Для средних величин можно вводить основные понятия, такие, как энергия кинетическая и внутренняя, внутренние напряжения, коэффициенты турбулентной вязкости, массовые силы и т. п. Такого рода величины и соответствующие им уравнения, подобные законам сохранения, уравнениям состояния и т. п., должны быть связаны с методами определения средних в опытах.

Можно высказать много критических замечаний в связи с развитием теоретических работ по турбулентности и, в частности, в связи с некоторыми малоэффективными статистическими теориями.

В качестве назревшей задачи отмечу только то, что некоторые существующие теории турбулентности и бытующие методы обработки экспериментов нуждаются в пересмотре их ценности и в радикальной критической встряске. Необходим и анализ диапазонов применимости существую-

щих или разрабатываемых моделей турбулентного движения различных сред.

В последнее время успешно внедряются хорошо отработанные классические и новые средства измерения потоков и, в частности, зондирование их различными лучами и применение методов голографии; появляются большие возможности в постановке систематических тонких физических опытов, которые до последнего времени ставились в недостаточно широких масштабах. С помощью таких экспериментов можно надеяться достигнуть большего понимания явлений возникновения неустойчивости ламинарных режимов и отрыва турбулентного пограничного слоя, охарактеризовать взаимодействия жидкостей и газов с различного рода изолированными или распределенными тесно взвешенными частицами, каплями или пузырьками, можно наблюдать и описывать в существенных чертах химические и фазовые превращения в турбулентных потоках, наблюдать взаимодействия потоков с частицами со стенками, с размываемыми или, наоборот, намываемыми границами, со свободными поверхностями, описывать влияние закрутки потоков, эффекты неравномерности распределения температур и т. п.

Например, известно, что полимерные добавки в некоторых случаях оказывают большое влияние на турбулентный пограничный слой вблизи твердых стенок и вблизи границ свободных струй. Эти влияния проявляются за счет гашения высокочастотных турбулентных пульсаций присутствующими в жидкости добавками полимерных частиц или за счет наличия различных сортов малых частиц различных веществ.

Необходимо углублять исследование свойств потоков и соответствующих эффектов, связанных с внутренними турбулентными напряжениями и характеристиками смешения при наличии в потоках добавок (например полимеров или разных твердых частиц, или длинных волокон), необходимо изучение образования песчаных наносов, всяческих заносов песками, снегом и т. п. Это — насущные актуальные области исследования, богатые интересными результатами и очень перспективными приложениями.

В указанном направлении уже добыто много практически полезных результатов, однако существующее положение дела можно рассматривать только как начало в серии работ, которые еще предстоит провести.

К этому кругу задач близко примыкают задачи об управлении турбулентным пограничным слоем с целью устранения срывов и снижения сопротивления трения обтекаемых тел, например путем организации подходящих вынужденных колебаний обтекаемых стенок или с помощью специально организованных струйных или других впусков, или отсосов жидкости или газа с поверхности обтекаемых тел.

Целесообразно подчеркнуть еще актуальность важных задач о закономерностях и свойствах отрывных течений и развивающегося турбулентного следа за обтекаемыми телами.

Заслуживают большого внимания задачи внутренней аэродинамики транспортных систем и, в частности, может оказаться, что в будущем системы контейнерного трубопроводного транспорта приобретут серьезное техническое значение.

Опыты с малыми добавками полимеров в турбулентных потоках и наблюдения крайне извилистых ламинарных движений водных растворов указывают, что в этих случаях могут проявляться реологические свойства жидкостей, которые не представлены в уравнениях Навье — Стокса.

В связи с этим распространенное в учебной литературе и в широких кругах научных работников мнение о том, что наблюдаемые турбулентные движения воды или воздуха всегда можно рассматривать как осреднение «истинных» движений, подчиняющихся уравнениям Навье — Стокса, нельзя считать верным.

К этому надо еще добавить, что с практической точки зрения, по-видимому, не всегда можно считать оправданными большие затраты труда по расчету на ЭВМ на основе уравнений Навье — Стокса истинных турбулентных движений вязкой жидкости или истинных движений при потере устойчивости течений вязкой жидкости, переходящих в турбулентные движения.

Очевидно также, что основные актуальные задачи о развитии под действием ветра волн на поверхности морей и океанов и вообще вопросы о взаимодействиях Солнца, атмосферы, Земли и океанов, а также задачи прогноза погоды непосредственным образом связаны с учетом вязкости воздуха и воды и в значительной степени должны базироваться на теориях, учитывающих свойства турбулентных движений жидкостей и газов.

Проблемы конвекции и теплообмена в природе и во всякого рода технических устройствах порождают многие фундаментальные исследования в механике турбулентных движений жидкостей, газов и плазмы.

С точки зрения познания природы очень интересны и перспективны астрофизические проблемы турбулентных движений вещества в звездах, конвективные перемешивания внутри звезд и процессы, происходящие в их атмосферах. Важны исследования турбулентных движений космических облаков. В астрофизике и в современной технике особое значение приобретает описание взаимодействия турбулентных движений плазмы и вообще материальных сред с электромагнитными полями.

Хотя исследования в этих областях многочисленны и проводятся довольно интенсивно, существующее положение требует укрепления рациональных основ теории и дальнейшей концентрации совместных координированных усилий геофизиков, метеорологов, астрофизиков и гидродинамиков.

К этому же кругу вопросов примыкают многие очень важные механические и физические задачи, связанные с охраной природы, и, в частности, задачи о распространении (диффузии) различного рода загрязнений в турбулентно движущихся средах. Очевидно, что такого рода работы необходимо продолжать с еще большей интенсивностью.

В связи с охраной окружающей среды, а также в связи со многими другими техническими задачами, необходимо поддержать исследование вопросов взаимодействия гидроаэродинамических и акустических явлений. Это новая область, в которой обнаруживается ряд неожиданных эффектов.

обуславливающих в одних случаях дополнительную турбулизацию струй, а в других, наоборот, подавление турбулентности. Это в применении к распространению струй может приводить либо к более интенсивному смешению и уменьшению дальнобойности струй, либо, наоборот, к ослаблению смешения и увеличению дальнобойности струй. Эти эффекты в основном связаны с интенсивностью и частотой приходящего звука.

По-прежнему остается на повестке дня важнейшая техническая задача о распространении и глушении аэродинамического шума, возникающего в пограничных слоях при отрывах потоков или в струях, истекающих из двигателей самолетов. Дальнейшие практически важные успехи в этих вопросах зависят от более широкого развития систематических теоретических и экспериментальных исследований.

6°. Классические проблемы гидродинамики и аэродинамики — обтекание тел жидкостью или газом — бурно развиваются уже почти сто лет. Особенными успехами отмечено начало нашего века — время зарождения авиации. Каждое последующее десятилетие знаменовалось введением в строй новых типов аэродинамических труб, гидродинамических каналов и, начиная с тридцатых годов, созданием разнообразных больших и малых сложных экспериментальных газодинамических установок. Их развитие и углубленная разработка теории принесли базисные знания, которые помогли обеспечить современный фантастический прогресс в авиации, в морском деле, в создании удивительных ракет и вообще отразились на всей технике нашего времени.

За эти годы в результате научных работ накоплен огромный опыт и достигнуто глубокое качественное и количественное понимание множества явлений взаимодействия жидкостей и газов с телами, движущимися с дозвуковыми, сверхзвуковыми и гиперзвуковыми скоростями. Появилось и успешно реализовалось великое множество замечательных предложений, связанных с получением подъемной силы, очень малых, или наоборот, больших сил сопротивлений и с другой необходимой информацией о гидроаэродинамическом воздействии на летательные аппараты и на различные тела, движущиеся в жидкости.

За это время преодолены различные барьеры. Геометрические формы и другие свойства движущихся сил и двигательных систем претерпели много качественных трансформаций. Люди располагают этими удивительными результатами и воспринимают их как естественное, должное, без чего стал бы немислим наш быт и наши средства в дальнейшем прогрессе техники и в познавательной науке. И вот теперь можно спросить, а как нужно действовать дальше, каковы пути дальнейшего прогресса, каковы пути преодоления наметившихся новых барьеров? В первую очередь можно рассматривать проблемы дальнейшего повышения скоростей движения тел в различных средах.

Я не стану здесь касаться современных научных задач аэродинамики летательных аппаратов. В этих проблемах имеется большой научный задел, дальнейший прогресс возможен и в значительной степени предопределяется реализацией уже проясненных и намеченных путей, их осуществ-

ление связано с концентрацией усилий больших коллективов и с затратами больших материальных средств.

Несколько иначе обстоит дело с созданием подвижных систем, которые смогут сравнительно длительно двигаться внутри воды или по ее поверхности с резко повышенными скоростями, скажем, порядка 100 м/сек. Это очень малые скорости по сравнению со скоростями самолетов и ракет, но это нереально большие скорости для кораблей, катеров, подводных лодок и т. п., движущихся в воде. Основной барьер ставится большим гидродинамическим сопротивлением и, главным образом, сопротивлением трения. Необходимо разработать подвижные системы, для которых основная доля гидродинамического сопротивления должна быть снижена в три — пять и в большее число раз.

Перед гидродинамиками поставлена задача дать рекомендации для обеспечения указанных резких уменьшений гидродинамических сопротивлений с одновременными предложениями соответствующих двигательных систем, которые станут одним целым с движущимся объектом и которые обеспечат получение резко повышенных скоростей длительного движения в воде.

Для получения умеренно больших скоростей можно использовать классические схемы движения с непрерывным обтеканием тел водой при хорошем восстановлении давления в корме и с малым сопротивлением трения на поверхности тела. Обе задачи можно пытаться решать за счет формы тела и воздействий на пограничный слой. Для снижения сопротивления трения надо в первую очередь снижать шероховатость поверхности тела и различными путями уменьшать поперечные градиенты скорости жидкости в пограничном слое, в частности, с помощью добавок в пограничный слой полимеров или путем подходящего выпуска в пограничный слой воды или другой жидкости.

Получение очень «больших» скоростей можно осуществлять с помощью отрывных обтеканий с образованием каверн, внутри которых должны располагаться полезные объемы, отделяемые от воды свободными поверхностями. Это позволит почти совсем устранить сопротивление трения. Такие режимы обтекания хорошо наблюдаются при падении на воду тел с большими скоростями.

При осуществлении подобных горизонтальных движений тел в воде возникают следующие основные задачи:

1 — создание подъемной силы, поддерживающей тело в горизонтальном движении при хорошем качестве;

2 — разработка мер, обеспечивающих устойчивость и управляемость движения тела;

3 — определение выгодных методов образования каверны, окружающей тело, либо с помощью специальных насадок — дисков, либо с помощью встречной струи, истекающей из тела;

4 — разработка ракетных или гидрореактивных двигательных систем.

Полезны систематические расчеты на ЭВМ различных вариантов задач кавитационного обтекания тел жидкостью.

Вот некоторые из основных гидродинамических задач, поставленных на повестку дня в связи с резким увеличением скоростей движения тел в воде.

По каждой из перечисленных задач можно наметить некоторые пути их решения, однако выдача рекомендаций, приемлемых для практической реализации, требует проведения большого объема теоретических и экспериментальных исследований.

7°. Основное и важнейшее направление в современной механике сплошных сред — это исследование и разрешение проблем, связанных с взаимодействиями материальных сред с электромагнитными полями.

Главные вопросы в познании природы в естественных науках и, в частности в астрофизике, и главные технические проблемы, связанные с ответами в решении задач об использовании термоядерной энергии — это механические задачи, в которых существо процессов определено механическим взаимодействием вещества с электромагнитным полем.

Взаимодействие света и, особенно, лазерных лучей с различными средами в различных условиях — это механические явления, и их описание и использование — это также насущные механические задачи в современной науке и технике.

Если до последнего времени в электромагнитных взаимодействиях поля с веществом основное значение, как правило, усматривалось в выделении джоулева тепла, то в последнее время все большее и большее значение приобретают эффекты силового взаимодействия за счет пондеромоторных сил, обусловленных не только токами проводимости, но и поляризацией и намагничиванием вещества, а также явной зависимостью реологических свойств материальных сред от воздействий электромагнитного поля через характерные величины, фигурирующие в уравнениях Максвелла.

Пьезо-эффекты, проблемы магнитного гистерезиса, магнитная гидродинамика, электрогидродинамика, динамические эффекты в явлениях разрядов в газах и в МГД-генераторах, режимы и процессы в электромагнитных реактивных двигательных системах и во многом-многом другом — все это теперь предметы исследования в бурно развивающихся новых разделах механики сплошных сред.

Для успешных исследований перечисленных явлений в первую очередь требуется рационализировать методы их изучения и начать с построения новых моделей сплошных сред, пригодных для комплексного описания механических явлений, связанных с электродинамикой, при использовании накопленного большого опыта в физике и в механике сплошных сред.

К настоящему времени опубликовано много работ, в которых фигурируют новые модели для описания различного рода явлений и в которых проблемы механики и электродинамики рассматриваются как одно целое.

В связи с этим появилось много вариантов возможных трактовок соответствующих задач. В этой области положение дел с моделированием зна-

чительно продвинуто вперед, однако детальное понимание существа такого моделирования в отдельных случаях, даже среди наиболее квалифицированных авторов, еще не достигнуто. Отбор, описание и внедрение таких наиболее совершенных моделей сильно продвинет результативность этих работ, которые еще нельзя считать совсем законченными.

В качестве иллюстрации к сказанному здесь можно упомянуть о многочисленных дискуссиях в печати о том, что надо понимать под тензором энергии-импульса электромагнитного поля при наличии намагничивания и поляризации вещества. Участники дискуссии упускают из виду тот факт, что этот тензор должен вводиться по соглашению и всегда фигурирует только как слагаемое в сумме с тензором энергии-импульса вещества, который также должен определяться в соответствии с этим соглашением. В уравнения моделей всегда входит только их сумма, которая по своему существу для данной модели не связана с принятыми соглашениями. Стоит отметить, что существо дискуссии о разделении суммарного тензора энергии-импульса связано с рассмотрением явлений намагничивания и поляризации материальных сред, для которых при моделировании необходимо вводить термодинамические и механические характеристики, зависящие от электродинамических параметров, что в общем случае ведет к изменениям традиционных представлений об энергии или количестве движения элементов материальной среды.

В этих вопросах немалую психологическую трудность составляет необычность представлений о возможном наличии отличных от нуля макроскопических моментов количества движения и количества движения у элементов покоящейся материальной среды в случаях, когда среда поляризована и намагничена.

Отсутствие ясности питается отсутствием широкого внедрения в практику различных примеров поляризующихся и намагничивающихся моделей материальных сред, которые пригодны для рассмотрения, вообще говоря, произвольных движений в произвольных электромагнитных полях.

По поводу разумности тех или иных соглашений можно привести много различных доводов и, в частности, доводов, связанных с унификацией представления об электромагнитном поле и уравнениями моментов количества движения, однако все эти доводы не изменяют принципиального смысла трактовки этого вопроса, связанного с возможностью разных соглашений.

8°. В заключение остается отметить, что дальнейшие успехи в исследовательской работе в перечисленных выше областях механики и во многих других областях, которые я не указал, зависят от работы больших коллективов высококвалифицированных ученых. Их образование и методическое умение в исследовательской работе должны формироваться в процессе общения с другими учеными и при изучении специальных современных учебных руководств, монографий и оригинальных научных работ, содержащих многое из того, что в процессе быстрого ускорения развития науки еще не внедрено в обязательные учебные планы и программы ВУЗов.

В связи с этим роль научной литературы и требования к ее высокому уровню сильно возрастают. Поэтому в качестве важнейшего и первоочередного направления в научных работах необходимо выделить и стимулировать написание обобщающих оригинальных учебников и монографий. В противоположность распространенной точке зрения я хотел бы подчеркнуть, что такие книги требуют от авторов много труда и творческой выдумки такого же высшего класса и уровня, как и оригинальные научные работы, и что их польза и влияние на научный прогресс не меньше, чем у самых выдающихся оригинальных результатов.

Всем хорошо известно, что практика квалифицированных дискуссий, самокритики и конструктивной критики вообще очень сильно стимулирует научный прогресс, очищает науку от всякого рода предрассудков, разоблачает дутые авторитеты, способствует выдвижению молодых талантливых творческих ученых, повышает ответственность ученых и вносит большой положительный вклад в важнейшее дело защиты действительных приоритетов. Дальнейшее развитие критики и обеспечение правильных оценок работ, поддержка и внедрение в сознание и практику ценных достижений — все это крайне необходимо для здоровых основ плодотворных научных исследований.

В многочисленных устных выступлениях и в печати авторы выдвигают много различных предложений и ценных советов организационного и методического характера о повышении эффективности научных исследований и об усовершенствовании учебных планов, программ и специальных курсов в ВУЗах и вообще об усовершенствовании методов преподавания. Однако во многих случаях выступающие забывают отмечать в должном виде главное — необходимость воспитывать и требовать высокий этический уровень у учителей и учеников, и что при наличии принципиально устойчивых творчески активных и квалифицированных научных руководителей в ВУЗах или в исследовательских институтах плодотворность научных работ и их высокий научный уровень почти всегда обеспечиваются автоматически.

Глубокое понимание научных достижений невозможно без знаний. Однако можно много знать и мало понимать. Знания без понимания приводят к догматическим и рецептурным методам работы, которые могут быть полезными, но недостаточными для действительных успехов в дальнейшем прогрессе науки и техники.

В современной науке, даже в отдельной узкой специальной области, невозможно знать всю добытую информацию, а с другой стороны требуется комплексность на стыках разных специальностей. Поэтому необходимо, чтобы обучающиеся в ВУЗах хорошо овладевали универсальными фундаментальными основами знаний, методами постановок задач и их решения и нужно добиваться получения максимально глубокого понимания при минимуме информации. Однако все же этот минимум информации велик, он возрастает с течением времени, а его правильный отбор в свете перспектив — назревшая актуальная задача.