

УДК 531/534

**ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ В СВЕТЕ РЕШЕНИЙ XXVI СЪЕЗДА
КОММУНИСТИЧЕСКОЙ ПАРТИИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА¹.**

Иштинский А. Ю.

«Страна крайне нуждается в том, чтобы усилия «большой науки», наряду с разработкой теоретических проблем, в большей мере были сосредоточены на решении ключевых народнохозяйственных вопросов, на открытиях, способных внести подлинно революционные изменения в производство». — Л. И. Брежнев. Отчетный доклад ЦК КПСС XXVI съезду Коммунистической партии Советского Союза и очередные задачи партии в области внутренней и внешней политики. — Правда, 1981, 23 февраля.

Механика — составная часть «большой науки» — занимает одно из центральных мест среди наук, непосредственно обеспечивающих ускорению научно-технического прогресса. Механике принадлежит ведущая роль в разработке научной базы инженерного дела на основе использования методов физического исследования, математического анализа и вычислительной техники.

Достижения машиностроения и приборостроения, строительной индустрии и гидротехники, в добыче и переработке руды, каменного угля, нефти и газа, в развитии железнодорожного и автомобильного транспорта, судостроения, авиации и космической техники опираются на глубокое понимание законов механики и расчет, который, в свою очередь, основан на данных эксперимента и теоретических исследованиях.

За каждой записью принятого XXVI съездом партии документа «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» стоят конкретные дела и труд всего советского народа. Значительная часть записей имеет прямое отношение к науке вообще и в частности из них — непосредственно к механике.

Так, для «повышения качества, надежности, экономичности и производительности, уменьшения шума и вибрации машин, оборудования и других изделий машиностроения, снижения их материалоемкости и энергопотребления»² необходимо использовать достижения теории колебаний, теории прочности и износостойкости материалов, учения о трении, теории газовой смазки и смазки поверхностно-активными веществами, поставить перед этими механическими дисциплинами новые задачи и решить их.

Газовая динамика и теория регулирования должны быть во всеоружии, чтобы «осуществлять сооружение мощных магистральных газопроводов с высокой степенью автоматизации и эксплуатационной надежностью»; теория прочности материалов — чтобы «освоить производство многослойных труб для газопроводов».

¹ Пленарный доклад на 5 Всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике, Алма-Ата, 27 мая 1981 г.

² Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года. М.: Политиздат, 1981.

Здесь и далее выдержки из этого документа и из Отчетного доклада Л. И. Брежнева XXVI съезду КПСС приведены в сокращении.

Немало задач общей механики, аэро- и гидромеханики придется решить во исполнение записи: «создавать принципиально новые виды транспортных средств...», а также «ускорить внедрение непрерывных и новых специализированных видов транспорта — конвейерного, пневмоконтейнерного, гидравлического и других, особенно в горнорудной и химической промышленности и на предприятиях промышленности строительных материалов».

Нетрудно проследить подобные же взаимосвязи между всеми разделами механики и первоочередными практическими делами народного хозяйства, перечисленными в Основных направлениях.

1. Теория машин и механизмов. Роботы и манипуляторы. Большое значение в решениях съезда придается сокращению ручного труда, и в связи с этим необходимо «развивать производство и обеспечить широкое применение автоматических манипуляторов (промышленных роботов)...». Здесь большое поле использования общей механики, теории следящих систем с учетом упругости, идей оцувствлений роботов с широким использованием микро-ЭВМ и, если угодно, формирования некоторых простейших функций так называемого искусственного интеллекта. Особенно важно применение роботов и автоматизированных устройств для организации «...добычи угля на шахтах без постоянного присутствия людей в очистных забоях».

Современный робототехнический комплекс — это сплав достижений в области механики и вычислительной техники. Поэтому немаловажное значение имеет рациональная организация обработки первичной измерительной информации, поступающей от датчиков в микропроцессор робота.

В текущей пятилетке необходимо разработать эффективные методы и алгоритмы управления роботами с учетом реальных механических свойств их конструкций, в частности упругости звеньев и шарниров, палочия люфтов (зазоров). Должны быть развиты способы расчета оптимальных режимов типовых операций для различных кинематических схем роботов и манипуляторов. Существенное внимание надо уделять методам и средствам измерения механических величин при движении роботов — измерителям усилий, моментов, давлений, расстояний, перемещений, сенсорным устройствам для оцувствления. Дальнейшее развитие должно получить методологии моделирования, включая натурное моделирование с использованием образцов уже выпускаемых нашей промышленностью с целью их дальнейшего совершенствования и ускорения темпов внедрения в технологические процессы производства.

Манипуляторы и роботы могут интенсивно использоваться не только в угольной промышленности, но и в других ведущих отраслях промышленности, например машиностроений и приборостроении, электронной технике, энергетике, электротехнике.

2. Трение и износ. Долговечность машин. Белым пятном механики долгое время была наука о трении. Величина сопротивления, развиваемая при относительном скольжении тел, зависит (иногда причудливым образом) от множества факторов: от шероховатости поверхностей соприкасающихся тел, продолжительности контакта тел до начала скольжения, сопротивления пластическому деформированию, от температуры, химического состава трущихся тел, окружающей среды, наличия смазки и ее свойств, давления тел друг на друга, вибраций и даже облучения. То же относится и к величине износа при трении — основному бичу машин.

Переход на молекулярный уровень исследований трения и износа, учет не только механических, но также физико-химических явлений в зоне контакта позволил понять многие стороны этого сложного процесса и изменять его в нужном направлении.

В результате теперь удастся создавать фрикционные материалы для подшипников скольжения, у которых износ и потери на трение на порядок меньше, чем в обычных. Успешно решается и противоположная задача — создание материалов для тормозов, сохраняющих большое трение при малом износе в области больших температур.

Трудно переоценить практическую важность исследования по трению и износу материалов и особенно внедрения хорошо проверенных их результатов в машиностроении. Ремонт изношенных узлов машины, станков, тракторов, автомобилей, насосов, сельскохозяйственных машин обходится в несколько раз дороже их изготовления, а на запасные части уходит пятая часть металла.

Еще сложнее процессы, происходящие в подшипниках качения, шариковых и роликовых. Их изучение весьма усложняется наличием разброса в размерах шариков и роликов, отклонением их формы от идеального шара, цилиндра или конуса, неточностью изготовления рабочих поверхностей колец подшипников. Все это ведет к возникновению излишне больших местных контактных напряжений с последующим отслоением поверхностных слоев металла.

Дальнейшее изучение механики подшипников качения и разработки рекомендаций для их изготовления и эксплуатации — одно из важнейших дел для машиностроения и приборостроения, в частности для гироскопической промышленности.

3. Сложные механические системы. Аналитическая механика. Виброударные машины. Представляет теоретический, а в будущем, по-видимому, и практический интерес разработка новых схем гироскопических и других инерциальных устройств разного назначения. Таких, как гироскопический компас, построение невозмущаемой вертикали с использованием градиента тяготения, измерение угловой скорости объекта ньютонометрами и других.

Отметим, что механические системы становятся все более сложными, включая в себя большое число твердых тел. Уже одно безошибочное составление уравнений таких систем — весьма трудоемкая и утомительная работа. В настоящее время появляются приемы составления уравнений систем со многими степенями свободы посредством электронных вычислительных машин.

Исследование нестационарного движения виброударных систем ранее производилось громоздким методом так называемого припасовывания решений, соответствующих промежуткам времени между ударами. Недавно удалось посредством специальной процедуры исключения односторонних связей рассматривать движение таких систем на бесконечном интервале времени, вследствие чего оказалось возможным решать новые полезные задачи этого раздела техники.

4. Механика твердого тела. Прочность и устойчивость. Оптимальное проектирование строительных конструкций. Значительное внимание в решениях XXVI съезда КПСС уделяется строительству, его коренному улучшению. Как указано в Основных направлениях, необходимо «предусмотреть преимущественное развитие производства изделий, обеспечи-

вающих с
тельства,
же «нара
деревянные
материале
ности, сте
Важна:
ной механ
ности, мех
ной из гл
способности с
накоплени
ческой наг
методы оп
геологичес
ческого. в
и морского
Большин
нестандарт
оптимально
теории упр
В насто
непрерывн
(а также к
материала
никает пра
чества, в ча
возникают
росте тел.
Наконец
конструкци
ические сва
бенно от тем
с течением
и теоретичес
5. Теори
конструкций.
ленности ну
способности и д
сосудов выс
энергосильн
Разрушени
трещин, в то
розионно-акт
явлением вя
пряжениях.
Изучение
точно удовле
так называемс
основой конц
нстойкости.

решения и износа, еских явлений в возможного процесса

е материалы для решение на порядок ложная задача — льное трение при

ования по трению юверенных их ре- зюлов машин, стан- венных машин об- на внешние части

ых качении, шаро- пашинном (ваброва рмы от идеального ля рабочих поверх- жкиювенно излишне дующим отслоением

чения и разработки — одно из важней- частности для гидро-

кая механика. Виб- в будущем, по-види- тем гироскопических ния. Таких, как ги- вертикали с исполь- жорости объекта пью-

все более сложными, дно безопибочное со- жкая и утомительная -ставления уравнений м электронных вычи-

ударных систем ранее о припасовывания ре- нду ударами. Недавно жочения односторонних бесконечном интервале -снять новые полезные

ичивость. Оптимальное ительное внимание в -льству, его коренному жних, необходима *пре- стаи изделий, обеспечи-*

вающих снижение металлоемкости, стоимости и трудоемкости строи- тельства, веса зданий, сооружений и повышение их теплозащиты», а так- же «наращивать выпуск прогрессивных железобетонных, металлических и деревянных клееных конструкций», использовать в качестве строительных материалов золу, шлаки, отходы горноперерабатывающей промышлен- ности, стекло, стеклохолст и нерудные материалы.

Важная роль в решении поставленных задач принадлежит строитель- ной механике, теории расчета сооружений, теории упругости и пластич- ности, механике пластин и оболочек, теории ползучести и старения. Од- ной из главных задач здесь является выяснение ресурсов несущей спо- собности современных строительных материалов и конструкций с учетом накопления повреждений, развития трещин, а в ряде случаев — сейсми- ческой нагрузки и высокой температуры. Требуют дальнейшего развития методы оптимального проектирования; расчета на устойчивость с учетом геологических факторов, расчета сооружений при наличии динами- ческого воздействия на них крупных машин и транспорта, ветра и морского волнения, промышленных вибраций.

Большие трудности встречаются, как известно, при сборке больших нестандартных сооружений, в частности крытых стадионов. Разработка оптимальной технологии сборки требует решения ряда задач прикладной теории упругости.

В настоящее время, как правило, процесс строительства связан с непрерывным наращиванием конструкции. Применительно к бетону (а также к железобетону, дереву и пластмассам) это означает, что возраст материала в разных местах конструкции оказывается различным. Воз- никает практическая необходимость учитывать законы теории ползу- чести, в частности неоднородно-стареющих материалов. Те же вопросы возникают при выращивании кристаллов, фазовых превращениях, при росте тел.

Наконец, следует развить методы расчета так называемых легких конструкций, в которых основной объем занимают полимеры. Меха- лические свойства последних сложны и зависят от ряда факторов — осо- бенно от температуры и вибраций. Полимеры структурно неоднородны, с течением времени в них накапливаются повреждения. Все это требует и теоретических, и экспериментальных изысканий.

5. Теория разрушения материалов. Надежность крупногабаритных конструкций. Предсказание природных явлений. Ряд отраслей промыш- ленности нуждается в разработке надежных методов расчета работоспо- собности и долговечности современных крупногабаритных конструкций: сосудов высокого давления, трубопроводов, турбин гидростанций, энергосиловых установок атомных станций, судов, самолетов и вертолетов.

Разрушение вызывается рядом причин: возникновением и развитием трещин, в том числе усталостных, совместным действием нагрузок и кор- розивно-активных сред, а также радиации; в некоторых случаях — про- явлением вязких и пластических свойств при сравнительно малых на- пряжениях.

Изучение различных механизмов разрушения и построение доста- точно удовлетворительных моделей этого явления составляет предмет так называемой механики разрушения, которая теперь становится также основой конструирования композитов и сплавов повышенной трещи- ностойкости.

Многослойные трубы хорошо противостоят образованию длинных продольных трещин, приводящих к серьезным авариям. Этой же цели служат «ловушки» для трещин, предложенные Б. Е. Патном. Они не позволяют трещинам далеко распространяться — прекрасный пример инженерного подхода борьбы с этим неприятным явлением.

Методы механики разрушения привели к возникновению новых подходов к анализу разнообразных природных явлений — землетрясений, образования цунами, горных ударов, внезапных выбросов в шахтах. Появляется возможность предсказывать такие явления и даже их предотвращать.

Практический интерес представляют новые аспекты теории распространения трещин при высокоскоростных взаимодействиях. Они появились в связи с недавними экспериментами по отколовой прочности.

6. Развитие трещин при циклических нагружениях. Связь усталостной прочности образцов и реальных машин. Губительные аварии самолетов и вертолетов, а нередко и судов, поломки машин и их ответственных узлов происходит чаще всего в результате разрушения от так называемой усталости материалов — еще одного белого пятна механики.

Выяснилось, что причиной усталостного разрушения является постепенное развитие трещин внутри материала из-за переменных по знаку напряжений, возникающих как в процессе нормальной работы машины, так и вследствие сопутствующих вибраций.

Теперь удалось установить, что процесс развития трещин можно разбить на три стадии (фиг. 1): предварительную, по-разному развивающуюся в данном материале в зависимости от технологии изготовления образца или детали; основную, когда существует универсальное соотношение степенного характера между скоростью возрастания длины трещины и разностью между максимальным и минимальным значением коэффициента интенсивности напряжений вблизи ее концов; и, наконец, лавинообразную, заключительную стадию, которая, как и предварительная стадия, может развиваться по-разному.

Упомянутое универсальное соотношение содержит два параметра. Они зависят от механических свойств самого материала, от формы и размеров испытуемого образца или детали. Однако соответствующие закономерности с необходимой достоверностью пока не установлены. Это сейчас, пожалуй, главная задача теории усталости, причем имеющая большое практическое значение. Ее решение позволит делать надежные выводы об усталостной прочности реальных машин и конструкций по испытанию малых лабораторных образцов.

7. Теория пластичности и обработка давлением. Теория пластичности при сложном нагружении и больших деформациях должна выдвинуть и разработать исходные положения для «замены технологических процессов, основанных на резании металла, экономичными методами формообразования деталей». Ученые в этой области механики должны помочь промышленности «изготавливать и внедрять на машиностроительных предприятиях деталепрокатные станы, позволяющие использовать металлопрокат с минимальными отходами».

Сложное нагружение материала за пределом упругости происходит в ряде технологических процессов — ковке, волочении, штамповке, при работе инженерных сооружений и машин. Деформационная теория пластичности и теория пластического течения применимы здесь не всегда.

Обширные
груженник
собой рез
друг друг
Такой
нию мовой
В ней, нар
цией и хо
рассматри
пластично

лн $\frac{dl}{dN}$

М(а)

Фиг. 1. Скорос
знакопеременн
висит от техно
части (б) граф

Фиг. 2. Полум
напряженного с
разгр

согласующихс
предела упру
мирования ли

При пласт
туры материа
теории сложн
структурные в
ленный экспери

8. Механика
на Крайнем С
твердого тела
гатств Крайне
чение бурения
чение взаимодей

кровом.

Изучение ме
ствие с ледокол

ованию длинных м. Этой же цели Иатоном. Они не асный пример плем.

ленно новых под — асимметричный, рофон в шахтах, и даже их про — а теории распрорх. Они появились рности.

Связь усталостной сварии самолетов и ответственных узлов так называемой усники.

ения является поременных по знаку ой работы машины,

вля трещин можно, по-разному разот технологии из существует универростью возрастания минимальным значвблизи се концов; но, которая, как и ому.

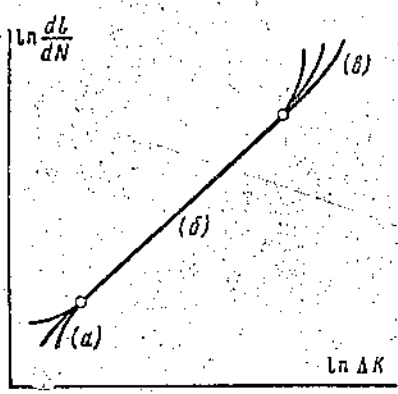
два параметра. Они от формы и размеров твующие закономеровлены. Это сейчас, м имеющая большое ть надежные выводы укций по испытанию

Теория пластичности х должна выдвинуть технологических проми методами формонники должны помочь машиностроительных ие использовать ме

упругости происходит ении, штамповке, при ационная теория плаинмы здесь не всегда.

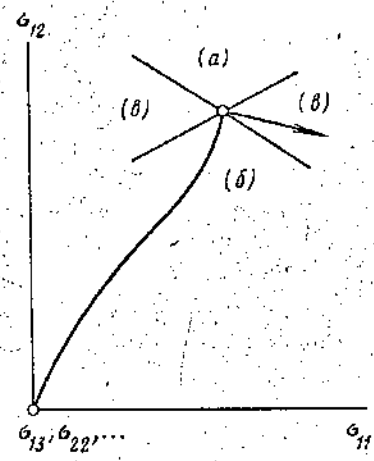
Обширный экспериментальный материал, накопленный по сложному нагружению, свидетельствует, что пластическая деформация представляет собой результат, скользящий малых частиц материала относительно друг друга по совокупности, различно ориентированных плоскостей.

Такой взгляд на существо пластической деформации привел к построению новой, так называемой полумикроскопической теории пластичности. В ней, наряду с ясно выраженной возрастающей пластической деформацией и хорошо известной упругой разгрузкой материала, приходится рассматривать также и промежуточные процессы своеобразной неполной пластичности (Фиг. 2). Оказалось, что для расчетов, в общем хорошо



Фиг. 1

Фиг. 1. Скорость роста размеров трещин при усталости в зависимости от параметра знакопеременной нагрузки. Вид начального участка (а) и участка разрушения (б) зависит от технологии изготовления испытуемого образца. Уравнение универсальной части (б) графика определяется двумя параметрами. Здесь $dl/dN = C (\Delta K)^m$, $\Delta K = K_{max} - K_{min}$, $[K] = \text{кг} \cdot \text{см}^{-3/2}$



Фиг. 2.

Фиг. 2. Полумикроскопическая теория пластичности. Области напряжений изменения напряженного состояния, в которых происходит: пластическая догрузка (а), упругая разгрузка (б), частичная (неполная) пластическая деформация (в)

согласующихся с разнообразными экспериментами, достаточно помимо предела упругости ввести в уравнения идеального пластического деформирования лишь еще одну константу.

При пластическом деформировании происходит перестройка структуры материала. Существенно, что полумикроскопический подход к теории сложного пластического нагружения позволяет выяснять такие структурные изменения. Для этого надлежит производить целенаправленный эксперимент во взаимосвязи с теоретическими расчетами.

8. Механика льда. Транспорт, строительство, добыча нефти и газа на Крайнем Севере. Ряд новых вопросов гидродинамики и механики твердого тела предстоит рассмотреть в связи с освоением природных богатств Крайнего Севера и арктического шельфа. Сюда относится обеспечение бурения и добычи нефти и газа в условиях вечной мерзлоты и изучение взаимодействия инженерных сооружений с мощным ледяным покровом.

Изучение механических и физических свойств льда и его взаимодействие с ледоколами составляет немаловажную часть проблемы: «Обеспе-

чить круглогодичную навигацию в западной части Северного морского пути и своевременную доставку необходимых грузов в районы Крайнего Севера и Дальнего Востока».

Для этого надо уметь взламывать ледяные поля с минимальными затратами, стремиться максимально понизить сопротивление льда механическим воздействиям. Напротив, в случае использования льда как строительного материала при устройстве ледовых аэродромов и переправ, строительстве буровых установок важно повысить прочностные свойства льда. В частности, этого можно добиться путем внесения добавок (особенно полимерных) и армирования (деревом, пластмассами и металлами). Свойства льда надо знать и для изучения движения ледников, давления ледяных полей на сооружения и дрейфующие суда.

Стремиться к построению единой модели, пригодной для описания поведения льда в любых условиях, вряд ли целесообразно. Полезнее в конкретных случаях суметь выбрать частную модель льда, достаточно хорошо описывающую его упругое, пластическое, ползучее или еще более сложное поведение в заданном диапазоне изменения возраста, температуры, давления и условий нагружения. Надо также учитывать неодинаковое сопротивление льда растяжению и сжатию, разрушению льда в процессе деформирования, его анизотропию и неоднородность.

В. Подземная физико-химическая гидродинамика. Теория фильтрации. Добыча нефти на суше и в море. Велики и ответственны задачи (механики в нефтяном деле в соответствии с записью в Основных направлениях: «расширить применение новых методов воздействия на нефтяные пласты и усилить за счет этого извлечение нефти из недр. Внедрить прогрессивный способ газлифтной эксплуатации скважин и высокопроизводительные погружные электронасосы, совершенствовать технологию добычи высоковязкой и битумной нефти»). Для этой цели надо развить новые направления исследований в области подземной физико-химической механики и теории фильтрации в связи с расчетом наиболее выгодного размещения скважин и выбора режима их работы, с воздействием на нефтяной пласт теплом и активными химическими реагентами, организацией подземного горения для снижения вязкости нефти при ее добыче. Полезно напомнить, что и до настоящего времени из недр извлекается заметно меньше половины заключающейся в них нефти. Поэтому в центре внимания должна быть разработка теории методов повышения нефтеотдачи пластов. Как теперь оказалось, большинство существующих методов, несмотря на их разнообразие, удастся описать в рамках единой модели вытеснения нефти раствором в воде активной примеси, меняющей гидродинамические характеристики как воды, так и нефти. Посредством такой модели удалось установить минимальный объем исходной информации для обоснованных конкретных технологических расчетов.

Интересно, что так же, как в свое время в теории нелинейной фильтрации, основные результаты получены здесь на основе строгого гидродинамического подхода с применением математического аппарата, разработанного в газовой динамике.

Новые и трудные проблемы ставит перед механикой практика добычи нефти и газа на шельфе и непосредственно в море. Огромные платформы, стоимость которых исчисляется сотнями миллионов рублей, должны работать в условиях абсолютной устойчивости, прочности и надежности. Для этого нужно уметь вычислить максимальную нагрузку на них со

стороны по
возникают
конструкци
особенност
качки жидк
ной механи
1. Нерез
аттракторы
щее развит
ных исследо
настойчиво
конкретног
относити тур
некоторые д
сейсмологи
намикки оке
торых из не
Турбулен
си своеобраз
лики. Мног
швырнуть, н
при критиче
полдела, об
которых спе
гающим песк
сотен тысяч, л
внезапное во
сти в течени
ным. И почему
нарному реж
возникновени
значениях чис
ловливается в
тиц при турбу
частоты «среза
ных полимером
жестию тел в н
двумерного, а
своеобразие ст
с различными
чена жидкость.
степени перо
или крыльев л
механики не м
В настоящее
вения турбулен
ющейся сейс
ству с особенно
дифференциальн
ее решение изб
сводится к науч

го морского пути
Крайнего Севера

с минимальными
противление льда
пользования льда
аэродромов и поре-
дствие прочностные
судем внесения до-
м, пластмассами и
и движения ледни-
опце суда.

ной для описания
образно. Полезнее
ль льда, достаточно
ползучее или еще
изменения возраста,
то также учитывать
жкатию, разрушение
и неоднородность.

а. Теория фильтра-
твенны задачи [меха-
Основных направле-
действия на нефтяные
из недр. Внедрять
квасин и высокопро-
ствозавать технологию
цели надо развить
мной физико-химиче-
етом наиболее выгодного
воздействием на неф-
гентами, организацией
при ее добыче. Полезно
о извлекается заметно
тому в центре внима-
описании нефтеотдачи
существующих методов, не-
мных одной модели вы-
си, машиной гидродина-
ети. Посредством такой
ходной информации для
етов.

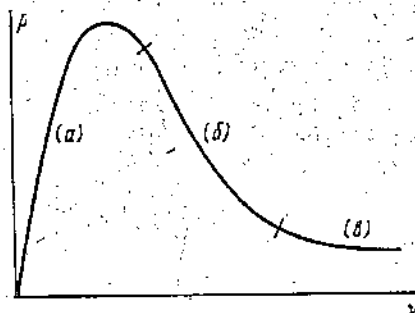
ории величайшей филь-
слово строгого гидроди-
кого аппарата, разрабо-
мной практика добычи
е. Огромные платформы,
нов рублей, должны ра-
рочности и надежности.
ую нагрузку на них со

стороны поверхностных и внутренних волн в океане, подсчитать, какие возникают при этом напряжения в материале, прогнозировать прочность конструкции в условиях агрессивной среды. Существенно также знать особенности поведения манипуляторов платформы в условиях стратификации жидкости и волнения. Все это — задачи гидродинамики, строительной механики и теории прочности.

1. Перенесенные проблемы механики. Турбулентность и странные аттракторы. Основные направления обобщают «...обеспечить опережающее развитие фундаментальных и повысить результативность прикладных исследований». Применительно к механике это означает необходимость постоянной работы ученых над пока неразрешенными проблемами как конкретного, так и достаточно общего характера. К последним следует отнести турбулентность, трение, усталость, пластичность, разрушение и некоторые другие, в частности вопросы сейсмологии, метеорологии и гидродинамики океана. Остановимся на некоторых из них.

Турбулентность уже сто лет является своеобразным белым пятном механики. Много было сделано попыток выяснить, например, почему в трубах при критическом значении числа Рейнольдса, обычно близком к 2300, а в некоторых специальных случаях достигающим нескольких десятков и даже сотен тысяч, происходит «жесткое», т. е. внезапное возникновение турбулентности в течении, бывшем до того ламинарным. И почему обратный переход к ламинарному режиму в случае «позднего» возникновения турбулентности как бы затягивается и происходит при значениях числа Рейнольдса, заметно меньших критического. Чем обуславливается вполне определенный вид спектра пульсаций скорости частиц при турбулентном движении жидкости (фиг. 3). Почему его верхние частоты «срезаются» добавлением совсем малых количеств длинномолекулярных полимеров и от чего при этом резко снижается сопротивление движению тел в жидкости. Можно ли построить теоретическую модель именно двумерного, а не трехмерного турбулентного движения. Как объяснить своеобразно спектра частот при вращении устойчивости течения Куэтта с различными угловыми скоростями цилиндров, между которыми заключена жидкость. В чем причина влияния на возникновение турбулентности степени шероховатости твердых границ потока, например стенок труб или крыльев летательных аппаратов. Подобных загадок в этом разделе механики не мало.

В настоящее время намечился новый подход к исследованию возникновения турбулентности. В математическом отношении он связан с развивающейся сейчас теорией так называемых странных аттракторов, по существу с особенностями поведения решений некоторых систем нелинейных дифференциальных уравнений. Когда система имеет второй порядок, то ее решение изображается движением точки на фазовой плоскости. Задача сводится к изучению интегральных кривых около особых точек и постро-

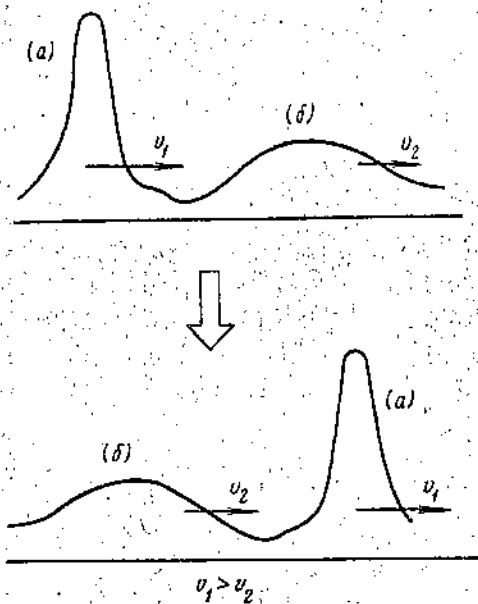


Фиг. 3. Амплитудно-частотная характеристика пульсаций при турбулентности: (α) — участок малых частот, (β) — часть графика, следующая уравнениям Колмогорова, (γ) — высокочастотный участок, «срезаемый» малыми полимерными добавками

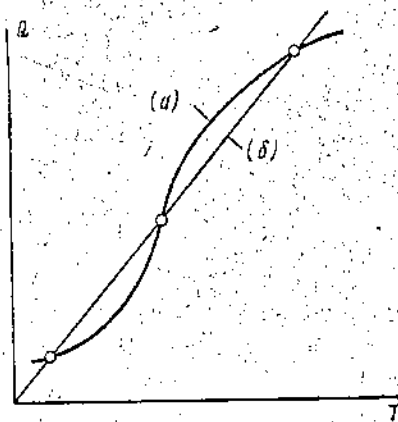
между уравнением Кортенага — де Вриза и одним из основных уравнений волновой механики. Были обнаружены в высшей степени интересные неожиданные спектральные свойства этого уравнения. Такие связи между задачами собственно механики и современной теоретической физики можно усмотреть и в других случаях.

12. Механика и физика. Гирскопическая техника. Инерциальная навигация. Многие проблемы механики, именно те, которые имеют непосредственное отношение к практике, решаются, как правило, в комплексе всех ее разделов вместе с физикой и химией, а также машинной математикой.

Так, создание и совершенствование прецизионных (сверхточных) гироскопов требует разработки ряда вопросов электростатики и электродинамики, электромагнитного поля, электротехники многофазных переменных токов, магнитного гистерезиса, теплопроводности, спиновых свойств ядра, когерент-



Фиг. 4



Фиг. 5

Фиг. 4. Солитон (а) — уединенная волна —, обладающий большей скоростью, чем солитон (б), обгоняет последний почти без изменения своей формы

Фиг. 5. Вид зависимости выделенки (а) и порогов течения (б) от температуры и химического состава. Средняя точка пересечения кривых соответствует наилучшему стационарному режиму; он неустойчив

ного излучения лазеров, а также гидро- и газодинамики, теории упругости, упругого последействия и [релаксации напряжений, теории резонансных явлений.

Вследствие упругости подвеса на шариковых подшипниках имеется принципиальный предел достижимой точности свободного гироскопа. Этот предел обуславливается изменением радиальной жесткости подшипника в зависимости от ориентации его шариков по отношению к линии действия нагрузки.]

Значительному увеличению точности свободного гироскопа и других современных чувствительных элементов инерциальных систем теперь уже препятствуют шумы теплового происхождения. Борьба с последними требует использования криогенной техники, явлений сверхтекучести и сверхпроводимости.

Навигация морских кораблей, самолетов и космических кораблей в значительной мере основывается на инерциальных системах, представ-

ляющих собой сложные электромеханические комплексы с аналоговыми и дискретными счетно-решающими устройствами и следящими устройствами.

Переходная процесс и накопление ошибок в таких системах приводит к возникновению нежелательных возмущений как детерминированных, так и случайных. Их учет, а также выбор оптимальной коррекции инерциальной системы от источников внешней информации о движении объекта представляет трудную задачу. В настоящее время она решается посредством математического моделирования. При натуральном масштабировании представляется при этом возможным включение в состав моделирующего комплекса отдельных, уже изготовленных узлов инерциальной системы, что позволяет изучить особенности их поведения при переходных режимах и оценить качество изготовления.

13. Механика в лазерной технологии. Улучшение механических свойств материалов в результате воздействия импульса электрического тока. В соответствии с Основными направлениями необходимо «создавать и внедрять в производство принципиально новые технику и материалы, прогрессивную технологию», а также «использовать электрохимические, плазменные, лазерные, радиационные и другие высокоэффективные методы обработки металлов, материалов и изделий с целью существенного улучшения их свойств». Укажем две относящиеся сюда практические проблемы, которые решаются механикой совместно с физикой. Это, прежде всего, использование мощного лазерного луча для резки, сварки, термической обработки поверхности металлов и для других технологических процессов. Уместно отметить, что и само создание мощных газовых лазеров требует тонких гидродинамических исследований, а также расчета деформаций их зеркал. Лазер должен быть надежным, долговечным, небольших габаритов и удобным в эксплуатации. Это ставит перед учеными-механиками и инженерами дополнительные и совсем не простые задачи.

Отметим еще интересные для практики исследования влияния мощного электромагнитного импульса на медь, алюминий, сталь, вольфрам, пиробий и некоторые другие металлы, в результате чего их предельная пластическая деформация, а иногда и прочность, резко возрастают. Это существенно, например, для повышения эффективности обработки металлов давлением и открывает путь для создания новых композиционных материалов на металлической основе.

14. Механика, термодинамика и химия. Устойчивость работы химических реакторов в оптимальном режиме. Еще одной из проблем механики, поставленных перед нею практикой и решаемых в комплексе с другими научными дисциплинами, является исследование тепловых и диффузионных процессов с химическими превращениями в движущейся реагирующей гомогенной или дисперсной среде — так называемая химическая гидродинамика. Ее область приложений — интенсификация ряда технологических процессов в химической, нефтеперерабатывающей, металлургической и других отраслях промышленности.

В основе расчета химических реакторов с плотным и взвешенным слоем, барботажных реакторов, процессов сушки и других процессов подобного рода лежат законы механики многофазных сред — движения жидкости и газа в пористой среде катализатора при наличии химических реакций, а также законы диффузионного и теплового взаимодействия частиц, капель и пузырей с реагирующим потоком.

Надлежит продолжить разработку и анализ новых технологических схем посредством математических моделей, более точно соответствующих реальным процессам с учетом нестационарности, гетерогенности, сложных кинетических зависимостей скорости химических реакций от концентрации и температуры. При исследовании теплообмена со средой существенно исследование процессов при турбулентном движении.

Потери тепла в химическом реакторе растут в зависимости от температуры почти линейно, а тепловыделение, напротив, существенно нелинейно (фиг. 5). В результате равновесие между ними имеет место, как правило, при трех различных температурах: сравнительно низкой, некоей средней и высокой.

Равновесие при низкой и высокой стационарных температурах устойчиво, а при средней — неустойчиво. Вместе с тем именно в последнем случае реактор функционирует наиболее продуктивно. Чтобы стабилизировать работу реакторов в этом состоянии, приходится привлечь кибернетические методы или, выражаясь проще, ввести дополнительное регулирование температуры, например по ее производной по времени и отклонению от заданного наимыгоднейшего значения.

Представляется перспективной разработка химических реакторов с вынужденным нестационарным режимом по заданной программе.

Важным вопросом подобного рода с учетом ряда дополнительных обстоятельств, влияющих на работу химических реакторов, например конвективного переноса и продольной диффузии, составляет сейчас одну из главных проблем химической гидродинамики.

15. Механика и практика. Новые разделы механики. Исследование конкретных задач, возникающих в технике, всегда было одной из главных черт механики. Обращение к практике постоянно обогащает науку и новыми идеями, и новыми представлениями.

Решение практических задач, взаимодействие ученых-механиков с инженерами, посильная помощь последним в их практических делах способствуют развитию механики как фундаментальной науки. В конечном счете это ведет к расширению областей приложения механики в технике, к углублению теоретических и экспериментальных исследований ее собственных проблем.

Из практики всегда черпала механика материал для своих теоретических построений и обобщений. Классическим примером в прошлом служат создание Н. Е. Жуковским и С. А. Чаплыгиным теоретических основ авиации, а также теории гидравлического удара, предложенной Н. Е. Жуковским в результате участия знаменитого ученого в разборе многочисленных аварий при постройке московского водопровода.

Ныне — это возникновение и развитие многих новых разделов механики, связанных с практическими задачами космонавтики и ракетостроения, как-то: движение твердых и упругих тел с полостями, частично заполненными жидкостью, управление движением ракет и расчетом траекторий космических кораблей, а также газодинамикой спускаемых аппаратов с расчетом теплозащитных покрытий. Это новые вопросы гидродинамики стратифицированных жидкостей, внутренних волн в океане, создание плотин гидростанций, сварка посредством взрыва, новые теории разрушения твердых тел в результате возникновения трещин, теория потери устойчивости тел при внезапном нагружении, упругого контакта трущихся тел при наличии износа, теория совместного движения смесей

в частности с происходящими в них химическими реакциями, теория деформирования пластмасс, стеклопластиков и других композитов. Сюда же относятся новые теоретические построения и аналитической механике, теории движения, обложенного ударами, вращения тела на струне, теории поведения гироскопов с подвесами в регулируемых электростатических и магнитных полях, теории шарикоподшипников и многое, многое другое, включая новые вопросы теории колебаний, управления и оптимизации.

16. Математический и физический эксперимент. *Натурный эксперимент.* Приборы, оборудование, инструменты и производственные подразделения. Механика для своего успешного развития постоянно должна обращаться к эксперименту. В настоящее время наряду с физическим возник так называемый математический эксперимент, который по существу представляет собой анализ решений подчас труднейших, однако уже поставленных задач с четко сформулированными уравнениями и задаваемыми начальными и граничными условиями движения. Происходит своеобразный диалог ученого с компьютером.

Математический эксперимент — мощное средство научных исследований. Напомним, что так называемая оттопедная ударная волна перед стремительно движущимся в атмосфере телом — метеоритом или возвращающимся на Землю космическим кораблем, была исследована именно таким образом.

Физический эксперимент — один из основных, если не главный, инструмент механики. Он нужен, чтобы в ряде случаев исследовать явление в целом, глубже понять внутренние процессы в телах, установить связи механических явлений с тонкими деталями структуры материалов, уточнить законы деформирования тел в сложных и экстремальных условиях движения — при больших давлениях и в вакууме, при высоких или, напротив, сверхнизких температурах, воздействии лазерного излучения, при наличии различных полей, а также химических реакций, при неоднородном распределении плотности и температуры жидкости, статистического распределения упругих свойств твердых тел и т. п.

В механику пришли тонкие оптические, спектро- и радиометрические методы измерений, электромагнитные, ультразвуковые, ядерные, измерения с использованием лазерной техники и другие, в частности, методы измерения быстротекущих процессов и парамагнитного резонанса.

Для проведения экспериментальных исследований нужны сверхзвуковые трубы, машины для сложного нагружения образцов различных материалов, метателесные стелды, мощные плазмотроны и лазеры, опытные бассейны и, наконец, электронные вычислительные машины с очень большой памятью. Необходима возможность быстрого создания оригинальных экспериментальных установок, например для выяснения механических и физических свойств новых пластмасс и их расплавов, влияния электрического тока на пластические свойства металлов, осуществления технологических операций посредством взрыва, пробивания (точнее промывания) отверстий в стальных плитах струей воды с полимерными добавками, создания лазеров, работающих на пламени, голографических установок для исследования остаточных напряжений при сварке и т. д.

Во многих случаях необходим эксперимент в натуральных условиях. Сюда относится достаточно продолжительное движение тел в атмосфере с целью установления закономерностей «сдува» защитных покрытий, внезапное

адгезионное
такой бедн,
гации на по,
движений
напрямом к
гоо.

Постанов
средств и ус
результатов
изводственн
и инструме

Ученые
XXVI съез
дам науки,
расширять
новых нап
но-исследова
низаций и

Это имен
и ответств
Л. И. Брей
значительн
торий и и

17. Вар
механическ
труда и ма
ального ра
вится задач
риальных и
приумноже

Л. И. Брей
экономики,
мулу на яз
зультаты
влекая в пр
большого».

Фактивных
ный вклад
этом больш
и оптималь
проблема
стыке мехи

состоит в
(например,
движение
наложенье
В качестве
ступать ра
рость выше

тываемой
Исследо

адгезионное обледенение ледоколов и отыскание средств борьбы против такой беды, определение фактических ошибок инерциальной системы навигации па подвижных объектах, сейсмологические измерения, исследование движений океана и атмосферы, изучение технологических процессов, например кристаллизации в условиях полной невесомости и многое другое.

Постановка и проведение эксперимента требуют затраты больших средств и усилий, современных приборов и автоматизированной обработки результатов опытов, наличия хорошо организованных мастерских и производственных подразделений с надлежащим оборудованием, материалами и инструментом.

Ученые горячо приветствуют слова товарища Л. И. Брежнева на XXVI съезде КПСС о том, что *«внимательнее следует относиться и к нуждам науки, обеспечивать научные учреждения оборудованием и приборами, расширять экспериментальные производства»*, а также запись в Основных направлениях: *«Укреплять материально-техническую базу научно-исследовательских, проектно-изыскательских, конструкторских организаций и высших учебных заведений»*.

Это имеет прямое отношение к механике. Вместе с тем, говоря о роли и ответственности всей системы научных исследований, товарищ Л. И. Брежнев сказал в Отчетном докладе: *«Эта система должна быть значительно более гибкой и мобильной, не терпящей бесплодных лабораторий и институтов»*. — Об этом также надо помнить!

17. Вариационные проблемы механики. Управление и оптимизация механических систем и технологических процессов. Экономия энергии, труда и материалов. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года ставится задача: *«Обеспечить эффективное использование природных, материальных и трудовых ресурсов как решающий и наиболее действенный способ приумножения национального богатства страны...»*. В докладе товарища Л. И. Брежнева на XXVI съезде КПСС говорится: *«Интенсификация экономики, повышение ее эффективности, если переложить эту формулу на язык практических дел, состоит прежде всего в том, чтобы результаты производства росли быстрее, чем затраты на него, чтобы, вовлекая в производство сравнительно меньше ресурсов, можно было добиться большего»*. Осуществление этих задач требует разработки наиболее эффективных, рациональных и экономичных технических решений. Заметный вклад здесь могут и должны внести ученые в области механики. При этом большую роль приобретают исследования по проблемам управления и оптимизации механических систем и технологических процессов. Такие проблемы являются общими для многих разделов механики и стоят на стыке механики с кибернетикой и теорией управления. Суть этих проблем состоит в отыскании таких управляющих воздействий или параметров (например, внешних сил, геометрической формы тел и т. п.), при которых движение или равновесие механической системы удовлетворяет заранее наложенным условиям и является наилучшим в том или ином смысле. В качестве критерия, характеризующего качество процесса, может выступать расход материала, рабочего тела или энергии, точность или скорость выполнения рабочей операции, прочность или устойчивость рассчитываемой конструкции.

Исследования по оптимальному управлению первоначально возникли

в связи с расчетом оптимальных траекторий летательных аппаратов, самолетов и ракет. Впоследствии, прежде всего благодаря исследованиям советских ученых, методы оптимального управления приобрели общность и универсальность, а развитие вычислительных машин сделало возможным их широкое применение в технике для оптимального выбора рабочих параметров машины, станков, транспортных средств, грузоподъемного оборудования.

В последние годы значительное развитие получили теория дифференциальных игр, теория управления движением при неполной информации и теория управления колебательными системами. Надлежит продолжить исследование этих актуальных проблем, главным образом в части создания эффективных приближенных и вычислительных методов расчета.

В области механики жидкости и газа к проблемам оптимального управления примыкают задачи оптимизации форм тел, движущихся в потоке жидкости или газа, задачи управления процессами теплообмена в химических реакторах, проблемы стабилизации плазмы.

В механике твердого деформируемого тела весьма актуальны задачи расчета и создания оптимальных конструкций, обладающих заданными свойствами прочности, жесткости и устойчивости при минимальном расходе материала.

Всем перечисленным задачам присущи общие черты: все они имеют вариационную природу, и в их решении глубокое понимание механики должно сочетаться с квалифицированным применением методов оптимального управления и умелым использованием электронно-вычислительных машин.

Несомненно, широкое и продуманное внедрение идей и методов оптимального управления в механике позволит предложить новые, более совершенные варианты технологических процессов, улучшить качество изделий, сэкономить материалы и энергию, поднять эффективность технических решений в промышленности, в строительстве, на транспорте.

Заключение. Механика теоретическая и во всеобъемлющем понимании. Преподавание. Механика и новое в машинах, материалах, производственных процессах. Значение механики, ее исключительная роль в становлении всего нового в народном хозяйстве, к сожалению, не всеми специалистами, руководителями министерств и ведомств, научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений понимается достаточно отчетливо, равно как и то, что представляет собой механика наших дней.

Как правило, о ней судят по содержанию теоретической механики, изучаемой во всех высших учебных заведениях. Необходимо разъяснить, конечно, насколько важна теоретическая механика как одна из основополагающих дисциплин высшей школы, — своеобразный мост, соединяющий математику и физику с прикладными науками, с инженерным делом. Здесь впервые студенту прививается мышление инженера, умение ставить и решать практические задачи. Решать их до конца, до числового результата с разумным округлением, умело составлять программу расчета на ЭВМ. Учиться анализировать решение, устанавливать границы его применимости и требование к точности исходных данных.

Однако не менее важно указывать и на то, что теоретическая (рациональная или общая) механика — лишь вводная, хотя и совершенно необходимая часть колоссального здания современной механики в широком

понима
раздела
колебан
мов — ч
упругос
сти соос
институ
относит
пластин
химичес
Наде
ный рас
правлен
высоко
или под
ная мех
Воп
XXVI
хозяйст
нового
отноше
«...Н
показы
временн
успешне
съезде,
котором
Совет
и будут
тельнос

понимании этой фундаментальной науки. Дело в том, что лекции по другим разделам механики — сопротивлению материалов, гидравлике, теории колебаний и регулирования, кинематике и динамике машин и механизмов — читаются далеко не всюду. Начала гидродинамики, элементы теории упругости и пластичности, аналитическая механика и теория устойчивости состоят лишь в учебных планах университетов и небольшого числа институтов, преимущественно машиностроительного профиля. То же относится к другим специальным вопросам механики, таким, как теория пластин и оболочек, теория ползучести и старения, теория фильтрации, химическая механика, механика плазмы и горения.

Надо убеждать на конкретных примерах, что высококвалифицированный расчет и конструирование новых машин, станков и приборов, целенаправленное создание новых материалов, особенно композитов, разработка высокопроизводительных новых технологических процессов изготовления изделий высшего качества, как правило, требуют глубокого понимания механики, знания и умения применять ее законы на практике.

Вот почему ученые в области механики, отвечая делом на призыв XXVI съезда КПСС — перейти на интенсивный путь развития народного хозяйства СССР — должны непосредственно участвовать в создании всего нового в технике, в решении больших и малых задач механики, имеющих отношение к производству.

«...Наука должна быть постоянным возмутителем спокойствия» показывая, на каких участках наметились застои и отставание, где современный уровень знаний дает возможность двигаться вперед быстрее, успешней». Эти слова, произнесенные товарищем Л. И. Брежневым на съезде, в полной мере относятся к механике. Они характеризуют стиль, которому должны следовать в своей работе ученые Советского Союза.

Советские механики горячо приветствуют решения XXVI съезда КПСС и будут руководствоваться ими во всей своей научной и практической деятельности на пользу нашей великой Родины.