

## НАУЧНЫЕ СБОРЫ

# Конференция как практическая площадка

В Алтайском государственном университете (г. Барнаул) с 26 по 28 июня прошла XXIII Всероссийская конференция по численным методам решения задач теории упругости и пластичности. Она проводилась совместно Национальным комитетом по теоретической и прикладной механике, Институтом теоретической и прикладной механики СО РАН и Алтайским государственным университетом.

Конференция «Численные методы решения задач теории упругости и пластичности» основана в 1967 г. как школа-семинар, а в 1969 г. стартовала как конференция. Её организатором и бессменным руководителем был ак. Н.Н. Яненко. С самого начала география проведения конференции была обширной: Новосибирск, Вильнюс, Кишинёв, Тбилиси, Караганда, Ташкент, Ужгород и т.д. Она проходила даже в сложные для страны годы перестройки и сегодня по-прежнему не теряет своей актуальности. В новых условиях дело Н.Н. Яненко продолжают его ученики и последователи во главе с заместителем председателя СО РАН ак. В.М. Фомин и молодым секретарем конференции к.ф.-м.н. Е.И. Краусом. В настоящее время конференция проводится регулярно в разных городах Сибири раз в два года.

На открытии конференции с приветственными словами выступили ак. В.М. Фомин и проректор АлтГУ проф. А.А. Тишкин, пожелавшие участникам плодотворного общения, интересных дискуссий и новых идей.

В ходе встреч обсуждались: вычислительные задачи механики деформируемого твёрдого тела, в том числе на многоуровневых масштабах; задачи математического моделирования динамического взаимодействия тел с усложненными физико-химическими свойствами в широком диапазоне давлений и температур; численные методы решения задач прочности, устойчивости и разрушения конструкций из композиционных материалов; математическое моделирование высокотемпературных процессов технологической переработки материалов.

Для рассматриваемых проблем характерна тесная взаимосвязь фундаментальных и прикладных разработок и исследований. В связи с этим особое внимание уделялось вопросам практического применения перспективных методов решения актуальных задач теории упругости и пластичности с точки зрения внедрения их в практику проектирования и создания объектов авиационной и космической промышленности, машиностроения, строительства, транспорта и горнодобывающей отрасли.

Так, в докладе «Компьютерное моделирование деформирования эластомеров» проф. С.Н. Коробейников (ИГиЛ СО РАН) рассказал об удивительных твёрдых телах — эластомерах, которые могут претерпевать большие деформации (несколько сотен процентов) без разрушения и повреждения структуры материала. В силу этих уникальных свойств они широко используются в технике. Потребность в математическом моделировании процессов деформирования тел и конструкций из таких материалов стимулирует развитие теории больших деформаций гиперупругих тел, создание алгоритмов численных решений уравнений гиперупругости и их программную реализацию.

В докладе «Исследование разрушения космических ядерных установок (ЯЭУ) в аварийных ситуациях и обоснование систем и средств обеспечения безопасности» представитель промышленного сектора экономики из ОАО «Красная звезда» (г. Москва) к.т.н. М.Ю. Фёдоров представил современный взгляд на обеспечение энергией космических аппаратов, предназначенных для решения новейших задач освоения космоса.

Значительное место в исследовании проблемы безопасности и возможных рисков занимает моделирование ударного разрушения космических ЯЭУ и прогнозирование

радиационных последствий. В докладе были приведены результаты моделирования разрушения ядерных реакторов по методикам, разработанным совместно с ИТПМ СО РАН, с последующей оценкой рисков негативного воздействия на природу и человека.

Нельзя не упомянуть доклады о динамическом взаимодействии деформируемых твёрдых тел. Так, в докладе проф. А.В. Герасимова (НИИ ПММ Томского государственного университета) «Численное моделирование высокоскоростного взаимодействия ударников с преградами конечной толщины» был рассмотрен весь спектр проблем: рикошет, внедрение, пробитие и предложены методы решения различных задач. Проф. А.В. Радченко (Томский государственный архитектурно-строительный университет) в своем докладе рассказал об анизотропных свойствах материала, которые существенно усложняют задачу исследования поведения таких материалов как на стадии ма-

мируемого твёрдого тела. В результате воздействия излучения тонкий поверхностный слой облученной мишени переходит в двухтемпературное состояние, когда электронная подсистема металла сильно перегрета относительно кристаллической решетки. Продолжительность этого состояния ограничена во времени и определяется временем двухтемпературной релаксации. В этих условиях температура в перегретом слое может достигать тысяч градусов, а давления десятков гигапаскалей. Поэтому ультракороткие лазерные импульсы с успехом используются как способ генерации мощных ударных волн в материале, что позволяет выполнить верификацию уравнений термодинамического состояния вещества, а также по измерениям профилей давления внутри тела судить о волновых процессах, связанных с определяющими соотношениями. Апо скорости тыльной поверхности можно идентифицировать процессы разрушения.

ультрамелкозернистой меди в условиях квазистатического и динамического нагружения методом молекулярной динамики», в котором исследовалось механическое поведение монокристаллической и ультрамелкозернистой меди, подверженной квазистатическому и динамическому нагружению. В результате расчётов показано убывание модуля Юнга и предела текучести меди с уменьшением среднего диаметра зерна в нанокристаллической меди при  $d < 10$  нм. Моделирование динамического деформирования выполнялось путём возбуждения в материале ударной волны ударником. При этом, в зависимости от размера зерна в поликристаллической меди, степень сжатия материала и скорость ударной волны варьируются в пределах нескольких процентов при фиксированной скорости ударника.

Интересно показано решение старой задачи в докладе д.ф.-м.н. К.П. Зольникова «Моделирование электрического взрыва металли-

свойств вследствие изменения внешних условий термосилового воздействия и взаимодействия составляющих среду фаз. Выделяются два основных элемента таких сред: дисперсно-упрочненная, практически изотропная среда «матрица-бетон» и среда с выделенными направлениями усиления — «армирующая среда». Поведение железобетона анализировалось как результат непрерывного взаимодействия этих сред.

Продолжил развлекать эту тему доклад проф. Г.Л. Горынина (Сургутский государственный университет) «Прогнозирование жесткостных характеристик бетонов при умеренных нагрузках», в котором на основе метода ячейковых функций получены зависимости модуля Юнга и коэффициента Пуассона бетона от времени в процессе его твердения. Показано, что увеличение доли включения приводит к поднятию соответствующей кривой модуля Юнга. Поведение коэффициента Пуассона со временем имеет два принципиально разных режима. При относительной объёмной составляющей включений меньше пороговой коэффициент Пуассона бетона сначала резко возрастает, а затем со временем монотонно убывает. При относительной объёмной составляющей включений больше пороговой процесс меняется на противоположный, сначала коэффициент Пуассона бетона резко убывает, а затем со временем монотонно возрастает. Указанное свойство коэффициента Пуассона является важным при рассмотрении процессов усадки бетона и появления первичных трещин.

Всего было заслушано 62 доклада. Для того чтобы определить выбор направлений дальнейших встреч и выслушать критические замечания, председатель совета научной молодежи ИТПМ СО РАН А.А. Филиппов обратился с вопросами к участникам. Первым был директор Института геoinформационных технологий и кадастра, заведующий кафедрой геoinформатики и кадастра Томского государственного архитектурно-строительного университета профессор **А.В. Радченко**.

— Андрей Васильевич, как вы оцениваете научный уровень конференции?

— Он довольно высок. Представлены различные тематики, которые не исследовались не только численно, но и теоретически. Много новых результатов. Видно, что исследователи используют современные численные методы, то есть обращаются к современным программам и комплексам для ЭВМ, в том числе и к процессорным, позволяющим решать трёхмерные задачи.

— Участники конференции представляют разные научные школы. Заметили ли вы какое-то противостояние между ними из-за принадлежности к той или иной научной школе?

— Оно, конечно, существует, но в достаточно корректных формах. В спорах рождается истина, и благодаря этому мы движемся вперёд.

Помимо научных сотрудников в работе конференции принимал участие представитель промышленного сектора из ОАО «Красная Звезда» к.т.н. М.Ю. Фёдоров.

— Вы представляете Москву. Расскажите, почему решили принять участие в этой конференции?

— Мы сотрудничаем с ИТПМ СО РАН уже более двадцати лет, что является тоже немаловажным фактором. Нас связывают тесные партнёрские отношения. И самый важный момент — разработки ИТПМ СО РАН находят применение в конкретных областях техники.



тематического моделирования, так и при анализе полученных результатов. Проф. В.М. Садовский из ИВМ СО РАН поделился своими разработками в области высокоскоростного деформирования. Он показал, что различные обобщения модели Уилкинса некорректны с точки зрения термодинамики, так как в ней определяющие уравнения упругопластического деформирования строятся на основе комбинации уравнений теории гипопругости течения и теории гипопругости, где, строго говоря, нет упругого потенциала. Он предложил применять упрощённую, но хорошо обоснованную математическую модель для описания процессов, в которых упругим изменением формы частиц можно пренебречь по сравнению с пластическим формоизменением. Определяющие соотношения пластического деформирования формулируются в виде вариационного неравенства, соответствующего принципу максимума мощности диссипации энергии.

Интересный доклад «Формирование ударной волны в металле в процессе поглощения короткого импульса лазерного излучения» был сделан к.ф.-м.н. И.И. Шабалиным (ИТПМ СО РАН) как результат совместной деятельности с ИСЭ СО РАН. Эта задача представлена как развитие методов высокоскоростного взаимодействия твёрдых тел. Было показано, что мощные лазеры с ультракоротким импульсом — это важнейший инструмент научных исследований в механике дефор-

Довольно спорным (или инновационным?), но чрезвычайно интересным можно назвать доклад А.Н. Корчагиной, Л.А. Мерзиевского (ИГиЛ СО РАН) «Использование производных дробного порядка для решения задач механики сплошных сред». Было рассказано, что значительное количество реальных процессов не укладываются в представления механики сплошной среды и требуют привлечения представлений о фрактальности среды, в которой эти процессы происходят. К таким процессам относятся, например, диффузия примесей в грунте или распространение тепла в аэрогелях. Для их описания используется модифицированный соответствующим образом закон Фурье, что требует привлечения математического аппарата дробного интегро-дифференциального исчисления. Этот же аппарат всё чаще используется для учёта наследственных свойств и фрактальности строения реальных материалов. В докладе был проведен анализ ряда определяющих соотношений с производными дробного порядка. В модели вязкоупругого тела максвелловского типа с дробными производными решена задача о квазистатическом и динамическом растяжении тонкого стержня.

Отдельная секция в работе конференции была посвящена моделированию поведения материалов методами молекулярной динамики. Нельзя не отметить доклад А.В. Болесты и В.М. Фомина (ИТПМ СО РАН) «Моделирование поведения

чекских проволок» (ИФПМ СО РАН). На основе метода молекулярной динамики проведено моделирование особенностей взрывного разрушения металлических проволок при электрическом воздействии. В качестве исследуемого образца использовались поликристаллы меди цилиндрической формы. Разогрев моделируемого кристаллита, связанный с генерацией в нём тока высокой плотности, осуществлялся масштабированием атомных скоростей по линейному закону с сохранением распределения Максвелла. Результаты моделирования показывают, что при определённых режимах электротеплового нагружения образцов межзёрненные области могут оказывать существенное влияние на процессы формирования кластеров с внутренней блочной структурой.

Секция «Численные методы решения задач прочности, устойчивости и разрушения конструкций из композиционных материалов» запомнилась прежде всего докладами по такому композитному материалу как бетон. Бетон как строительный материал используется не одну тысячу лет, а как рассчитывать его характеристики, неизвестно до сих пор. В докладе Ю.В. Немировского (ИТПМ СО РАН) «Проблемы и методы расчёта при проектировании конструкций из армированного бетона» бетон и железобетон в общем случае рассматриваются как особые гетерогенные сплошные среды с непрерывным во времени изменением физико-механических