



Российский
научный
фонд



Российский научный фонд

Проект № 19-77-30008-П

**«Разработка теоретических основ и практических методов
интеллектуального мониторинга сложных горнотехнических объектов»**

Седьмая Школа молодых ученых

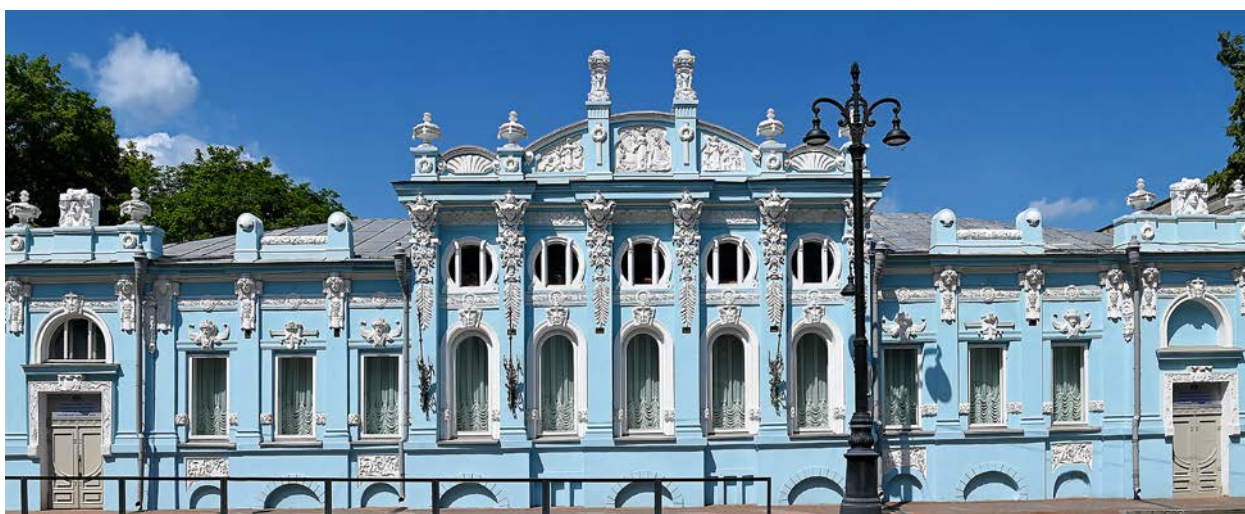
«Мониторинг природных и техногенных систем»

ПРОГРАММА

13 – 14 ноября 2025 г.

**Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук
г. Пермь**

Программа Школы молодых ученых включена в план Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике и соответствует тематике Пермского научно-образовательного центра мирового уровня «Рациональное недропользование».



13 ноября Четверг

9:45 - 10:00	Открытие работы Школы
10:00 - 10:45	Виноградов Юрий Анатольевич Камчатское мегаземлетрясение 29.07.2025. Причины и последствия.
10:45 - 11:30	Федоров Андрей Викторович Геофизический мониторинг опасных криолитосферных явлений в Арктическом регионе
11:30 – 11:45	Кофе
11:45 - 12:30	Журавков Михаил Анатольевич Системы сопряженного интеллектуального геомеханического мониторинга породных массивов в зонах перехода тектонического нарушения подземными горными работами
12:30 – 13:15	Обед
13:15 - 14:00	Плешко Михаил Степанович Геомеханическое сопровождение и мониторинг при строительстве глубоких горных выработок
14:00 - 14:45	Карасев Максим Анатольевич Геомеханические модели расчета несущей способности и длительного деформирования породных целиков представленных слоистыми средами
14:45 – 15:00	Кофе
15:00 - 15:45	Гусев Георгий Николаевич Интеллектуальный мониторинг как метод обеспечения безопасной эксплуатации строительных сооружений в условиях непроектного техногенного или природного воздействия
15:45 – 16:15	Ольховский Дмитрий Владимирович Мастер-класс «Методы исследования эндогенной пожароопасности сульфидных руд»

Виноградов Юрий Анатольевич



Доктор технических наук, директор Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», хорошо известный специалист в области экспериментальной геофизики. Область научных интересов – разработка технических комплексов и систем для регистрации сейсмических и инфразвуковых волн. Более 30 лет проработал в Арктике, совершил более 40 экспедиций на архипелаг Шпицберген, где под его руководством, был создан экспериментальный аппаратно-программный комплекс сейсмоинфразвукового мониторинга айсбергообразования на кромках выводных ледников арктических островов и разработана оригинальная методика геофизического мониторинга процессов деструкции криосферы. Член Управляющего Совета «Международного сейсмологического центра» (International Seismological Center, Англия), Наблюдательного совета по координации деятельности Российского научного центра на архипелаге

Шпицберген, научно-экспертного совета Государственной комиссии по вопросам развития Арктики и других.

Камчатское мегаземлетрясение 29.07.2025. Причины и последствия

29 июля 2025 г. в 23:24 UTC (30 июля в 11:24 местного времени) в сейсмофокальной зоне южной Камчатки на глубине 32 произошло одно из сильнейших землетрясений 21 века магнитудой $M_w=8.8$, вызвавшее волну цунами распространившуюся по всему Тихому океану. Землетрясению предшествовало несколько форшоковых последовательностей - Вилучинское (03.04.2023), Шипунское-I (17.08.2024) и Шипунское-II (20.07.2025) землетрясения, которые вероятно имеют связь с главным толчком и могут рассматриваться как единый процесс. После основного толчка было зарегистрировано более 30.000 афтершоков, зона разрыва протянулась более чем на 600 км.

Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба» проводит непрерывный мониторинг сейсмической активности территории РФ сетью из 353 сейсмических и 64 ГНСС-станций. Плотная сеть сейсмических станций в ДФО РФ позволила надежно определить параметры землетрясения. Особенностью землетрясения явилось отсутствие краткосрочных предвестников непосредственно перед ним.

Макросейсмический эффект наблюдался на всей территории Камчатского полуострова южнее пос. Ключи, но в целом оказался ниже ожидаемого при таком сильном землетрясении, что по-видимому связано с некоторыми особенностями очаговой области. Землетрясение спровоцировало извержение нескольких активных вулканов на территории Камчатки. Многие характеристики Камчатского землетрясения 2025 года позволяют отождествлять его с Большим Камчатским землетрясением 1952 года. Обсуждению особенностей Камчатского мегаземлетрясения посвящен этот доклад.

Федоров Андрей Викторович



Кандидат физико-математических наук, директор Кольского филиала ФИЦ Единая Геофизическая служба РАН. Область научных интересов связана с изучением сейсмических и инфразвуковых эффектов геодинамических процессов в Арктике. Участвовал в ряде российских и международных проектов по изучению сейсмических процессов в арктическом регионе, разработке и развитию аппаратно-программных комплексов сейсмо-инфразвуковых наблюдений в Арктике. Руководил научными проектами по изучению сейсмических и инфразвуковых проявлений процессов деструкции арктической криосферы. В область научных интересов также входит ряд направлений по прикладному применению принципов сейсмического и инфразвукового мониторинга для изучения опасных геофизических процессов, таких как айсбергообразование и сход снежных лавин.

Геофизический мониторинг опасных криолитосферных явлений в Арктическом регионе

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) занимает огромные площади суши и акваторий. Крупными государственными и частными компаниями реализуются и планируются масштабные проекты по освоению арктического региона. Под эти проекты формируются протяженные логистические маршруты и промышленные площадки. При этом масштаб и амбициозность планов освоения макрорегиона не соответствуют уровню научного знания об опасных природных процессах и явлениях, представляющих угрозу наземной и морской инфраструктуре.

Существующий уровень обеспеченности геофизическими наблюдениями в российской Арктике не позволяет проводить детальное районирование площадей по уровню угроз различных опасных природных явлений, а соответственно обосновано оценивать риски для реализации проектов.

Многие опасные природные явления, такие как взрывная дегазация многолетнемерзлых пород с образованием больших кратеров газового выброса, до недавнего времени были в принципе не известны науке и не учитывались как риск фактор для наземной и главное морской инфраструктуры. Помимо этого, шельфовые промыслы в арктических морях подвержены айсберговой угрозе. Причем айсберги представляют опасность не только надводным, но и донным коммуникациям.

Протяженные линейные объекты транспортной и энергетической инфраструктуры потенциально подвержены лавинной угрозе в горной местности арктического региона.

Значительно расширить научное знание о проявлениях опасных природных процессов и явлений в Арктической зоне Российской Федерации могут детальные геофизические наблюдения комплексами сейсмических и низкочастотных акустических (инфразвуковых) датчиков.

Журавков Михаил Анатольевич



Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета (г. Минск, Беларусь), профессор Харбинского университета технологий (г. Харбин, Китай), ведущий научный сотрудник Чунцинского научно-исследовательского института (г. Чунцин, Китай). Является основателем и руководителем белорусской научной школы по геомеханике, математическим и компьютерным методам моделирования геомеханических процессов. К настоящему времени им опубликовано более 700 научных работ, среди которых 11 монографий, 16 учебников, учебных пособий, курсов лекций, более 350 научных статей, 6 авторских свидетельств.

Системы сопряженного интеллектуального геомеханического мониторинга породных массивов в зонах перехода тектонического нарушения подземными горными работами

В докладе рассматривается комплекс вопросов, связанный с изучением геомеханического состояния породной толщи в области тектонического нарушения в случае ведения горных работ вблизи такового и его пересечения подземными выработками.

Для прогноза опасных деформационных процессов в районах геологических нарушений (смещения большой амплитуды, динамические срывы, техногенные землетрясения) весьма важно исследовать изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) в породной толще вследствие ведения масштабных горных работ. Для прогнозирования и управления геомеханическими процессами в таких областях необходимо в первую очередь хорошо представлять себе механизм протекания деформационных процессов.

В свою очередь для успешного решения таких задач эффективным является построение комплексной системы регионального геомеханического мониторинга.

Систему регионального геомеханического мониторинга определяем, как автоматизированную компьютерную информационно-измерительную и аналитическую систему режимного (непрерывного, периодического, заданного) контроля, диагностики, моделирования и прогноза общего геомеханического и связанного с ним горно-экологического состояния подземного, приповерхностного и поверхностного пространства экосистемы в регионе крупномасштабного освоения подземного и приповерхностного пространства породной толщи.

Геомеханические исследования связаны с обработкой и анализом больших массивов данных (геологической, маркшейдерской, горнотехнической и др. информации), с построением и работой со сложными комплексными моделями подрабатываемых участков породных массивов, с решением разнообразных сопряженных задач (задачи гидрогеомеханики, геогазодинамики, геодинамики и т.д.). Кроме того, геомеханическое обеспечение и сопровождение горных работ без применения информационных систем и технологий сегодня невозможно.

Подчеркнем, что СРГМ в нашем понимании затрагивает более широкий перечень задач, и не является просто информационно-измерительной и контрольно-режимной системой.

Плешко Михаил Степанович



Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство подземных сооружений и горных предприятий» Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» (г. Москва). Область научных интересов: строительная геотехнология и геомеханика. По сведениям РИНЦ – автор и соавтор 142 публикаций, которые процитированы более 700 раз.

Геомеханическое сопровождение и мониторинг при строительстве глубоких горных выработок

Современное развитие мировой горнодобывающей промышленности характеризуется постоянным увеличением глубин разработки месторождений и истощением запасов, расположенных вблизи земной поверхности. В Южной Африке яркими примерами такой тенденции являются рудники Mponeng Gold Mine и TauTona Mine (глубина разработки около 4,0 км), Индии – Kolar Gold Mine (3,2 км), Канаде – Kidd Mine и Laronde Mine (свыше 3,0 км), Бразилии – комплекс рудников Morro Velho (3,0 км), России – рудник «Скалистый» Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель» (свыше 2,0 км).

С увеличением глубины горных работ поведение пород и устойчивость выработок все больше зависит от напряженного состояния массива. Рост гравитационных напряжений с глубиной, тектонические воздействия, формирование зон концентраций напряжений в массиве в окрестности горных выработок являются причинами неконтролируемых проявлений горного давления, активизации сейсмических событий, сопровождающихся резким выплеском энергии и, как следствие, горными ударами. Они представляют большую опасность для жизни и здоровья горняков, а также приводят к масштабным повреждениям подземной инфраструктуры и горной техники.

Надежный прогноз и оценка устойчивости выработок, а также интенсивности динамических проявлений горного давления представляет собой сложную научно-практическую задачу, которая может решаться с использованием аналитических, эмпирических и численных методов.

Аналитические методы с успехом используются для определения напряжений и деформаций в окрестности протяжённых горных выработок простого поперечного сечения, прежде всего круглого и эллиптического.

Эмпирические методы в большинстве случаев основаны на применении различных качественных характеристик пород и рейтингов устойчивости массивов. Наибольшее распространение для решения практических геомеханических задач получили метод RMR, предложенный З. Бенявским и критерий Бартона (Q). По мере развития геомеханики критерии уточнялись и дополнялись, а также появлялись их модифицированные версии для решения более узких задач, например, рейтинг для оценки устойчивости слоистой кровли выработок на угольных шахтах CMRR [9].

Интенсивное развитие численных методов связано с совершенствованием компьютерной техники и специального программного обеспечения, позволяющего реализовать методы

конечных, граничных, дискретных элементов в плоской и пространственной постановке задачи. Сегодня, с использованием этих методов успешно решается самый широкий класс геомеханических задач, от определения полей напряжений в крупных геологических структурах, до изучения специфических особенностей контактного взаимодействия крепи и пород.

Залогом успешного применения любого из рассмотренных выше методов является наличие полной и объективной геологической и геомеханической информации об изучаемом объекте. При освоении глубоких и сверхглубоких месторождений получение таких данных по понятным причинам весьма затруднено и требует значительных затрат времени и ресурсов.

Примеры организации эффективного геомеханического сопровождения проходки глубоких горных выработок будут рассмотрены в рамках доклада.

.



Доктор технических наук, профессор кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений под руководством профессора А.Г. Протосени Санкт-Петербургского горного университета им. Екатерины II. Сфера научных интересов: геомеханика, механика подземных сооружений, численные методы в геомеханике и механике подземных сооружений, модели деформирования геоматериалов и строительных материалов.

Геомеханические модели расчета несущей способности и длительного деформирования породных целиков представленных слоистыми средами

Несущая способность породных целиков и особенности их деформирования в кратковременном и длительном периоде в значительной степени определяют выбор параметров системы отработки продуктивных пластов. В настоящее время наибольшее распространение получили методы расчета целиков, основанные на применении численных методов анализа, которые позволяют выполнять прогноз их напряженно-деформированного состояния с учетом фактических горно-геологических и геомеханических условий, а также принимать во внимание сложный характер деформирования самой породы идеализируемой моделью ее деформирования. Основное внимание в работах исследователей уделяется изотропным породным массивам, в то время как породным массивам, представленным слоистыми средами, уделяется значительно меньшее внимание. Настоящий доклад как раз таки и посвящен особенностям идеализации слоистых породных массивов при решении краевых задач, с целью определения несущей способности и длительному деформированию породных целиков.

В докладе значительное внимание уделено анализу состояния проблемы разработки и совершенствования моделей деформирования слоистых сред, представлены подходы к идеализации слоистого породного массива как в рамках механики сплошной среды, так и в рамках механики дискретных сред. Выполнено обобщение лабораторных и натурных исследований деформирования и разрушения слоистых сред и, в частности, породных целиков, сложенных слоистыми средами. Представлены основные положения подготовки численных моделей прогноза напряженно-деформированного состояния породных целиков для определения их несущей способности и характера деформирования во времени. На основании изложенных подходов будут представлены результаты расчета влияния параметров глинистости породных целиков, сложенных глинисто-соляными отложениями, влияния мощности глинистых прослоев, их количества, а также ряда других параметров. Представлены рекомендации по дальнейшему совершенствованию геомеханических моделей слоистых сред.



Кандидат технических наук, заведующий лабораторией Интеллектуального мониторинга Института механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь). Специализируется в области разработки и внедрения систем деформационного мониторинга инженерных и строительных объектов. Более 20 лет занимается вопросами технического и научного сопровождения сложных строительных объектов, которые подверглись непроектному техногенному или природному воздействию и утратили нормативное техническое состояние. За этот период системами деформационного мониторинга оснащено более 50-ти строительных объектов на территории РФ и СНГ.

Интеллектуальный мониторинг как метод обеспечения безопасной эксплуатации строительных сооружений в условиях непроектного техногенного или природного воздействия

Современные строительные сооружения являются сложными инженерными объектами как с точки зрения конструктивных особенностей, так и с точки зрения эксплуатации в агрессивных условиях окружающей среды. Выполненные из железобетона, армокаменных материалов или различных сталей, такие сооружения испытывают сложные комбинации квазистатических и динамических нагрузжений на всем периоде, начиная с первых этапов строительства и на протяжении всей эксплуатации. Наличие же агрессивной окружающей среды в виде сезонных перепадов температур, ветровых и иных климатических воздействий вкупе с техногенным воздействием различного вида, существенным образом увеличивают риски развития непроектных в общем и аварийных, в частности, состояний ответственных конструкций. Таким образом, задача о контроле деформированного состояния конструкций в такого рода условиях является не просто актуальной, а критически важной в аспекте безопасной эксплуатации.

Одним из вариантов решения проблемы оценки текущего деформационного состояния такого рода систем является разработка и реализация различных вариантов систем интеллектуального деформационного мониторинга строительных объектов. Система интеллектуального мониторинга – это комплекс мероприятий, который призван обеспечить безаварийную и бесперебойную работу ответственных инженерных сооружений на всем периоде их жизнедеятельности. Данный комплекс мероприятий строго иерархичен и подчиняется жесткой логике проектирования, внедрения и развития систем и включает в себя различные этапы. К ним относятся: техническое обследование строительных конструкций, математическое моделирование объекта мониторинга с оценкой критических состояний как всего сооружений, так и отдельных элементов в условиях предполагаемой эксплуатации, оценка вариантов развития аварийных ситуаций по вероятным сценариям нарушения работоспособности, разработка, проектирование и реализация систем мониторинга деформационного состояния в условиях эксплуатации. Все этапы являются важными и необходимыми в смысле составляющей любой действующей системы интеллектуального мониторинга деформационного состояния.

Мастер-класс

«Методы исследования эндогенной пожароопасности сульфидных руд»



Ольховский Дмитрий Владимирович

Кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории Развития горного производства Горного института УрО РАН (г. Пермь). Область научных интересов связана с исследованием формирования микроклиматическими условий в шахтах и рудниках и способов их управления.

Известно, что увеличение температуры приводит к росту скорости окислительных реакций сульфидных руд. В свою очередь горные предприятия из-за истощения легкодоступных полезных ископаемых вынуждены вести добычу на все более глубоких месторождениях с более высокой температурой пород, что приводит к увеличению риска возникновения эндогенного пожара. На сегодня не существует единой принятой методики по оценке склонности сульфидных руд к самовозгоранию и требуемого времени для саморазогрева, что не позволяет разрабатывать технические решения по предупреждению возникновения пожаров на горных предприятиях.

В докладе кратко рассмотрен опыт угольной промышленности в борьбе с эндогенными пожарами. Приведены результаты отечественных и зарубежных исследований склонности сульфидных руд к самовозгоранию и их анализ практического применения. Предложен подход к решению задачи по оценке пожарной опасности сульфидных руд и метод исследования. Представлены полученные результаты и направление дальнейших исследований.

14 ноября Пятница	
10:00 - 10:45	Егорова Анна Михайловна Мониторинг условий труда и состояние здоровья сотрудников в горнорудной промышленности
10:45 - 11:30	Туманов Андрей Владиславович Модели и параметры нелинейной механики повреждений при сложном напряженном состоянии с приложением к материалам и элементам конструкций
11:30 – 11:45	Кофе
11:45 - 12:30	Краус Евгений Иванович Численное моделирование высокоскоростного взаимодействия гетерогенных металлокерамических композитов
12:15 – 13:00	Обед
13:00 - 13:45	Зиновьева Татьяна Владимировна Оценка прочности нефтяного вертикального резервуара по теориям стержней и оболочек
13:45 - 14:15	Оборин Владимир Александрович Мастер-класс «Количественный анализ морфологии поверхности разрушения материалов по данным интерферометра-профилометра New-View»
14:15 – 14:45	Галкина Елизавета Борисовна Мастер-класс «Определение упругих постоянных материалов на основе волоконно-оптических измерений деформаций балочных образцов при четырёхточечном изгибе»
14:45 – 15:00	Заккрытие работы Школы

Егорова Анна Михайловна



Доктор медицинских наук. Работает в ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (г. Мытищи, Московская обл.). Под руководством А.М. Егоровой защищены 5 кандидатских диссертаций по гигиене. Участвует в работе по выполнению Отраслевых научно-исследовательских программ Роспотребнадзора, грантах РНФ, подготовке СанПиН, нормативно-методических документов Роспотребнадзора, рекомендаций для практического здравоохранения и различных отраслей промышленности: металлургической, горнорудной и других. Эксперт по физическим факторам, гигиене и медицине труда, профессиональному риску. Является автором более 100 научных трудов, 7 патентов, монографии, учебных пособий по гигиене.

Мониторинг условий труда и состояние здоровья сотрудников в горнорудной промышленности

Добыча полезных ископаемых является одной из наиболее значимых отраслей страны. Проведен мониторинг условий труда в горнорудной промышленности, гигиеническая оценка вредных производственных факторов, которые могут повлиять на здоровье работников. Наиболее вредные условия труда установлены у рабочих, занятых на подземных работах по сравнению с работой в карьерах. Проанализирована структура впервые выявленной профессиональной заболеваемости работников предприятия горнорудной промышленности на основе документов статистической отчетности о вновь установленных профессиональных заболеваниях и гигиенических характеристиках условий труда.

Одной из проблем горнорудной промышленности в настоящее время являются климатические особенности отдельных регионов, например, Арктической зоны. Таким образом, предприятия горнодобывающей отрасли существенно отличаются по условиям труда. Это и предприятия, имеющие вековую историю, и новые ГОКи. Труд работников основных профессий горнорудной промышленности характеризуется воздействием комплекса вредных и опасных производственных факторов: пылевой фактор, шум, вибрация, неблагоприятный микроклимат, вынужденная рабочая поза, высокая напряженность труда и др. В последние годы воздействие некоторых вредных производственных факторов удалось минимизировать с учетом применения самоходной техники с кондиционированием воздуха, шумо и виброгасящего оборудования, совершенствования технологических и медико-профилактических мероприятий.

Вместе с тем по данным Росстата в горнорудной промышленности в последние годы отмечен наибольший удельный вес численности работников, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда по видам экономической деятельности, особенно в добыче угля и металлических руд. Наибольший риск приобретения профессиональной патологии в зависимости от профессий отмечен у проходчиков и горнорабочих очистного забоя. Предложен комплекс медико-профилактических мероприятий и мероприятия по мониторингу состояния здоровья работников.

Туманов Андрей Владиславович



Кандидат технических наук, заведующий лабораторией прочности Института энергетики и перспективных технологий ФИЦ КазНЦ РАН. Область научных интересов: механика поврежденного континуума, механика трещин. По сведениям РИНЦ – автор и соавтор более 90 публикаций, которые процитированы более 800 раз.

Модели и параметры нелинейной механики повреждений при сложном напряженном состоянии с приложением к материалам и элементам конструкций

Лекция посвящена разработке методов оценки состояния и прогнозирования остаточной долговечности материалов при статическом и циклическом деформировании на стадиях накопления и развития повреждений в условиях сложного напряженного состояния при повышенных температурах.

Кратко изложен анализ известных подходов, моделей и методов нелинейной механики поврежденной среды, на основе которого сформулирована методология исследований состояния материалов и элементов конструкций при взаимодействии усталости и ползучести в условиях сложного напряженного состояния. Представлены разработанные модели, характеристики и параметры состояния материалов и элементов конструкций на стадиях накопления и развития повреждений, учитывающие нелинейный характер деформирования, эффекты многоосности нагружения и нелинейный характер взаимодействия усталости и ползучести при повышенных температурах.

Рассмотрены численные методы моделирования процессов накопления и развития повреждений, методы определения параметров разрабатываемых моделей и методы прогнозирования остаточной долговечности при сложном напряженном состоянии в условиях взаимодействия усталости и ползучести.

Продемонстрированы результаты численных и экспериментальных параметрических исследований в порядке обоснования и верификации разработанных моделей и методов с оценкой их чувствительности к условиям нагружения и механическим свойствам материала.

В заключении представлены перспективы использования рассматриваемых моделей и методов для поисковых исследований и прогнозирования остаточной долговечности элементов конструкций на стадиях накопления и развития повреждений.

Краус Евгений Иванович



Доктор физико-математических наук, ио директора Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск). Специалист в области моделирования процессов деформирования и разрушения при высокоскоростном взаимодействии твердых тел. Им получено термодинамически полное уравнение состояния, описывающее поведение материалов при сверхвысоких давлениях и температурах, возникающих при скоростях столкновения до 20 км/с. Программный комплекс, созданный Краусом Е.И. для космической отрасли России, позволяет проводить моделирование внештатных ситуаций космических аппаратов, как на орбите, так и на поверхности Земли. В частности, получены данные о состоянии ядерного реактора после аварийного столкновения с Землей, что позволило сделать выводы по степени

радиационной опасности разрушенного объекта, и предусмотреть меры по ликвидации последствий радиационной аварии.

Численное моделирование высокоскоростного взаимодействия гетерогенных металлокерамических композитов

В работе представлен авторский метод прямого численного моделирования гетерогенных сред, с помощью которого установлены закономерности динамического отклика, деформирования и разрушения гетерогенной среды при ударном высокоскоростном взаимодействии в сложных условиях нагружения, в рамках которого:

- разработано малопараметрическое термодинамическое уравнение состояния конденсированной среды с учетом фазовых переходов с минимальным числом параметров в качестве начальных данных;
- разработан гибридный дискретно-континуальный (сеточно-бессеточный) Лагранжевый подход к решению высокоскоростных нестационарных задач механики деформируемого твердого тела, который позволяет моделировать процесс разрушения до исчерпания запаса кинетической энергии ударника или его полной фрагментации;
- построена замкнутая упругопластическая дискретная модель гетерогенной среды для прямого численного моделирования высокоскоростного деформирования и разрушения пространственно армированных металломатричных, металлокерамических композитов;
- создан программный пакет «REACTOR 3D» для моделирования сценариев поведения технических изделий в реальных условиях функционирования (скорости удара до 20 км/с), который позволяет конструировать гетерогенные материалы с заданными свойствами и определять предельные величины на разрушение и физико-механические свойства на основе знаний свойств гомогенных компонентов и структуры гетерогенной среды.

Пакет успешно внедрён на ряде ведущих промышленных предприятий и интегрирован в коммерческий пакет CAE-Fidesys, что подтверждает его практическую ценность и научную достоверность.

Зиновьева Татьяна Владимировна



Кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории мехатроники Института проблем машиноведения РАН (г. Санкт-Петербург). Область научных интересов – аналитическое и численное моделирование деформируемых твёрдых тел. Автор более 50 публикаций, в том числе 3 учебных пособий.

Оценка прочности нефтяного вертикального резервуара по теориям стержней и оболочек

Стальные вертикальные резервуары широко используются для хранения нефти и нефтепродуктов. Учитывая характер содержащихся веществ, нефтяные резервуары считаются взрыво- и пожароопасными объектами. Если резервуар не выдержит нагрузки, то последствия могут быть катастрофическими – от локального пожара до глобального экологического кризиса. Для повышения эксплуатационной надежности резервуара необходимо проведение оценки его прочности и прогнозирования состояния с учетом реальных нагрузок.

Рассматриваются две модели резервуара с цилиндрической стенкой и круглым днищем переменной толщины. Первая модель построена по теории упругих растяжимых стержней, вторая – по теории тонких классических оболочек вращения, основанной на механике Лагранжа. В обеих моделях учтены нагрузки от веса, давления содержимой жидкости и реакции грунтового основания. Проведены расчеты типового стального резервуара. Найден диапазон значений жесткости грунтового основания, при которых напряжения в резервуаре удовлетворяют критерию прочности.

Во время эксплуатации сырьевые и технологические резервуары подвергаются негативному воздействию водорода, поскольку они контактируют с коррозионно-активными сероводородсодержащими влажными средами. Водород вызывает растрескивание и расслоение стали. Локальная коррозия может привести к появлению сквозных язв в корпусе резервуара уже через пару лет. Математическое моделирование позволяет описать водородную деградацию стали, предсказать места возникновения коррозии резервуара и глубину поврежденности металлического листа.

Мастер-класс

«Количественный анализ морфологии поверхности разрушения материалов по данным интерферометра-профилометра New-View»



Оборин Владимир Александрович

Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь). Ключевыми направлениями исследований являются экспериментальное и теоретическое изучение усталостных свойств материалов в области сверхмногоциклового усталости, количественный анализ морфологии поверхности разрушения по данным оптической интерферометрии. По сведениям РИНЦ - автор 180 публикации, которые процитированы 670 раз, в том числе 119 – из зарубежных журналов.

Фрактография всегда была полезным инструментом для понимания механизмов разрушения. Микроструктурные неоднородности - границы зерен, выделения второй фазы, дислокационные скопления, контролируют способность материала к зарождению и распространению трещин и могут быть идентифицированы на поверхности разрушения как более или менее легкие пути развития последних. Благодаря техническому прогрессу в исследовании изображений методами количественного анализа морфологии поверхностей разрушения развивались подходы, позволяющие установление корреляций между характеристиками шероховатости и макроскопическими механическими свойствами. Трёхмерный образ поверхности, полученный с помощью интерферометра-профилометра New View 5000, имеет цифровой вид, что позволяет с помощью сопровождающего или внешнего программного обеспечения непосредственно проводить обработку и анализ данных.

Принцип работы измерительного комплекса NewView 5000 для получения трехмерного изображения поверхности основан на явлении интерференции. Луч от источника света микроскопа внутри интерферометрического объектива разделяется на две части. Одна часть отражается от изучаемой поверхности, а другая – от внутренней высококачественной опорной поверхности объектива. Суперпозиция этих двух лучей дает интерференционную картину, представляющую собой набор светлых и темных полос и отображающую структуру поверхности. Изображение поверхности образца с наложенной интерференционной картиной фиксируется аналоговой видеокамерой, подключенной через плату видеозахвата к компьютеру и контрольному монитору.

Процесс сканирования заключается в последовательном вертикальном перемещении объектива микроскопа с шагом порядка 75 нм с помощью пьезоэлектрического датчика. Полученный цифровой набор интерференционных картин поверхности образца методом FDA-анализа (Frequency Domain Analysis) пересчитывается в трехмерный цифровой образ исследуемой поверхности. Использование этого метода позволяет для любого объектива рассчитать вертикальное положение точек поверхности с точностью 0,1 нм. При этом горизонтальная разрешающая способность не меняется и соответствует разрешающей способности оптических микроскопов.

В рамках мастер-класса будут продемонстрированы особенности измерения морфологии поверхности разрушения титановых сплавов после сверхмногоциклового испытания.

Мастер-класс

«Определение упругих постоянных материалов на основе волоконно-оптических измерений деформаций при четырёхточечном изгибе»



Галкина Елизавета Борисовна

Младший научный сотрудник лаборатории Интеллектуального мониторинга Института механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь). Автор 20 публикаций в РИНЦ за последние 5 лет. Область научных интересов связана с изучением механических свойств различных материалов, в том числе с применением волоконно-оптических технологий.

Изучение механических свойств материалов является фундаментальной основой для проектирования и расчета надежных инженерных конструкций. Ряд конструкционных и природных материалов обладает свойством разномодульности, проявляющимся в значительном различии сопротивления деформациям растяжения и сжатия. Пренебрежение этой особенностью может привести к некорректной оценке напряженно-деформированного состояния, неэффективному использованию материала и риску разрушения конструкции.

Разработан метод экспериментального определения модулей упругости и коэффициентов Пуассона при растяжении и сжатии. Метод основан на использовании четырёхточечного изгиба прямоугольного образца, с применением волоконно-оптических датчиков на брэгговских решётках. Для обработки результатов измерений выведены аналитические соотношения, для изгиба прямоугольной балки, изготовленной из материала с различными модулями сжатия и растяжения, при условии выполнения гипотезы Бернулли–Эйлера.

В рамках мастер-класса будут продемонстрированы особенности использования волоконно-оптических датчиков для изучения механических свойств материалов. Рассмотрены варианты крепления датчиков к поверхности образцов. Представлены результаты апробации метода на различных материалах, включая анализ погрешностей определения модулей упругости и коэффициентов Пуассона.



Пермь, набережная.