

Приложение к отчету о научной
и научно-организационной
деятельности
2020 - 2024

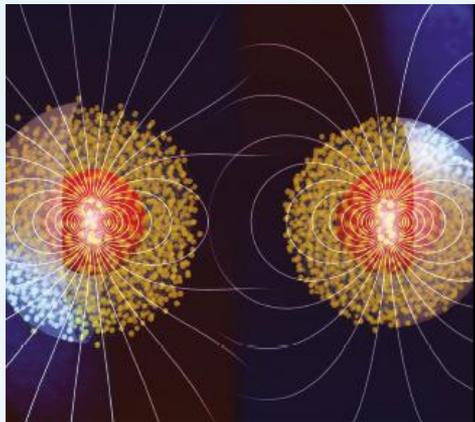
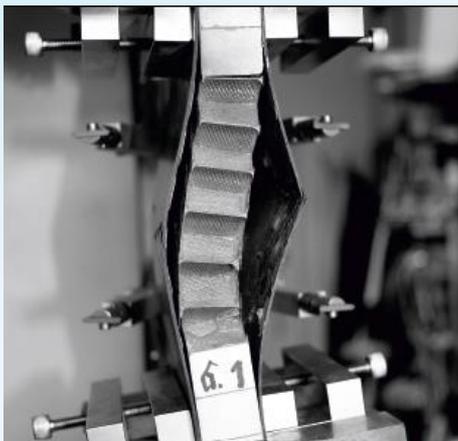
Основные фундаментальные и прикладные результаты



Институт механики сплошных сред
Уральского отделения Российской академии наук
филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Пермского федерального исследовательского центра
Уральского отделения Российской академии наук

Механика деформируемого твердого тела

Математическое и физическое моделирование процессов деформирования, разрушения и аномального поведения твердых тел с учетом температурно-временных эффектов, химических и фазовых превращений в материалах, возникновения и развития дефектов

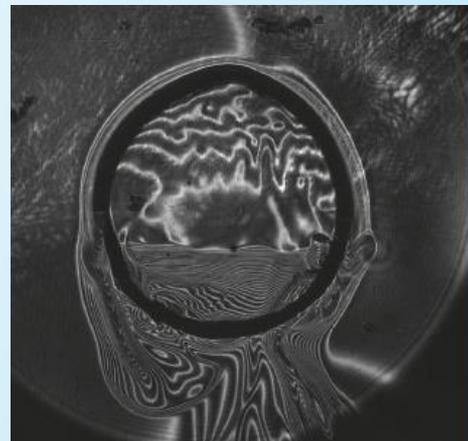


Моделирование систем и процессов

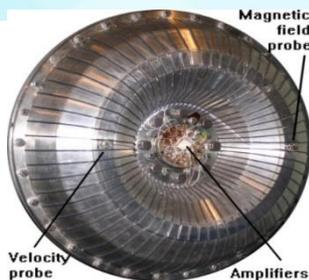
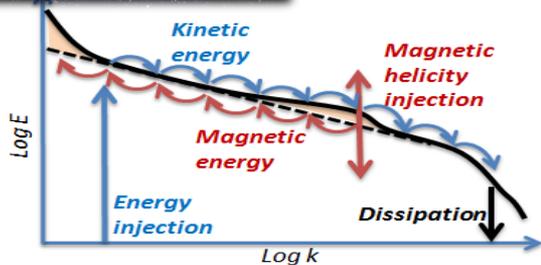
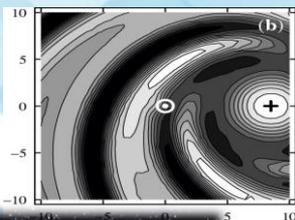
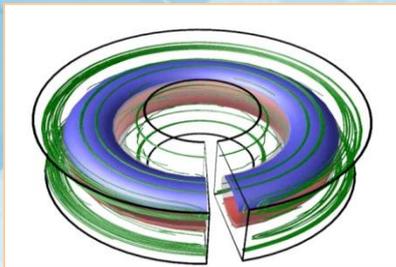
Методы численного эксперимента в механике деформируемого твердого тела и в механике жидкостей

Механика жидкости и газа

Проблемы гидродинамической устойчивости и турбулентности; вынужденные течения, конвекция; физико-химическая гидродинамика полимеров, суспензий и магнитных жидкостей

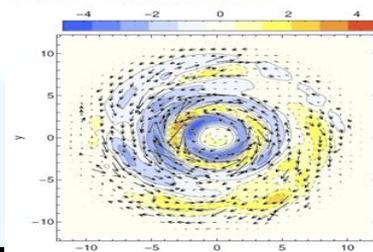


Магнитная гидродинамика – от космического магнетизма до МГД-технологий

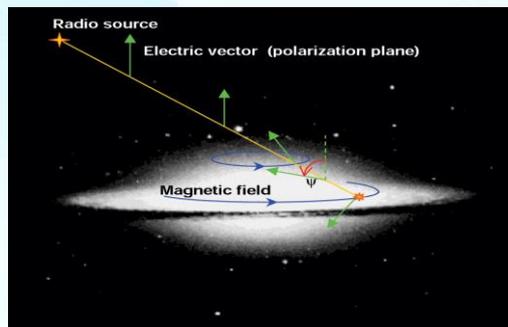
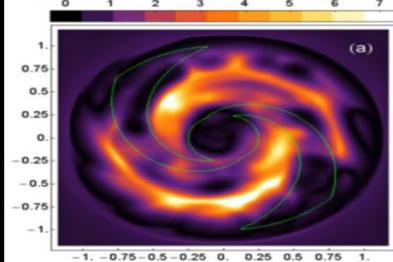


- Особенности турбулентности проводящей жидкости при экстремальных параметрах и нетривиальной топологии
- Каскадные модели МГД-турбулентности
- Многмасштабные модели генерации космических магнитных полей
- Методы и алгоритмы обработки данных радионаблюдений галактических магнитных полей
- Лабораторное моделирование МГД-динамо
- Физические механизмы генерации вихревых течений магнитным полем и генерации магнитного поля турбулентными потоками проводящей жидкости

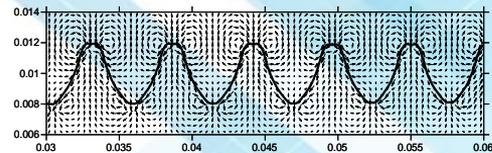
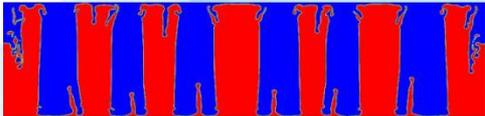
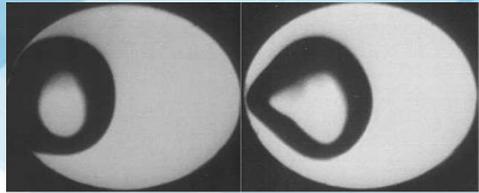
Распределение магнитного поля в галактической плоскости



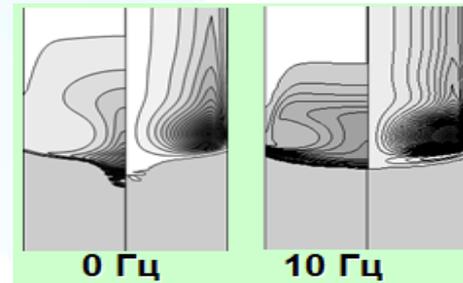
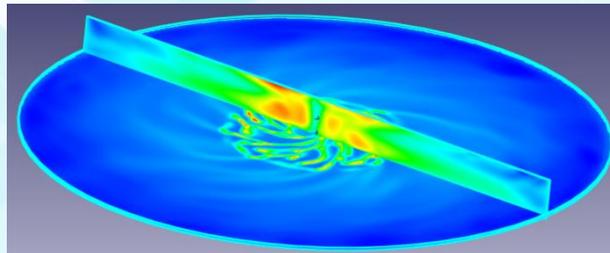
Отношение среднего поля к турбулентным флуктуациям



Гидродинамика многофазных сред

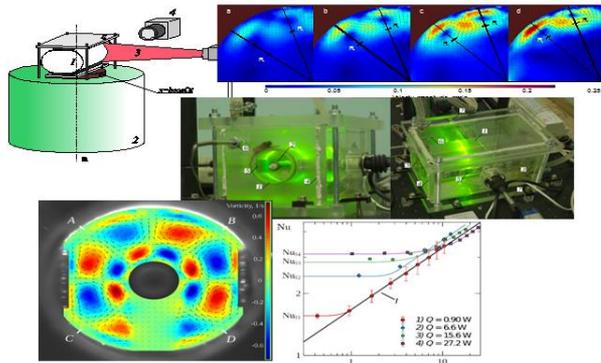


- Динамика поверхностей раздела жидкостей, тонких пленок, суспензий и эмульсий в вибрационных полях
- Влияние вибрационных и электромагнитных полей на процессы смешения и смачивания
- Разработка теоретических основ повышения эффективности процессов разделения фаз с помощью переменных внешних полей
- Теоретические модели и способы управления процессами выращивания кристаллов из расплава с помощью вибрационных и электромагнитных полей
- Моделирование распространения примесей в свободных турбулентных и фильтрационных потоках
- Физические механизмы возникновения крупномасштабных атмосферных вихрей

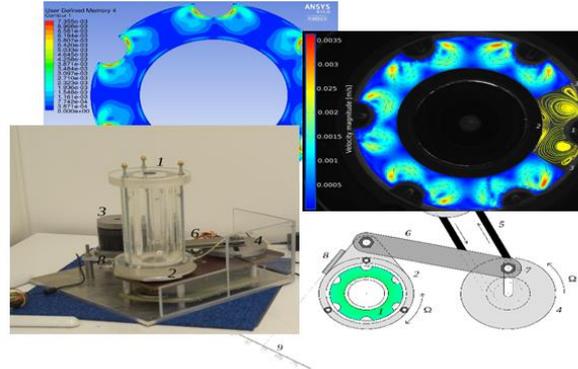


Вибрационная гидродинамика

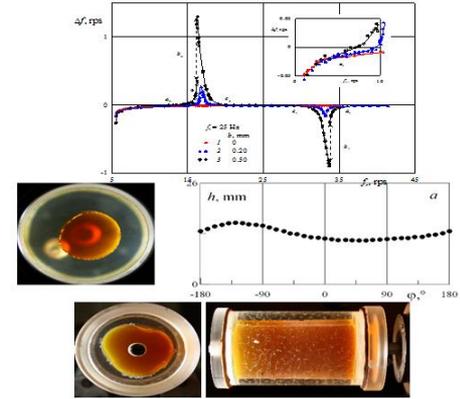
Моделирование виброконвективного тепло-массопереноса в деформируемых контейнерах (химические технологии)



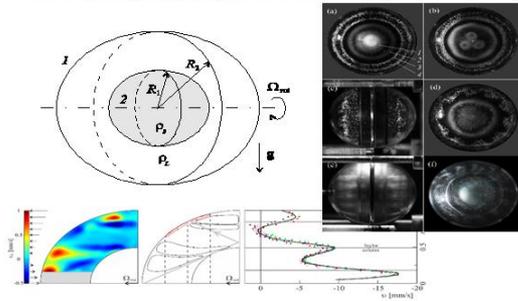
Модельный реактор с вибрационным перемешиванием (биотехнологии)



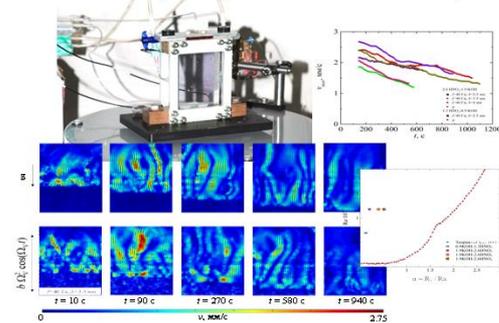
Динамика границы раздела во вращающихся двухфазных системах



Динамика ядра и течения во вращающихся системах (моделирование планетарных систем)

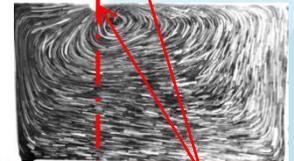
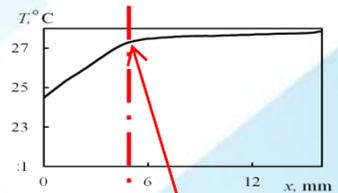
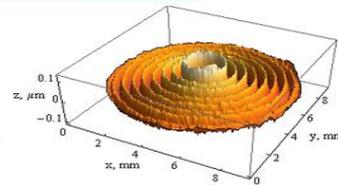
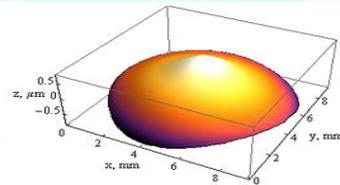
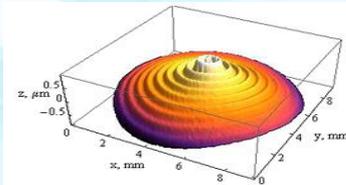
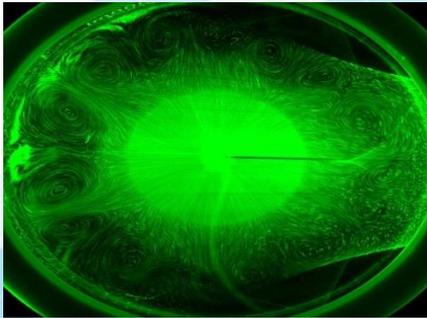
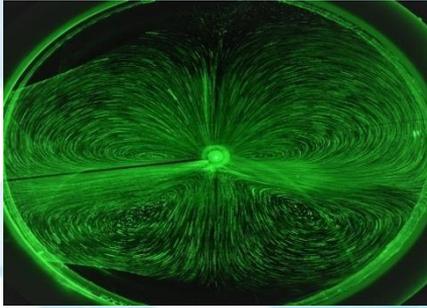
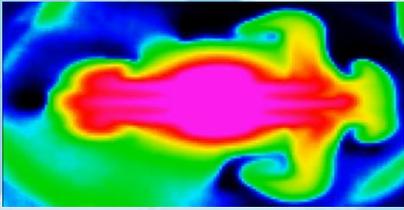


Динамика реагирующих систем смешивающихся жидкостей в переменном поле инерции (химические технологии)



Межфазная гидродинамика

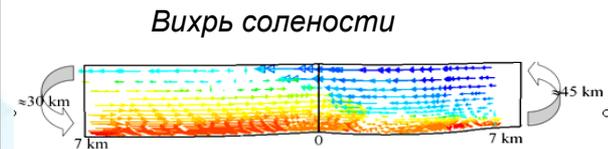
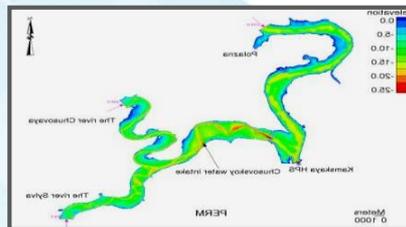
- Разработка методов измерения поверхностных и реологических свойств адсорбированных пленок поверхностно-активных веществ
- Особенности граничных условий и механизмов неустойчивости конвективных течений в системах с межфазной поверхностью, содержащей сурфактант
- Динамика конвективных течений при наличии фазовых переходов в адсорбированных пленках сурфактанта
- Поверхностные механизмы разделения компонент в эвтектических сплавах



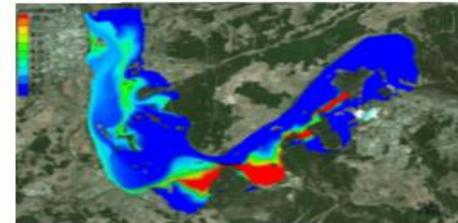
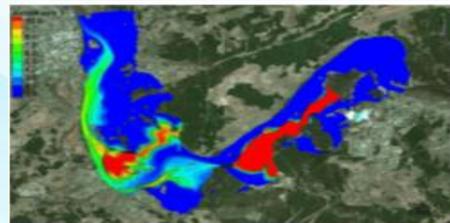
stagnant point

Моделирование риска загрязнения рек

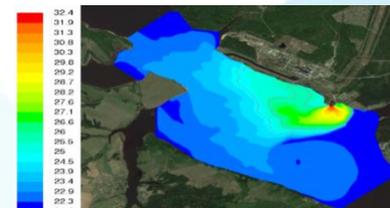
- Распространение примесей в турбулентных потоках на примере слияния рек Чусовая и Сылва, характеризующихся различными гидрохимическими режимами.



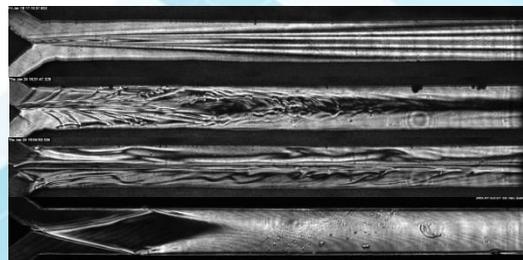
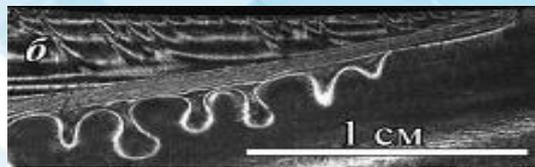
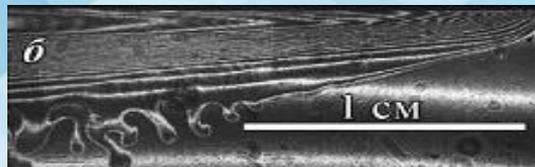
- Моделирование риска загрязнения рек вследствие затопления загрязнённых пойменных водных объектов при прохождении высоких паводков на примере реки Вятка на участке между городами Кирово-Чепецк и Киров.



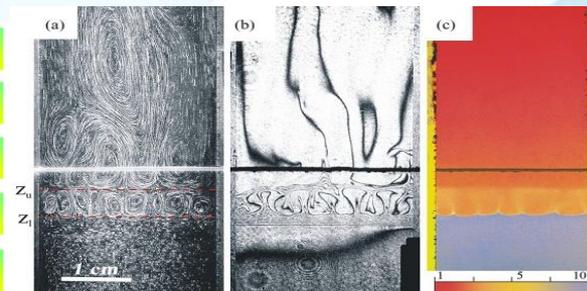
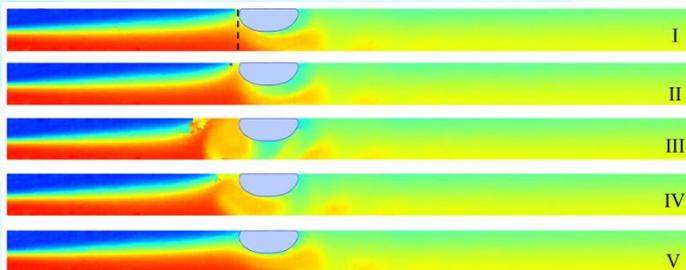
- Оценка зон теплового воздействия Пермской ГРЭС на Камское водохранилище.



Гидродинамика многокомпонентных и реагирующих сред



- Формирование хемоконвективных течений в условиях фронтальной реакции
- Гравитационные типы конвективной неустойчивости в многокомпонентных жидких средах с разной скоростью диффузии компонент
- Динамика зоны смешивания встречных потоков реагирующих сред
- Конвективные механизмы перемешивания реагентов в реакторах проточного типа
- Динамика массообмена в дисперсных системах с химической реакцией



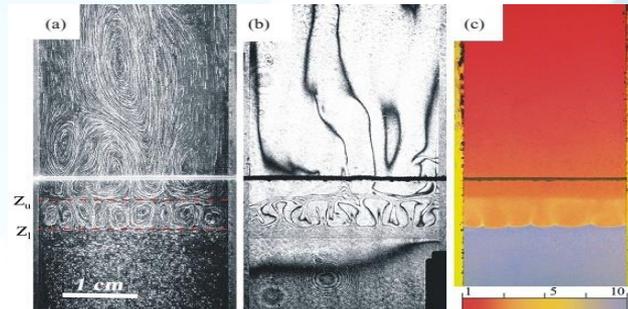
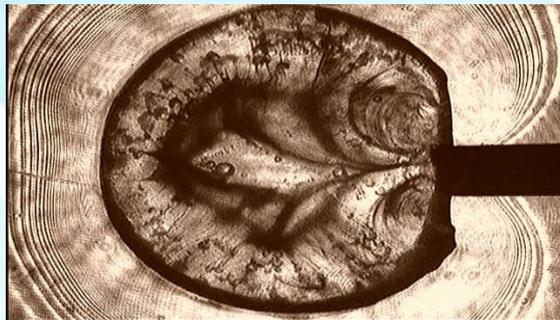
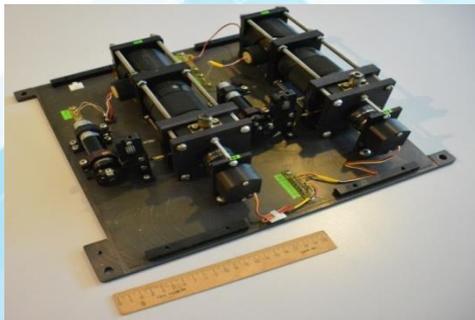
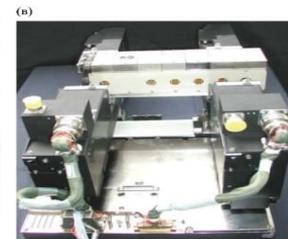
Теоретические и прикладные проблемы поведения жидкостей в условиях микрогравитации



➤ Тепломассообмен в жидкостях и газах оптическими методами на борту орбитальных станций

➤ Фронтальные реакции в условиях космического эксперимента

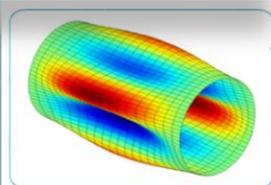
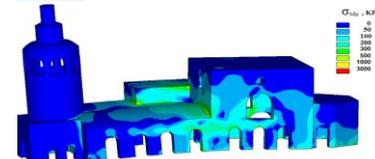
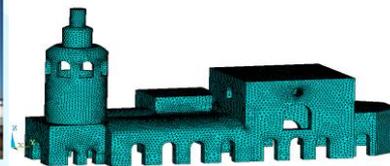
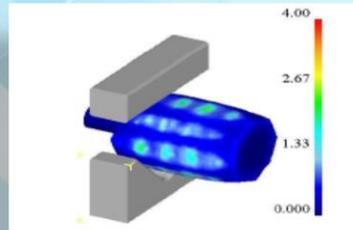
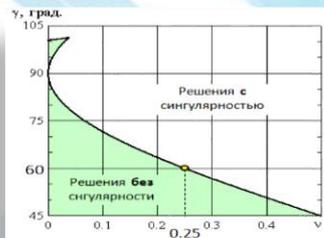
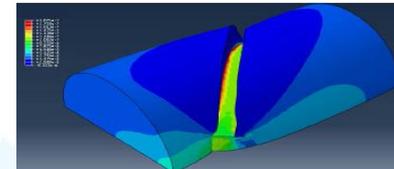
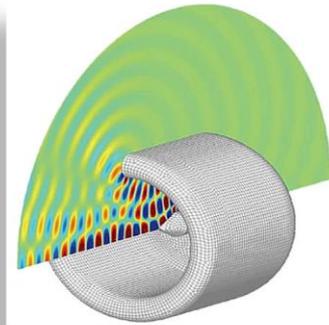
➤ Диффузионные процессы в неравновесных системах жидкостей с межфазной границей в условиях микрогравитации



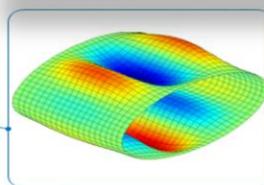
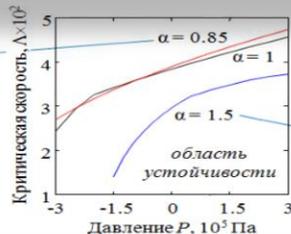
Моделирование деформационного поведения материалов, конструкций и природных объектов

Численная реализация связанных задач механики деформируемого твердого тела:

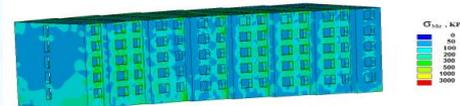
- деформационные процессы в аморфно-кристаллических полимерах с учетом кристаллизации и стеклования;
- сингулярные решения теории упругости и их приложения в механике разрушения и задачах оптимизации геометрии деформируемых тел;
- исследование механических свойств и деформационного поведения полимерных гелей;
- разработка и обоснование математических моделей и алгоритмов, используемых в автоматизированных системах деформационного мониторинга инженерных сооружений и природных объектов.



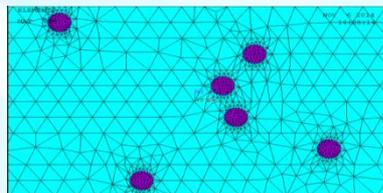
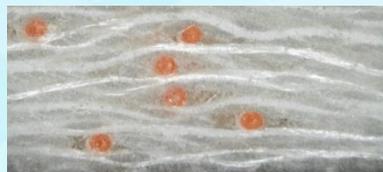
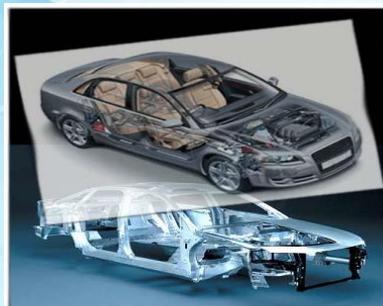
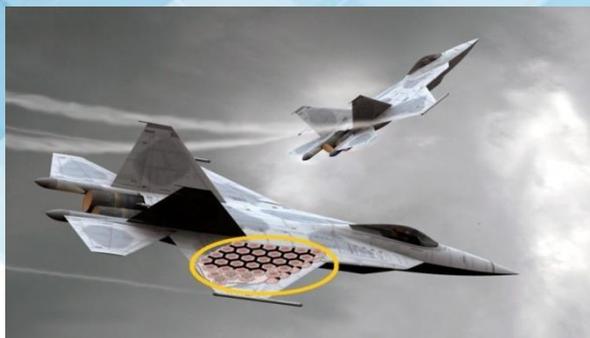
Низшая форма колебаний



Низшая форма колебаний

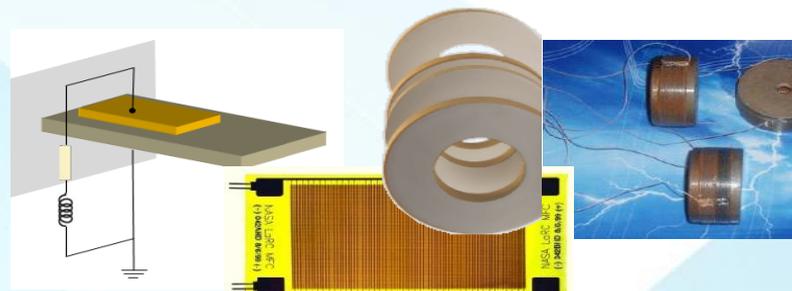


Smart-материалы и конструкции

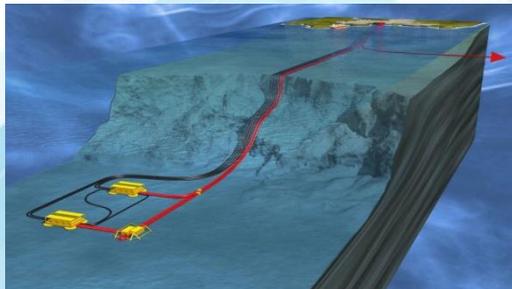


Оптоволоконные датчики

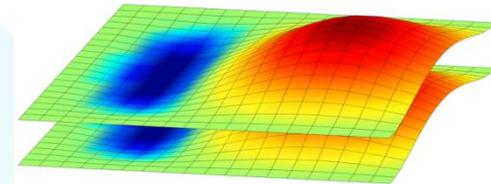
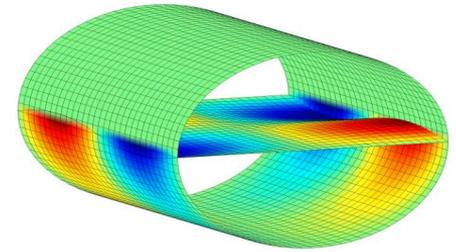
Численные и экспериментальные исследования smart-систем с оптоволоконными датчиками и пьезоэлектрическими элементами, зашунтированными внешними электрическими цепями, для мониторинга состояния конструкции, управления динамическими свойствами, демпфирования гашения колебаний и т.д.



Собственные колебания и устойчивость тонкостенных конструкций, взаимодействующих с жидкостью и газом



Численное решение задач о собственных колебаниях, аэроупругой и гидроупругой устойчивости осесимметричных и пространственных тонкостенных конструкций, обтекаемых снаружи сверхзвуковым потоком газа и взаимодействующих изнутри с текущей идеальной жидкостью.



Потенциальные области применения:

- элементы теплообменников энергетических установок
- резервуары для хранения технологических жидкостей
- наземные и подводные магистральные трубопроводы

Широкодиапазонное моделирование поведения металлов, керамик и композитов при интенсивных воздействиях

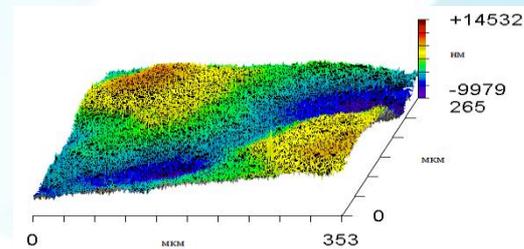


Установка Гопкинсона-Кольского для динамического нагружения материалов

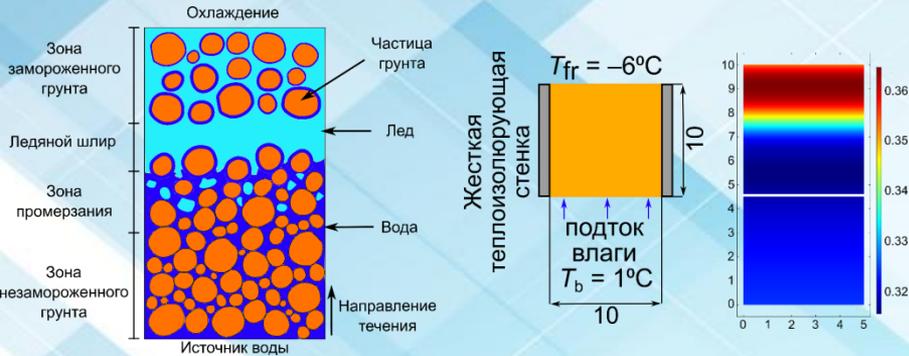


“In-situ” инфракрасное сканирование нагружаемых образцов.

- Широкодиапазонные модели деформирования и разрушения металлов, сплавов, керамик и композитов, в том числе наноструктурированных, при динамических и ударно-волновых нагружениях.
- Экспериментальная верификация широкодиапазонных моделей на основе оригинальных лабораторных комплексов, обеспечивающих интенсивное нагружение и “in-situ” регистрацию высокого временного и пространственного разрешения.
- Разработка программных комплексов, основанных на широкодиапазонных моделях, для оценки надежности конструкций при экстремальных воздействиях.

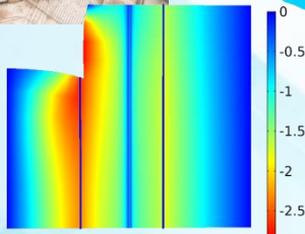
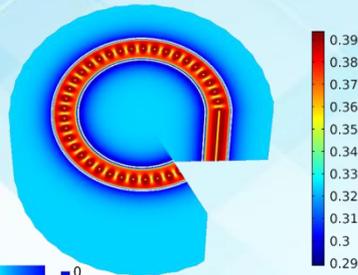


Термогидромеханическая модель для расчёта деформирования влагонасыщенных сред при искусственном замораживании



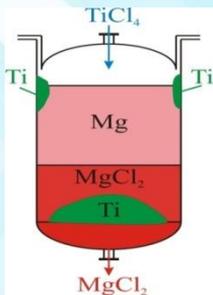
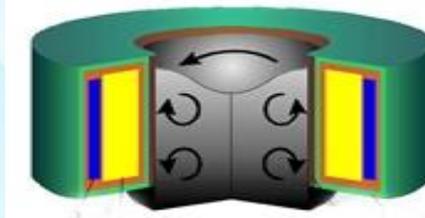
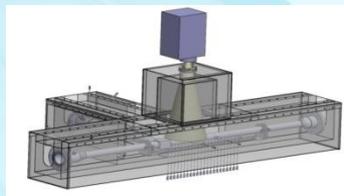
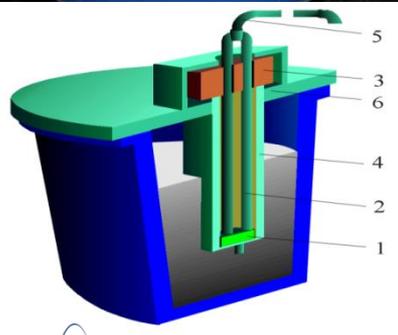
Построена новая термогидромеханическая модель деформирования влагонасыщенных грунтов в процессе их заморозки и оттаивания. Особенность модели заключается в описании в грунте взаимосвязи между изменением температуры, криогенной миграцией влаги, морозным пучением и усадкой.

На основе модели реализован комплексный подход к численному моделированию механического поведения грунта в процессе искусственного замораживания. Разработанный подход включает в себя идентификацию параметров модели на основе стандартизованных лабораторных испытаний, расчет формирования ледопородного ограждения в грунтовых слоях, определение деформаций шахтной выработки.

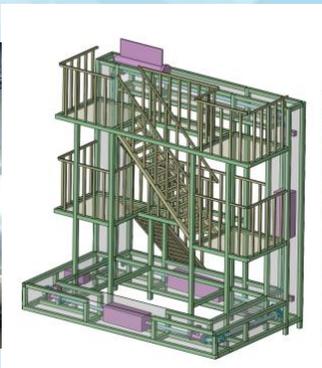


Прикладные МГД исследования

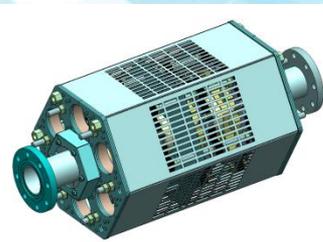
- Экспериментальные исследования турбулентного конвективного теплообмена в жидком натрии
- Изучение процессов смешения разнотемпературных потоков жидкометаллического теплоносителя на натриевом контуре ИМСС УрО РАН
- Разработка МГД-насосов и МГД-перемешивателей для металлургических предприятий
- Улучшение качества слитков из алюминиевых сплавов методами МГД-обработки при кристаллизации



Разработаны электромагнитные аппараты для атомных реакторов с жидкометаллическим теплоносителем



Натриевый испытательный стенд и серия насосов



Электромагнитный индукционный корреляционный бесконтактный расходомер для высокотемпературных жидкометаллических теплоносителей

Разработаны электромагнитные насосы, расходомеры, измерители чистоты, которые могут применяться на атомных станциях на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем.

Две партии электромагнитных насосов бегущего поля, разработанных в «Институте механики сплошных сред УрО РАН» - филиале Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН и изготовленных ООО «СоюзЭнерго», прошли полные циклы приемо-сдаточных испытаний и сданы заказчиком: Белоярской АЭС (7 насосов трех типов для реактора БН-600(энергетического реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем) и Научно-исследовательскому институту атомных реакторов (НИИАР) (10 насосов двух типов для исследовательского реактора МБИР (Многоцелевого реактора на быстрых нейтронах).

Для проведения приемо-сдаточных испытаний был разработан и изготовлен жидкометаллический натриевый стенд, который в 2023 году получил аккредитацию в Росатоме.

Исследована возможность использования электромагнитных принципов для перекачивания расплава цинка

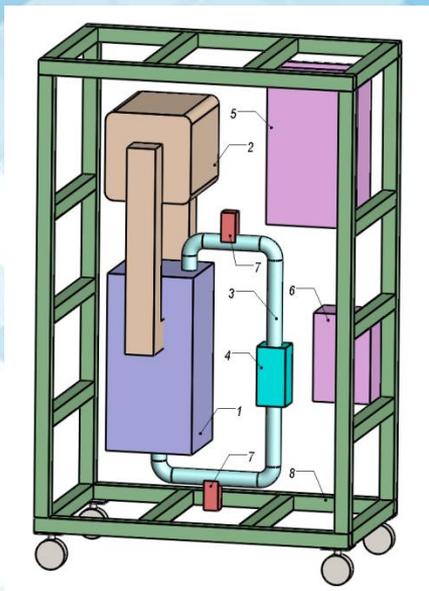
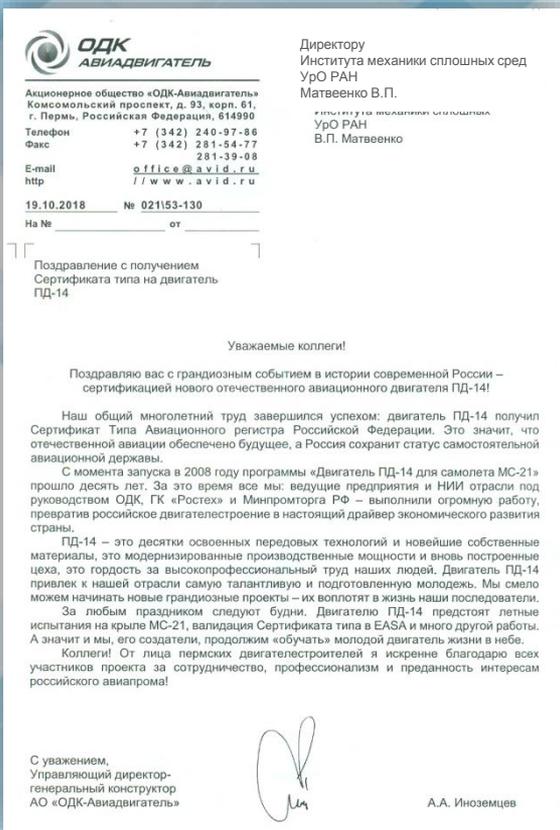


Схема и фото лабораторной модели электромагнитного насоса:
1 - канал; 2 - трансформатор; 3 - трубопровод для измерения параметров; 4 - расходомер; 5 - щит управления; 6 - источник питания; 7 - манометры; 8 - шасси.

С помощью математического моделирования изучены особенности магнитогидродинамических процессов, возникающих в кондукционном рабочем канале с жидким металлом. Выполнено экспериментальное исследование разработанной лабораторной модели насоса на галлиевом сплаве. Эксперименты позволили выполнить верификацию математической модели. На основе полученных результатов определены параметры для промышленной модели цинкового насоса, предложена схема ее конструкции, выполнен расчет затрат на производство.

**Договор с АО «Челябинский цинковый завод»
от 27 января 2023 г. № 0100-2023 / 418-1**

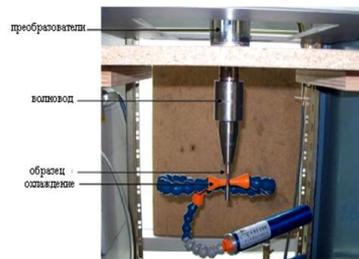
Оценка усталостного ресурса материалов авиационного моторостроения



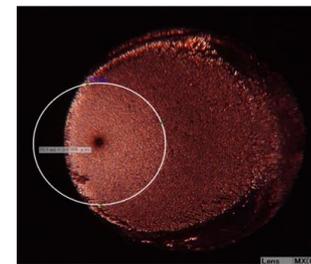
- Разработка методов обеспечения безопасной эксплуатации сплавов авиационного моторостроения в течение сроков на три порядка сроков превосходящих традиционные
- Разработка моделей оценки ресурса и остаточной прочности металлов и сплавов при комбинированных динамических и циклических нагрузках
- Разработка количественных методов структурного анализа стадийности усталостного разрушения для оценки ресурса и создания новых материалов с субмикро- и наноструктурой



Турбореактивный двигатель
ПС 90А



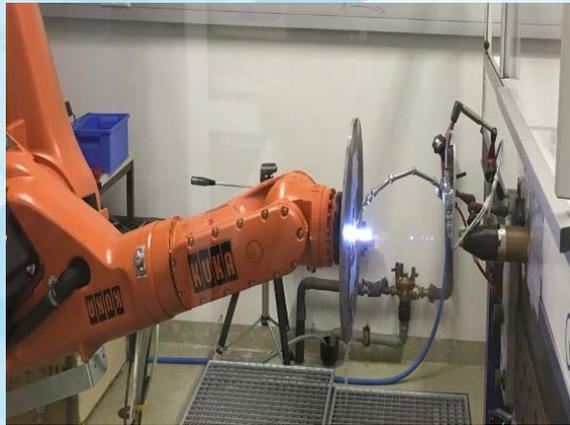
Установка по исследованию
гигацикловой усталости



Поверхность излома образца в
режиме гигацикловой
усталости

Эффект повышения усталостной прочности и аномальной диссипации энергии в металлах после лазерного упрочнения

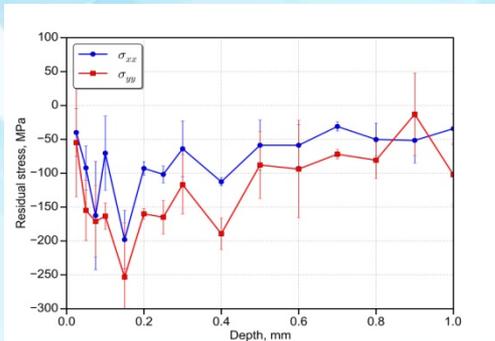
Процесс обработки поверхности металла лазерным лучом



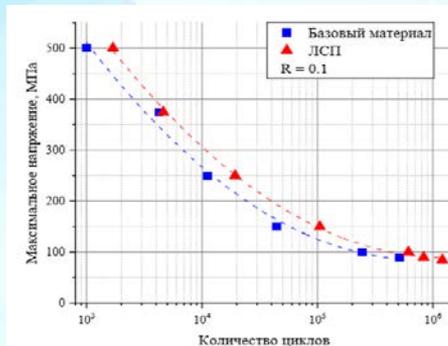
- Получены опытные образцы материала с упрочненной поверхностью
- Проведены испытания образцов в условиях многоциклового усталости
- Показано увеличения усталостного ресурса образцов с концентраторами напряжений после лазерного упрочнения
- Показана аномальная диссипация энергии в процессе циклического деформирования



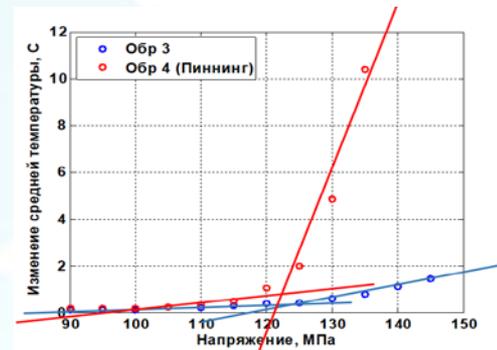
Образцы после испытаний



Распределение остаточных напряжений по глубине в зоне обработки



Зависимость числа циклов до разрушения в исходном состоянии и после лазерного упрочнения



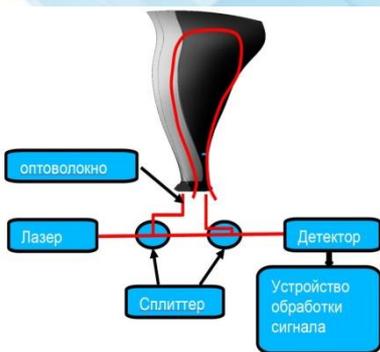
Изменение температуры образца в обработанной зоне при различных амплитудах нагрузки

Закономерности критичности в материалах с дефектами, разработка подходов по мониторингу и прогнозированию ресурса при широкодиапазонном силовом и энергетическом воздействии (приложения в авиационном моторостроении)



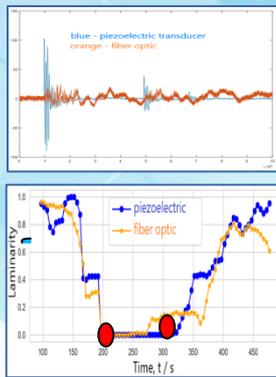
Работы выполнялись по договорам с АО «ОДК-Авиадвигатель»

Широкохордная лопатка из ПКМ для двигателя ПД-35

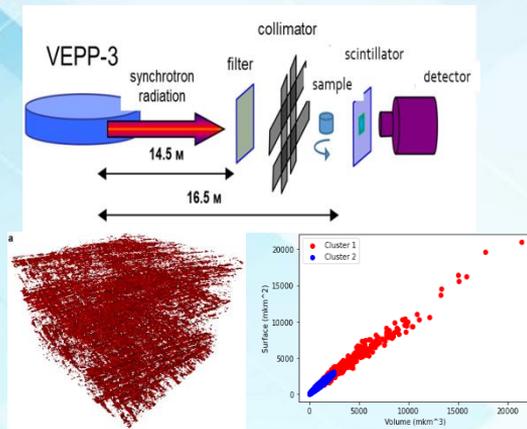


Оптоакустический метод

Разработана технология подготовки материала и программно-аппаратный комплекс для диагностики стадийности поврежденности композитных конструкций оптоакустическим методом на основе установленных закономерностей «критичности» развития дефектов с приложениями к оценке ресурса конструкций авиационного моторостроения



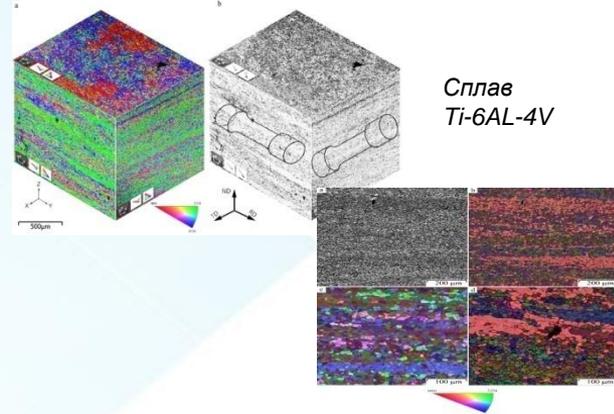
Рентгеновская томография структуры материала лопатки из ПКМ (совместно с ИЯФ СО РАН)



Рентгеновская томография

Разработан метод обработки данных рентгеновской томографии ПКМ лопаток вентилятора ПД-35, идентифицирующий поврежденность в соответствии с данными стадийности разрушения, получаемыми оптоакустическим методом.

Оценка ресурса конструкций из титановых сплавов для условий полетного цикла «усталость-выдержка» (совместно с ИФМ УрО РАН)

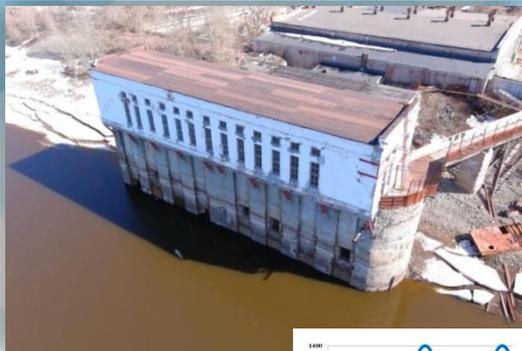


Сплав Ti-6Al-4V

Идентификация структурных параметров

Разработан метод идентификации структурных параметров титановых сплавов, по данным оптической и электронной микроскопии, обоснованы модели оценки ресурса в режимах полетного цикла «усталость-выдержка».

Влияние нестационарности скоростного режима водного объекта на качество забираемой из него воды в условиях вертикальной неоднородности водных масс

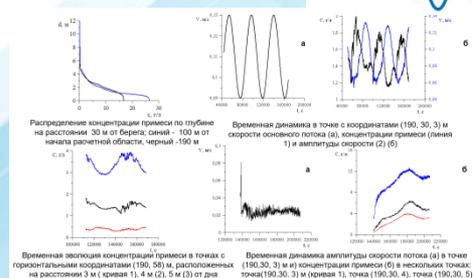
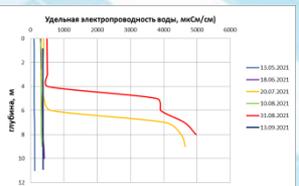
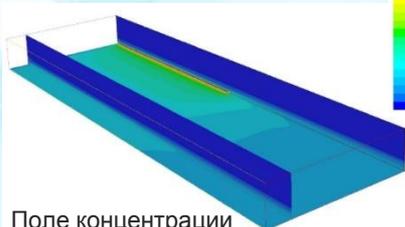


Водозабор АО «БСЗ»

Выявлена причина повышения минерализации на технических водозаборах г. Березники в летнее время.

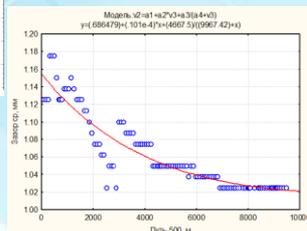
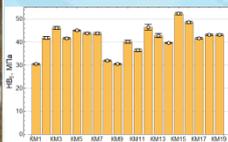
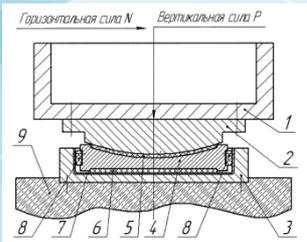
Найдено, что в летнее время, в периоды уменьшения скорости течения в Камском водохранилище в районе г. Березники, вследствие фильтрационных разгрузок высокоминерализованных рассолов, имеющих достаточно сложный генезис, может формироваться значительная вертикальная неоднородность водных масс, существенно влияющая на устойчивость технического водоснабжения.

Разработаны рекомендации для обеспечения устойчивого водопользования в существующих условиях.



Поле концентрации примеси (в г/л)

Разработана методика испытаний полимерных композитов на трение и износостойкость при давлении свыше 60 МПа в диапазоне температур от -70 до +50°C для оценки их работоспособности в качестве антифрикционных слоев опорных частей с шаровым сегментом



Отечественные опорные части с шаровым сегментом для температур -50°C и ниже имеют критически важное значение для создания дорожной инфраструктуры Арктики, поэтому массовое проектирование подобных изделий нуждается в методах и средствах испытаний для выбора и сертификации антифрикционных полимерных композитов в соответствии с требованиями регуляторов норм в области строительства мостов.

Разработаны:

- методика, по которой испытано более двух десятков материалов на механические свойства, трение и износ при комнатной температуре,
 - проект установки для испытаний на трение и износ по схеме циклического сдвига по плоскости полированной нержавеющей стали при давлении до 60 МПа и температурах до -70°C,
- позволяющие аттестовать материалы по требованиям ОАО «РЖД» и ФДА «Росавтодор».

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ



Здание
на
карсте

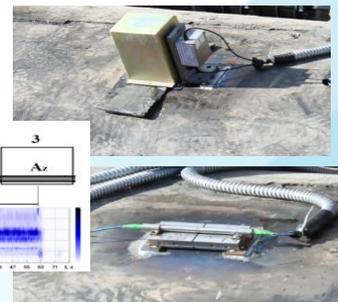
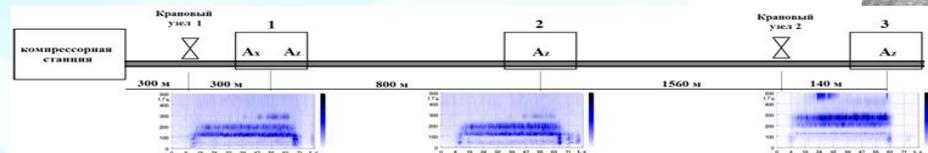
Объект

Вулкан

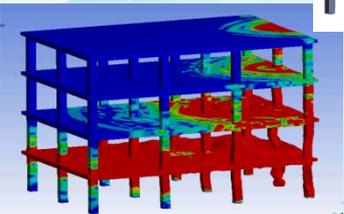
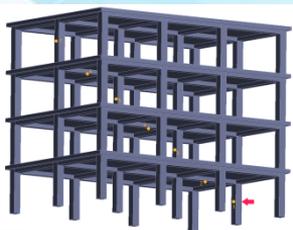
Подработанная
территория

Мосты

Магистральный
газопровод



Экспериментально-теоретические исследования деформационного поведения конструкций в условиях перехода к критическим состояниям



- Создан уникальный экспериментальный стенд, позволяющий исследовать деформационные процессы в сложных пространственных крупномасштабных строительных и инженерных конструкциях
- Стенд позволяет устанавливать закономерности пространственно-временного распределения деформационного отклика элементов конструкции на возникновение критического состояния в отдельных ее частях
- Габаритные размеры испытываемых конструкций $8 \times 8 \times 12$ метров, воздействующие усилия до нескольких тысяч тонн
- Стенд соответствует лучшим мировым образцам