



Российский  
научный  
фонд



Российский научный фонд

Проект № 19-77-30008

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

Вторая Школа молодых ученых  
**«Мониторинг природных и  
техногенных систем»**

ПРОГРАММА

16-18 ноября 2020

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, Технического комитета 17 (Неразрушающая оценка) Европейского общества структурной целостности (ESIS), Российского комитета ESIS и соответствует тематике Пермского научно-образовательного центра мирового уровня «Рациональное недропользование».



## 16 ноября      Понедельник

- 10:00 - 10:15      Открытие работы Школы
- 10:15 - 11:00      **Маловичко Алексей Александрович**  
Разномасштабный сейсмологический мониторинг природных и техногенных сейсмических процессов на территории Российской Федерации
- 11:00 - 11:45      **Антоновская Галина Николаевна**  
Мониторинг природных и техногенных опасностей сейсмическими методами, в том числе в условиях Крайнего Севера
- 11:45 – 12:15      Кофе
- 12:15 – 13:00      **Михайлов Валентин Олегович**  
Михайлов В.О., Тимошкина Е.П. Применение спутниковых технологий при решении задач геофизики и геодинамики
- 13:00 – 14:00      Обед
- 14:00 – 14:45      **Мельник Олег Эдуардович**  
Математические задачи мониторинга вулканических извержений
- 15:00 – 16:00      **Шестаков Алексей Петрович**  
**Мастер-класс** «Испытательный стенд для исследования деформационных процессов в крупномасштабных конструкциях»

## Маловичко Алексей Александрович



Доктор технических наук, член-корреспондент РАН, научный руководитель ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», ведущий специалист в области мониторинга разномасштабных сейсмических процессов. Заслуженный деятель науки РФ. Член Бюро Отделения наук о Земле РАН, председатель Научного совета РАН по проблемам прикладной геофизики; член Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, член российской части Координационного комитета в рамках реализации Соглашения между Правительством Российской Федерации и Подготовительной комиссией

Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ).

### **Разномасштабный сейсмологический мониторинг природных и техногенных сейсмических процессов на территории Российской Федерации**

Рассмотрено становление и развитие многоуровневой системы сейсмологических наблюдений на территории Российской Федерации. Описана структура, состояние и тенденции ее развития. Сформулированы новые направления развития инструментальной сейсмологии и новые задачи, решение которых стало возможным благодаря внедрению более совершенных средств инструментальных наблюдений (с широкой полосой частот и большим динамическим диапазоном). Приведены примеры эффективного использования широкополосных цифровых сейсмологических данных для изучения особенностей глубинного строения разреза сейсмоактивных регионов и прогнозирования геодинамической обстановки на локальных объектах по результатам мониторинга природной и техногенной сейсмичности на различных масштабных уровнях.



## **Антоновская Галина Николаевна**

*Доктор технических наук*, зав. лабораторией сейсмологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики (г. Архангельск). Область научных интересов: сейсмический мониторинг Западного арктического сектора РФ, геодинамика платформенных территорий, обследование инженерных объектов и разработка сейсмических методов по их мониторингу. Автор и соавтор более 120 научных работ, 3 монографий. Имеет 3 патента.

### **Мониторинг природных и техногенных опасностей сейсмическими методами, в том числе в условиях Крайнего Севера**

В связи с планируемым увеличением темпов промышленного освоения Арктического региона и, прежде всего, с развитием добывающих, перерабатывающих и транспортных отраслей одним из актуальных направлений являются работы по обеспечению безопасности функционирования соответствующих производств. Известно, что природные процессы занимают 12% среди основных причин аварий на морских трубопроводах, к ним относятся: землетрясения, оползни, обвалы, экзарация и др. Слабые события и их вторичные эффекты, произошедшие в пределах размещения объекта, приводят к авариям. Не стоит исключать подобных негативных процессов и на арктических территориях, которые, с точки зрения сейсмологии, весьма скромно изучены.

Возобновление и установка новых сейсмических станций создали благоприятные условия для регистрации и локации низкомagnitudeных землетрясений для некоторых районов Евразийской Арктики. У ученых появилась возможность оценить проявления современной слабой сейсмичности и использовать эти данные для последующих геолого-тектонических и геодинамических выводов. Кроме того, использование современной сейсмологической аппаратуры и применение пассивных сейсмических методов открывает новые перспективы по изучению состояния районов размещения инфраструктуры, что весьма актуально в условиях изменяющегося климата.

В лекции будут рассмотрены следующие вопросы:

- сейсмический мониторинг Западного сектора Российской Арктики;
- возможности сейсмического оборудования для мониторинга основания железнодорожных путей в районах со сложными грунтовыми условиями;
- сейсмические способы обследования антропогенных объектов различного назначения.



## **Михайлов Валентин Олегович**

Член Президиума РАН, Начальник отдела наук о Земле. Главный научный сотрудник Лаборатории комплексной геодинамической интерпретации наземных и спутниковых данных V Отделения Математической геофизики и геоинформатики Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор. Специалист в области геофизики, геодинамики, численного моделирования, использования спутниковых технологий в науках о Земле. Автор более 120 научных работ, в том числе трех монографий, 1 патента.

## **Применение спутниковых технологий при решении задач геофизики и геодинамики**

Михайлов В.О., Тимошкина Е.П.

Современные спутниковые технологии позволяют с высокой точностью регистрировать смещения земной поверхности и техногенных объектов. Широко используются данные глобальных навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС. Методы радарной спутниковой интерферометрии пока что применяются в нашей стране значительно реже.

Путем обработки двух космических снимков, выполненных с применением радаров с синтезированной апертурой (РСА интерферометрия, SAR), можно определять смещения земной поверхности произошедшие за время между повторными съемками. Это позволяет исследовать активные геодинамические процессы, в том числе связанные с вулканизмом, землетрясениями, проводить мониторинг оползневых процессов, смещений техногенных объектов, просадок в областях разработки рудных и нефтегазовых месторождений и т.д.

В настоящее время большое развитие получают методы анализа серий радарных снимков – технологии устойчивых отражателей. Эти технологии позволяют следить за смещениями отдельных площадок, устойчиво отражающих радарных спутниковых сигнал, и определять смещения на уровне в первые миллиметры в год.

Слушатели познакомятся с работающими в настоящее время спутниковыми системами, с особенностями радарной съемки с различной длиной волны, с технологиями обработки, с программными пакетами, методами совместной интерпретации различных наземных и спутниковых данных и некоторыми результатами применения РСА интерферометрии, полученными в ИФЗ РАН за последние 15 лет.



## Мельник Олег Эдуардович

Член-корреспондент РАН, Заведующий лабораторией общей гидромеханики НИИ механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Лауреат премии им. М.В.Ломоносова (2008) за цикл работ «Применение методов гидромеханики и петрологии к изучению механизмов подъема магмы и вулканических извержений». *Область научных интересов:* гидромеханика, механика многофазных сред, динамика вулканических извержений.

### Математические задачи мониторинга вулканических извержений

Извержение вулкана – сложный физико-химический природный процесс, изучение которого сопряжено с определенными трудностями, связанными с невозможностью непосредственного наблюдения процессов, происходящих в вулкано-магматической системе. В связи с этим для понимания механизмов вулканических извержений, оценки параметров и опасности конкретных вулканов необходимо построение математических моделей для интерпретации данных полевых наблюдений. В докладе будет сделан обзор методов мониторинга вулканов, данных, получаемых в процессе извержений и математических моделей различных аспектов активности вулканов.

Интерпретация данных полевых наблюдений связана с решением обратных задач. Спецификой мониторинга природных процессов является недостаточно точное знание физических свойств магмы и вмещающих пород, а также необходимость учета взаимодействия различных частей системы. Например, взаимодействие текущей по каналу магмы с геотермальной системой, дает существенный вклад в деформацию постройки вулкана, а нуклеация пузырьков газа приводит к длиннопериодным вулканическим землетрясениям. Поэтому без детального моделирования физических процессов часто возникает ошибочная интерпретация данных, полученных в процессе мониторинга.

## Мастер-класс «Испытательный стенд для исследования деформационных процессов в крупномасштабных конструкциях»



### Шестаков Алексей Петрович

Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории Интеллектуального мониторинга Института механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь,

Исследование поведения сложных строительных конструкций в условиях критического состояния имеет первостепенное значение при решении задач их безопасной эксплуатации. Одним из современных подходов, позволяющих решать задачи безопасной эксплуатации конструкций, является использование автоматизированных систем деформационного мониторинга. В их основе лежат математические модели, адекватно описывающие работу конструкции в до критических и критических стадиях деформирования. Это позволяет предсказать время и место реализации критического состояния в том или ином элементе конструкции.

Разработка и верификация таких моделей возможна только при проведении натурных экспериментов. Для их реализации, спроектирован и построен испытательный стенд. Он представляет собой четыре силовых контура, объединенные горизонтальными и вертикальными связями. Полезный объем внутри контуров определяется параллелепипедом с размерами 8x8x12м. Расчетное усилие, которое можно организовать в пределах силовых контуров составляет 1000 кН.

Стенд позволяет проводить эксперименты, включающие все стадии деформирования конструкции: упругое (бездефектное) деформирование, образование дефектов, их развитие, взаимодействие и полное разрушение конструкции. На каждой из стадий возможна регистрация основных параметров (перемещения и деформации) и диагностических (собственные частоты, распространение упругих волн по различным траекториям, акустическая эмиссия).

Полученные на стенде результаты повысят достоверность математических моделей, описывающих поведение конструкций на критических стадиях деформирования, и обеспечат их безопасную эксплуатацию.



**17 ноября      Вторник**

- 10:15 – 11:00      **Гетман Александр Федорович**  
Системная концепция прочности и примеры её применения в атомной энергетике
- 11:00 – 11:45      **Ригмант Михаил Борисович**  
Современные методы и средства неразрушающего контроля фазового состава, магнитных и электрических свойств изделий из аустенитных сталей и сплавов
- 11:45 – 12:15      Кофе
- 12:15 – 13:00      **Pradere Christophe**  
Multispectral infrared as a tool for heat and mass transfer studies
- 13:00 – 14:00      Обед
- 14:00 – 14:45      **Матвиенко Юрий Григорьевич**  
Управление живучестью в моделях и критериях современной механики разрушения
- 15:00 – 16:00      **Уваров Сергей Витальевич**  
**Мастер-класс**      «Экспериментальный комплекс для динамических испытаний»



## **Гетман Александр Федорович**

профессор, доктор технических наук, лауреат премии СМ СССР в области науки и техники. Автор около 300 научных работ, включая 35 изобретений, более 10 нормативных документов в области безопасности атомных электростанций (АЭС), 9 монографий.

### **Системная концепция прочности и примеры её применения в атомной энергетике**

Системная концепция прочности (СКП) основана на применении методологии системного подхода к проблеме обеспечения прочности и позволяет обеспечить прочностную надежность на принципиально более высоком уровне.

Эффективность такого подхода многократно подтверждена при решении отдельных задач эксплуатации АЭС и других объектов техники.

Широкое внедрение СКП в современной технике, на наш взгляд, имеет общегосударственное значение, так как позволит существенно (на порядки) повысить уровень прочностной надежности, а значит связанный с ней уровень технической безопасности.



## Ригмант Михаил Борисович

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории магнитного структурного анализа Института физики металлов УрО РАН г. Екатеринбург. Область научных интересов: разработка новых методов и средств контроля фазового состава, структуры и магнитных свойств изделий из аустенитных сталей и сплавов. Основные результаты: получены патенты РФ, разработаны и внедрены в производство приборы семейства «Ферритометров», позволяющие определять фазовый состав и свойства конструкций сложной формы в локальных зонах контроля. Автор монографии «Роль российской науки в создании отечественного подводного флота», победившей в конкурсе ассоциации

книгоиздателей России (АСКИ 2009) в номинации «Лучшее издание по естественным наукам, технике и медицине»

### **Современные методы и средства неразрушающего контроля фазового состава, магнитных и электрических свойств изделий из аустенитных сталей и сплавов**

Стали и сплавы аустенитного и аустенитно-ферритного класса, применяемые в современной промышленности, составляют значительную долю от всех используемых материалов. Такие материалы имеют в своем большинстве высокие жаропрочные свойства, стойкость к коррозии, высокие пластические свойства в сочетании с механической прочностью. В магнитном отношении большинство таких материалов проявляют парамагнитные свойства, что важно для многих объектов со строгими требованиями к магнитной обстановке. Требуемый уровень эксплуатационных свойств обеспечивается соблюдением заданного содержания фазового состава, в первую очередь - ферритной фазы ( $\alpha$ -фаза). Так же в процессе эксплуатации изделий при воздействии внешних напряжений, приводящих к деформированию, возможны ситуации еще одной фазы - мартенсита деформации ( $\alpha'$ -фазы), которая повышает склонность материала к зарождению и развитию процессов трещинообразования. Неразрушающий (приборный) контроль содержания, как ферритной составляющей, так и мартенситной фазы в готовых изделиях из аустенитных сталей является достаточно сложной задачей. Для многих изделий из аустенитных сталей одной из важных характеристик является заданное «маломагнитное» состояние материала изделий, при котором относительная магнитная проницаемость  $\mu$  не превышает значений  $\mu \leq 1,10$ . Приборов для локального контроля такого состояния в России не производятся.

В докладе представлены современные методы и средства неразрушающего контроля, позволяющие измерять фазовый состав и требуемые свойства, как в процессе производства, так и во время эксплуатации готовых изделий.



## Pradere Christophe

Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux France, I2M-  
département TREFLE - transfert fluide énergétique Directeur de  
Recherche

### **Multispectral infrared as a tool for heat and mass transfer studies**

In the first part, the study of Non Destructive Testing and Evaluation on multiscale heterogeneous solid materials will be presented in order to demonstrate the ultra-capacity of these tools to offer an understanding and characterization of materials

Then, in second part, the previous method has been extended to the study of multispectral heat and mass transfer in microfluidic systems. In fact, the recent development of the Fast Infrared Imaging Spectroscopic Technique (FIIST) allows simultaneous acquisition of temperature and concentration fields, using a non-intrusive method and also Thermal Imaging Velocimetry (TIV). In this work, the exothermic acid-base reaction between sodium hydroxide and hydrochloric acid is performed in a co-flow microfluidic chip of high aspect ratio. This configuration makes it possible to obtain laminar flows where the mixture of the species is then only due to a radial diffusion process and advection. Mass diffusion cone makes out since water transmittance is increased in presence of the ion pair of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ . Both heat and mass diffusivities are estimated from the logarithmic parabolas method, originally developed for thermal transfer but applied here also in the mass transfer case since the diffusion transport equation which is similar in both cases.

Finally, in a last part, the beginning of thermospectroscopic tomography will be presented with imaging system that is able to measure transient temperature phenomena taking place inside a bulk by 3D tomography. This novel technique combines the power of multispectral waves and the high sensitivity of infrared imaging. The tomography reconstruction is achieved by the 3D motion of the sample at several angular positions followed by inverse Radon transform processing to retrieve the 3D transient temperatures. The aim of this novel volumetric imaging technique is to locate defects within the whole target body as well as to measure the temperature in the whole volume of the target. This new-fashioned thermal tomography will open research perspectives in the non-invasive monitoring techniques for volume inspection and in-situ properties estimations.



## **Матвиенко Юрий Григорьевич**

Д.т.н., профессор, заведующий отделом прочности, живучести и безопасности машин Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. Заслуженный деятель науки Российской Федерации. Заведующий базовой кафедрой «Ракетная техника» Московского областного технологического университета. В качестве профессора и научного эксперта неоднократно приглашался в университеты и научно-исследовательские институты Англии, Франции, Японии, Италии, Южной Кореи, Словении и Таиланда. Область научных интересов - прочность, механика разрушения, живучесть, ресурс и безопасность машин и конструкций в сильно поврежденных состояниях в условиях экстремальных физико-механических воздействий и коррозионно-активных сред.

### **Управление живучестью в моделях и критериях современной механики разрушения**

Предупреждение разрушений и обеспечение безопасности сложных технических систем на современном этапе развития науки во многом определяется адаптацией основных положений современной теории управления к постановке и решению проблем живучести. В качестве одной из основных задач теории управления в проблемах безопасности, ресурса и живучести следует рассматривать задачу анализа кинетики повреждений и разрушений технических систем на модельном или физическом уровне.

Общая постановка и решение системных фундаментальных и прикладных задач безопасности и риска объектов машиностроения основана на учёте их прямой количественной связи с постановкой задач предупреждения разрушений и управления ресурсом, в качестве составной части которого могут быть рассмотрены трещиностойкость, живучесть и надёжность.

Обоснованы расчётно-экспериментальные подходы к анализу живучести и безопасности машин и конструкций, включающие: комплексный анализ прочности, ресурса, живучести и безопасности; многопараметрические модели и критерии нелинейной механики разрушения на различных масштабных уровнях; методы экспериментального определения характеристик механики разрушения на нестандартных образцах и элементах натуральных конструкций; мониторинг и диагностика повреждений и разрушений, локация трещиноподобных дефектов; физико-математическое и имитационное моделирование; инженерно-технологические аспекты современной двухпараметрической механики разрушения.

## Мастер-класс «Экспериментальный комплекс для динамических испытаний»



### Уваров Сергей Витальевич

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории Физических основ прочности Института механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, лауреат Премии им. А.А. Поздеева II степени по теме «Теоретическое и экспериментальное исследование нелинейной динамики разрушения квазиупругих тел»

Экспериментальный комплекс включает в себя ряд установок для динамического нагружения материалов, а именно:

- газовую пушку калибром 125 мм и скоростью ударника до 300 м/с для испытаний крупных образцов с большим масштабом гетерогенности, таких как бетон и горные породы;
- газовую пушку калибром 45 мм и скоростью ударника до 700 м/с для испытания более однородных материалов;
- разрезной стержень Гопкинсона-Кольского для динамических испытаний на сжатие а также для испытаний на динамическое индентирование различных материалов.

Комплекс также включает в себя различное оборудование для регистрации быстропротекающих процессов:

- высокоскоростную камеру Photron SA-Z 2100. Позволяющая производить высокоскоростную видеосъемку со скоростью до 2,1 млн кадров/сек;
- бесконтактный лазерный измеритель скорости (VISAR) с разрешением по времени до 0,8нс;
- осциллограф и фотоумножители для регистрации фрактолюминесценции с разрешением по времени 1 нс.

На этом комплексе были выполнены работы по исследованию динамического разрушения гранита и пористых керамик и получен ряд значимых результатов.

**18 ноября      Среда**

- 10:15 - 11:00      **Бабешко Владимир Андреевич**  
Механико-математическое моделирование некоторых  
природных и техногенных процессов
- 11:00 - 11:45      **Manchao He**  
A new technology for prediction and monitoring of landslides
- 11:45 – 12:15      Кофе
- 12:15 – 13:00      **Ломакин Евгений Викторович**  
Нелинейное деформирование горных пород и состояние  
предельного равновесия
- 13:00 – 14:00      Обед
- 14:00 – 15:00      **Palin-Luc Thierry**  
Fatigue strength of metals and fatigue life calculation for long and  
very long life: what is known and what are the challenges
- 15:00 – 16:00      **Кормщиков Денис Сергеевич**  
**Мастер-класс** «Обеспечение энергоэффективности  
вентиляции рудников за счет применения систем  
автоматического управления проветриванием»
- 16:00 – 16:15      Закрытие работы Школы



## **Бабешко Владимир Андреевич**

Академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой математического моделирования Кубанского государственного университета, руководитель направлений математики и механики Южного научного центра РАН, Лауреат Государственной премии Российской Федерации. Представляет Кубанский государственный университет в Ассоциации институтов сейсмологии США. Награжден двумя золотыми медалями Научно-промышленной палаты Евросоюза.

### **Механико-математическое моделирование некоторых природных и техногенных процессов**

Метод блочного элемента как новое высокоточное средство математического моделирования, созданное в России. Метод блочного элемента как математический аппарат, опирающийся на математику высокого уровня. Применение метода блочного элемента в науках о Земле. Обнаружение нового типа землетрясений, не описанных ранее, названных «стартовыми», которые можно прогнозировать. Выявление новых предвестников цунами. Объяснение причин отсутствия цунами при некоторых сильных землетрясениях в море и возможности возникновения цунами даже при слабых. Применение метода блочного элемента для исследования явления «субдукции» - продвижения морских литосферных плит под континентальные. Применение метода блочного элемента в проблеме прочности подземных сооружений, содержащих совокупности параллельных штолен. Применение метода блочного элемента в проблеме прочности трещиноватых тел. Обнаружение трещин нового типа, ранее не описанных, дополняющих трещины Гриффитса. О дополнительном механизме разрушения материалов. Метод блочного элемента в некоторых вопросах климатологии.



## Manchao He



Professor Manchao He is currently an Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS) and Argentine National Academy of Engineering (ANI), Professor at China University of Mining and Technology, Beijing (CUMTB), the Director of State Key Laboratory for Geomechanics and Deep Underground Engineering (SKLGDUE) in Beijing, China. He is the President of the Chinese Union for Mining Innovation (CUMI) and the President of the Chinese Society for Rock Mechanics and Engineering (CSRME).

Prof. Manchao He mainly engaged in the research of Rock Mechanics and Engineering, including soft rock large deformation mechanism and control, mining technologies, rockburst mechanism, landslide, active fault stability analysis, monitoring and control, etc. Especially focus on the invention of the novel energy-absorbing bolt / anchor with a NPR (Negative Poisson's Ratio) structure, as well as their applications in the Mining Engineering. The bolt, called as "HE-bolt" in the world, can exhibit extraordinarily large elongation at very high working resistance to the external load, and also have an ideal elastic-plastic behavior. It has been applied successfully in many practical projects, which makes a significant contribution to disasters control.

### **A new technology for prediction and monitoring of landslides**

In order to study landslide behavior and seek landslide forecasting precursors, various techniques have been developed. An unconventional idea about forecasting geo-disasters such as the earthquakes and landslides was proposed based on the mechanics of double block system (DBS). The central point of the mechanics of DBS is the measurement of the forces acting on the surface that separating the two blocks of a geological body, the relation of which should obey the Newton's laws (referred to as Newton's forces). The Newton's force monitoring system (NFMS), consisting of the in-situ measurement, remote sensing and indoor monitoring, was developed. The key instrument of the NFMS is the constant-resistance and large-deformation (CRLD) bolt/cable incorporated with a negative Poisson's ratio (NPR) structure, referred to as CRLD or NPR bolt/cable because of its unconventional performance that make measurement of the Newton's forces possible in the seismically active faults. Fundamentals of the mechanics of the DBS, experimental results on the NPR bolt/cable and its applications in forecasting the geo-disasters are presented.



## Ломакин Евгений Викторович

МГУ имени М.В. Ломоносова, Механико-математический факультет, Отделение механики, Кафедра теории пластичности, заведующий кафедрой, [член-корреспондент РАН](#), специалист в области механики деформируемых сред, [механики разрушения](#) и механики композитных материалов. Член Бюро Научного совета РАН по механике деформируемого твердого тела, член Экспертного совета ВАК Минобрнауки России по математике и механике, член Экспертного совета Российского фонда фундаментальных исследований, член диссертационных советов при МГУ им. М. В. Ломоносова и Институте машиноведения РАН.

### **Нелинейное деформирование горных пород и состояние предельного равновесия**

При исследовании свойств горных пород проявляется зависимость их деформационных характеристик от вида напряженного состояния, которое формируется под действием тех или иных нагрузок. Данная зависимость определяется в значительной мере наличием микротрещин, пор, различного рода дефектов, особенностями структурного строения и проявляются, как правило, при достаточно высоком уровне напряжений в области нелинейного деформирования. Поведение микро-неоднородностей существенным образом зависит от характера внешних воздействий. Кроме того, в данных средах процессы сдвигового и объемного деформирования взаимосвязаны, причем параметры этой взаимосвязи зависят от вида напряженного состояния, и сдвиговые деформации могут вызвать раскрытие микротрещин и пор.

Проведен анализ основных закономерностей поведения горных пород на основе результатов экспериментальных исследований свойств различных горных пород. Предложены определяющие соотношения для описания обнаруженных эффектов. Продемонстрировано хорошее соответствие между теоретическими зависимостями и результатами экспериментальных исследований. Представлены решения задач механики разрушения и исследовано раскрытие трещин в условиях сдвига.

Для решения задач предельного равновесия и определения значений предельных нагрузок сформулировано условие пластичности в соответствующем обобщенном виде, применимом для широкого класса материалов. Предложен метод построения полей скоростей перемещений, характеризующих дилатансию среды. Продемонстрирована существенная зависимость значений предельных нагрузок от чувствительности пластических свойств среды к виду напряженного состояния.



## Thierry PALIN-LUC

Thierry Palin-Luc is Deputy Director of the Institute of Mechanics and Mechanical Engineering (I2M) in Bordeaux (France), a joint research unit with Bordeaux University, CNRS, Arts et Metiers Institute of Technology and Bordeaux Polytechnic Institute. He is working on high cycle multiaxial fatigue of metals since 1993 and on the development of fatigue strength criteria and fatigue life calculation methods for variable amplitude loadings. For helping engineers to solve the difficult task of the transferability of data from the lab to real components he has proposed several non local high

cycle fatigue models and concentrated his researches on both the effect of the manufacturing process on the fatigue strength of metals and on the gigacycle fatigue. Indeed, since 2007, he is working on the fatigue of metals in very high cycle fatigue regime.

### **Fatigue strength of metals and fatigue life calculation for long and very long life: what is known and what are the challenges**

In service, most of the mechanical components or structures are submitted to cyclic loading. To avoid failure of such systems, engineers have to design them against fatigue crack initiation (and then propagation). For short lifetimes (in low cycle fatigue, LCF) regime, up to  $\sim 10^5$  cycles) macroscopic plasticity is responsible of crack initiation. For longer lives (i.e. in high cycle fatigue, HCF) up to approximately  $10^7$  cycles, the key role of microplasticity at the grain scale is now well established. Very promising results have been obtained in literature with polycrystal plasticity and critical plane based or energy based approaches. In the two previous regimes (LCF and HCF) cracks initiate at stress concentrators and at the surface of metals with a scenario where persistent slip bands are the precursors of crack. But for very long life, named gigacycle regime (that is beyond  $10^8$  cycles) when very low cyclic load level is applied (the stress amplitude could be  $\sim 0.3$  times the material yield stress) fatigue crack initiation occurs in the core of the material whereas it is at the surface for higher load levels (in LCF and / or HCF). In gigacycle fatigue, non-metallic inclusions are often crack initiation triggers, but internal crack initiation occurs also without any inclusion (in titanium alloy for example). Consequently the mechanism of crack initiation is not so clear. There is no model able to explain why crack initiation shifts from the surface to the core of the material when the cyclic load level is decreased. Some ways for future researches are proposed to progress in the understanding of this open question.

## **Мастер-класс «Обеспечение энергоэффективности вентиляции рудников за счет применения систем автоматического управления проветриванием»**



### **Кормщиков Денис Сергеевич**

кандидат технических наук, научный сотрудник отдела аэрологии и теплофизики Горного института Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь.

В докладе будут рассказаны общие принципы энергоэффективности вентиляции рудников. Показаны основные компоненты системы управления проветриванием: автоматическая замерная станция, автоматическая вентиляционная дверь, регулируемая главная вентиляторная установка, рециркуляционная установка. На примере имитационной системы «Виртуальная диспетчерская» будут показаны принципы работы системы автоматического управления проветриванием. Кроме того, в докладе рассмотрено применение такой системы в случае возникновения пожара в рабочей зоне.

