

# Кафедра механики композитов

HTTP://COMPOSITE.MSU.RU

КАФЕДРА В СИСТЕМЕ ИСТИНА

COMPOSITE MSU@MAIL.RU

**INSTAGRAM: MEKHANIKI KOMPOZITOV** 



МГУ имени М. В. Ломоносова

ЗАВЕДУЮЩИЙ -Д.Ф.-М.Н., ПРОФЕССОР

ВЛАДИМИР **ИВАНОВИЧ** ГОРБАЧЕВ

комната в ГЗ: 14-11, тел.: +7-495-939-43-43



## Механика на мехмате МГУ

Теоретическая

Сплошной среды (MCC)

Вычислительная

Аэро и гидромеханика

Механика деформируемого тела (МДТТ)

Волновая и газовая динамика

Теория упругости

Механика композитов



Теория пластичности

# СОВРЕМЕННАЯ МЕХАНИКАоснова расчёта конструкций

Экспериментальная база

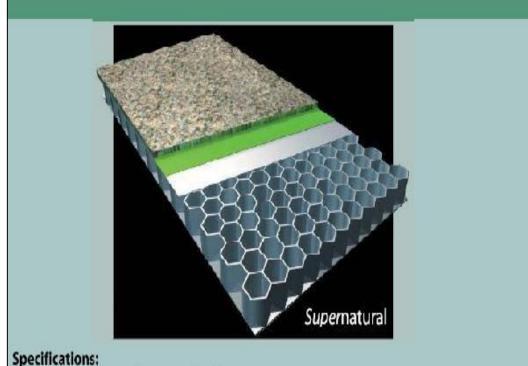
Создание моделей

Математический аппарат

Вычислительные технологии

и вычислительный

эксперимент



- Natural Stone (2~3.5mm thick)
- 2. Aluminium honeycomb back panel
- Weight 8~14kg/m<sup>2</sup>

Applications: Widely used for interior and exterior decoration

#### Задача механики (производственная, промышленная)

Постановка научной задачи

Математическая модель (полная система)

Решение задачи (аналитически или численно)

Интерпретация и анализ результатов, ошибки

$$\mathbf{P} = J F^{-1} \cdot \mathbf{T}$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{ij} \mathbf{e}^{i} \otimes \mathbf{e}^{j} = \frac{1}{2} (\mathbf{G} - \mathbf{I}),$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{ij} \mathbf{E}^{i} \otimes \mathbf{E}^{j} = \frac{1}{2} (\mathbf{I} - \mathbf{A}),$$

# Деформируемое твёрдое тело

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \Big( G_{ij} - g_{ij} \Big)$$

Твёрдое тело характеризуется зависимостью напряжений от деформаций

Связь силовых и кинематических характеристик — определяющие соотношения среды  $\sigma_{ij}(\vec{x},t) = \overset{\lor}{F}_{ij}(\mathcal{E}_{kl}(\vec{x},t))$ 

Может состоять из одного или нескольких изотропных, трансверсально-изотропных или анизотропных материалов

# Уровни исследования задачи МДТТ

Конструкционная механика

Макромеханика

Мезомеханика

Микромеханика

Наномеханика

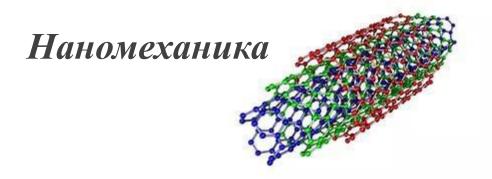


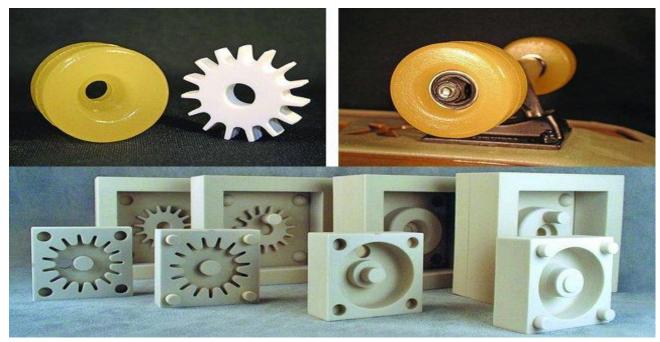
#### современная механика композитов - это

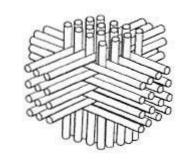
самые передовые научные направления

*Моделирование* новых материалов (композиты, керамики, материалы с памятью формы) и конструкций из них для авиастроения, судостроения, ракетостроения

Создание материалов с заданными свойствами







## Композиционные материалы

Композиция нескольких материалов Материальные функции — разрывные функции координат



## Идея композиции

Элемент конструкции должен обладать специфическими технологическими свойствами

Связывание при помощи мягкой, пластичной матрицы жёстких армирующих элементов

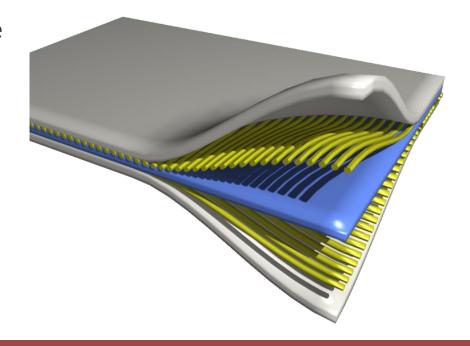
# Классификация композитов

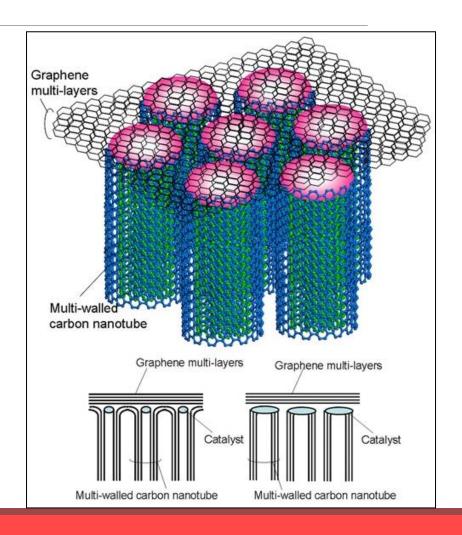
Слоистые

Волокнистые

Дисперсно-армированные

Другие





## Инженерные конструкции

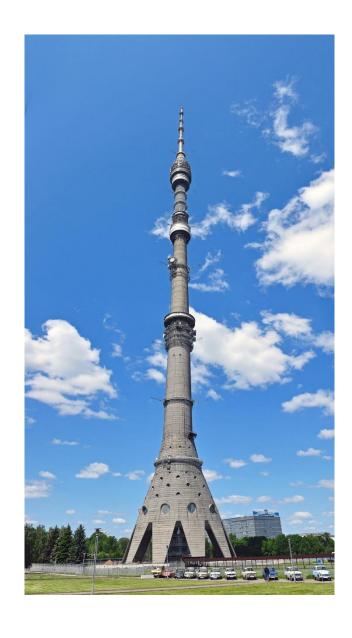
Промышленность

Строительство

Архитектура

Транспорт





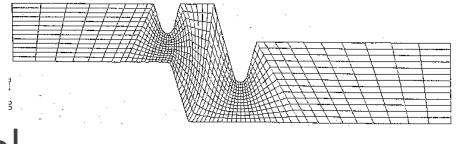
# Синтез: инженерные конструкции из композиционных материалов







# Современная картина



# Новейшие научные тренды

Адаптивные материалы Высокоточные методы расчёта

Вычислительные комплексы

Управляемые материалы Интеллектуальные конструкции

#### НОВЫЕ АКТУАЛЬНЫЕ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ:

- 1. Исследования в области теории дефектов, модели сред с полями дефектов, модели сред Коссера, модели пористых сред, моделирование поврежденности, пористые среды модели ауксетиков и метаматериалов.
- 2. Развитие общей геометрической теории дефектов различного уровня с определением условий генерации дефектов различного типа. Построение вариантов градиентных теорий упругости для сред с микроструктурой.
- 3. Исследования в области развития континуальных теорий межфазного слоя как фундаментальной основы многомасштабного моделирования локальных градиентных взаимодействий различной физическомеханической природы в механике разрушения, термомеханике, термодинамике сред с наноструктурой.
- 4. Разработка на основе теории межфазного слоя новых методов моделирования масштабных эффектов, ориентированных на исследование, прогнозирование и оптимизацию свойств наноструктурированных материалов и покрытий.
- 5. Моделирование адгезионных свойств. Развитие континуальной теории адгезионных взаимодействий. Моделирование поверхностных свойств сред как одно из основных направлений исследований для развития эффективных технологий изготовления нано-устройств, ибо все современные технологии и эффективность их применения связаны с умением управлять поверхностными свойствами тел.
- 6. Развитие прикладной континуальной теории межфазного слоя со спектром когезионно-адгезионных взаимодействий (с учётом адгезионных свойств поверхностей контакта).
- 7. Разработка градиентных вариантов теорий термодинамических процессов: теплопроводности, диффузии, электропроводности для сред с развитой микроструктурой.

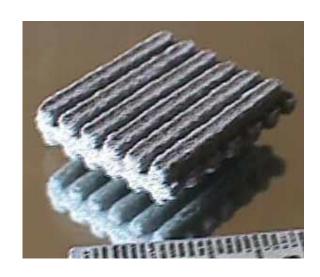
# Функционально-градиентные материалы

Керамики, пьезоматериалы



Ti+NiTi-материалы с памятью формы





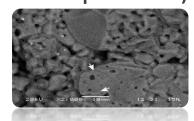
### Применение градиентных моделей

#### Моделирование материалов:

- Композиты (наполненные, волокнистые композиты, вискеризованные структуры )
- Керамики
- Тонкослойные покрытия (термозащитные и износостойкие, покрытия в микроэлектронике).

#### Метаматериалы:

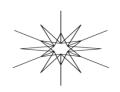


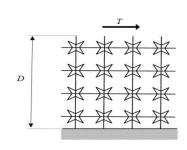


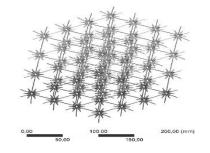


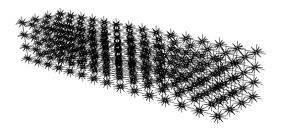
#### Моделирование масштабо-зависимых структурных объектов:

- микроразмерные объекты (тонкие пластины, балки, кантеливеры и др.)
- объекты с дефектами, с концентраторами.

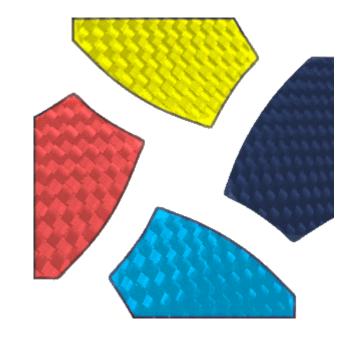








О кафедре механики композитов



# **Кафедре механики композитов** уже $2^5$ лет со дня основания (25.12.1987)

Преподаватели высочайшей квалификации, замечательный сплав молодости, опыта и мастерства.

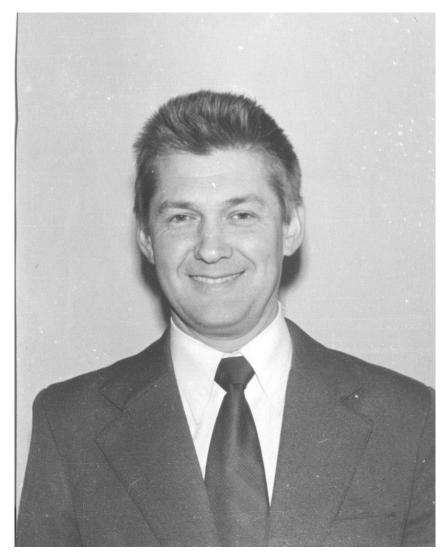
Сейчас это три доктора наук, три кандидата наук, несколько молодых преподавателей.

Лаборатория прочности и ползучести при высоких температурах.

Современная вычислительная техника и ПО. Тесные контакты с НИИ механики.

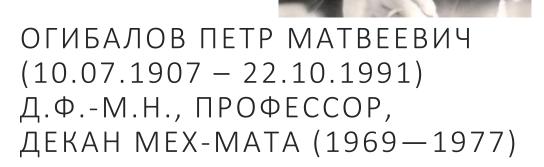




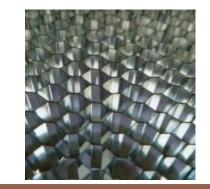


# Возникновение кафедры

ПОБЕДРЯ БОРИС ЕФИМОВИЧ (23.05.1937-01.03.2016) Д.Ф.-М.Н., ПРОФЕССОР, ПЕРВЫЙ ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ



# Некоторые направления исследований



Методы осреднения Теория прочности композитных конструкций

Наномеханика

Теория вязкоупругости, термоупругости

Вычислительная механика

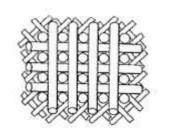
Теория тонких тел

Биомеханика

Дефектоскопия

Тензорный анализ

Управление твёрдым телом

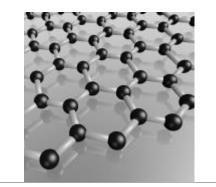


## Методы осреднения

Непосредственный прочностной расчёт композита затруднён

Расчёт необходим на всех уровнях: проектирование, производство, эксплуатация

Необходим баланс точности модели и её эффективности



## Конструкционная механика

Объект исследования – твердотельные конструкции из композиционных материалов

Предмет исследования – технологические свойства, износ, устойчивость

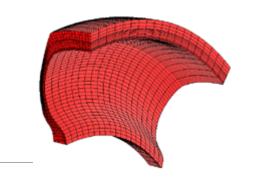


## Конструкционная механика

Методы исследования — широкий спектр методов осреднения, аналитического и численного решения УРЧП с разрывными коэффициентами.

Математический аппарат: тензорный анализ, функциональный анализ, уравнения математической физики (УРЧП), методы параллельных вычислений, МКЭ



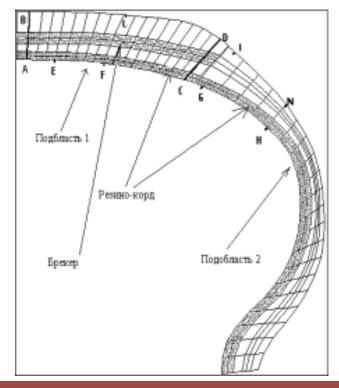


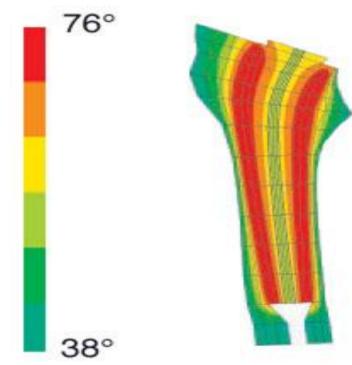
Методы конечных элементов (МКЭ) Методы граничных элементов Эволюционные алгоритмы поиска оптимальных решений

## Создание новых вычислительных технологий

 Работа с профессиональными пакетами конечно-элементного моделирования: ABAQUS, ANSYS и др.

- Решение реальных прикладных задач

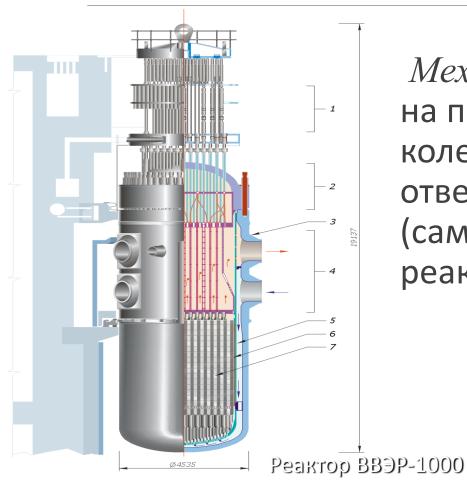




Пример задачи о распределении температуры в выпускном тракте головки блока цилиндров автомобиля

# Механика и математическое моделирование - это

самые передовые научные направления



Механика твёрдого тела: расчёты на прочность, устойчивость и колебания конструкций ответственного назначения (самолёты, ракеты, ядерные реакторы и т.п.)



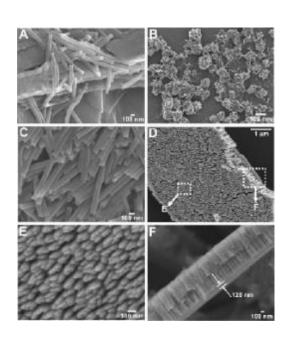
# Моделирование – это также обратные

задачи

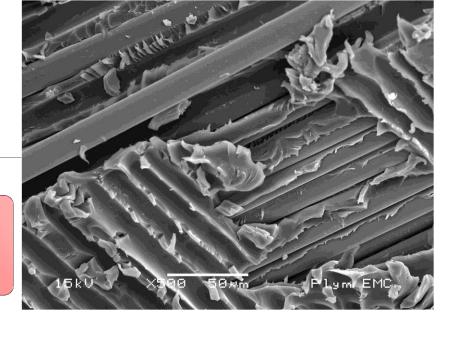
от неразрушающего контроля прочности конструкций до медицинской томографии и разведки полезных ископаемых



# Дефектоскопия



Определение различными методами наличия и характеристик трещин, полостей, разрушений в материале



Оптометрия

Big Data

# Управление твёрдым телом



Управление – изменяемое по нашему желанию воздействие на систему

Сфера применимости: космические технологии, транспорт, мостовые конструкции

Развито пока только для однородных материалов

# Предметные разделы обучения

Методы осреднения

Тензорный анализ



Уравнения математической физики (УРЧП)

Теория функций комплексного переменного (ТФКП)

Методы вычислений, в том числе, параллельных

Математическая статистика и теория оценивания

# Сотрудники кафедры





# Владимир Иванович Горбачев

Теория эффективных свойств

Теория определяющих соотношений

Термодинамика

Связанные задачи МДТТ

Теория концентрации напряжений

Инженерные теории, устойчивость и колебания неоднородных стержней, пластин и оболочек

Технологические задачи

# Темы курсовых работ

Численно-аналитический расчёт эффективных модулей упругости волокнистых композитов с регулярной структурой. Оценка краевого эффекта.

Оценка масштабного эффекта в слоистом и волокнистом композите.

Задача о вынужденных поперечных колебаниях неоднородной балки.

Численно аналитический расчёт тензора концентрации напряжений в композите с глобальным концентратором.

Экспериментальное определение скорости распространения тепловых волн в стержнях.

Изгиб статически неопределённых балок из композиционных материалов.

Расчёт эффективных свойств неупругих композитов.



# Михаил Ушангиевич Никабадзе

Метод ортогональных полиномов в теории вязкоупругости, механике тонких тел, механике композитов;

Тензорное исчисление и задачи на собственные значения тензоров

Нелинейные математические теории пластин, оболочек и стержней

Градиентная механика

Наномеханика

# Темы курсовых работ

Задача на собственные значения для тензора четвертого ранга и ее применение в механике;

Задача на собственные значения для тензорно-блочной матрицы четвертого ранга и ее применение в механике;

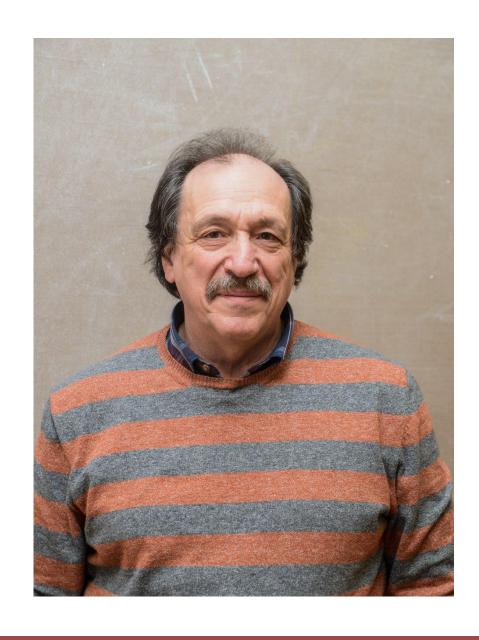
Применение метода ортогональных полиномов в теории тел вращения;

Проблема расщепления начально-краевых задач в механике;

Градиентная механика призматических тел;

Наномеханика призматических тел;

Численно-аналитическое решение некоторых задач о призматических телах.



### Сергей Альбертович **Лурье**

Градиентные теории упругости

Наномеханика композитов

Контактные задачи

Механика стержней, пластин и оболочек

Метаматериалы



### Павел Николаевич **Демидович**

Эффективные свойства волокнистых композитов

Критерии прочности в механике композитов

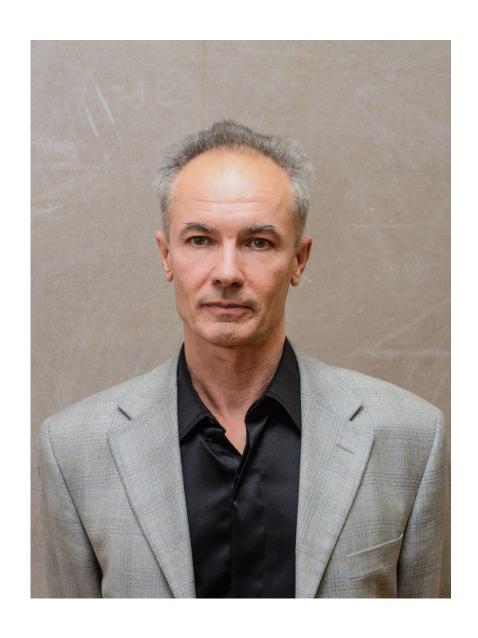
Нейронные сети в дефектоскопии

Биомеханические модели глаза

Композиты со случайной структурой

Вероятностные методы в вязкоупругости

Параллельные вычисления



### Андрей Владимирович **Хохлов**

теория ползучести и длительной прочности;

функциональный анализ;

определяющие соотношения вязкоупругопластичности и ползучести

экспериментальное исследование и моделирование поведения материалов

### Темы курсовых работ (1)

Качественный анализ и поиск индикаторов применимости нелинейного определяющего соотношения Работнова для упруговязкопластических материалов

Сравнительный анализ арсеналов возможностей нелинейного соотношения Работнова и линейного интегрального соотношения вязкоупругости Больцмана-Вольтерры

Разработка способов идентификации нелинейного определяющего соотношения Работнова для упруговязкопластических материалов

Экспериментальное исследование и моделирование поведения синтетических нитей и геотканей

Идентификация нелинейной модели упруговязкопластичности типа Максвелла по кривым нагружения и разгрузки материала

Индентирование сферических микрочастиц оксида титана в просвечивающем электронном микроскопе и изучение их механических свойств

Моделирование упруговязкопластических свойств микрочастиц оксида титана

Экспериментальное исследование и моделирование влияния степени кристалличности и плотности микрочастиц оксида титана на их механические свойства

### Темы курсовых работ (2)

Математическое обеспечение процесса индентирования сферических микрочастиц оксида титана в просвечивающем электронном микроскопе

Экспериментальное исследование и моделирование ползучести и разрушения пресноводного льда

Моделирование рэтчетинга и виброползучести с помощью нелинейной модели упруговязкопластичности типа Максвелла

Индикаторы применимости и идентификация нелинейной модели упруговязкопластичности типа Максвелла по кривым ползучести и обратной ползучести материала

Описание эффекта влияния ползучести на величину мгновенно-упругой деформации с помощью нелинейного соотношения Работнова для реономных материалов

Экспериментальное исследование и моделирование поведения реакционно-связанных резорбируемых медицинских композитов и цементов на основе фосфатов кальция

Моделирование длительной прочности в рамках линейной теории вязкоупругости с использованием критериев разрушения, учитывающих историю деформирования

Двусторонние оценки для функции релаксации линейной теории наследственности через кривые релаксации с начальной стадией деформирования и методики её идентификации



### Вероника Борисовна Беднова

Теория определяющих соотношений

Теплопроводность твёрдых тел

Теория термоупругости

Изучение напряженно-деформированного состояния и разрушения элементов конструкций



# Василий Владимирович Вакулюк

линейная и нелинейная теории вязкоупругости

релаксация полимерных материалов и ползучесть металлических сплавов

теория наследственности

определяющие соотношения в МДТТ, механика композитов и нанокомпозитов, мезомеханика, биомеханика

перколяция и теория фракталов

теории прочности и механика разрушения

дробные производные и дробные интегралы

непрерывные и цепные дроби

### Темы курсовых работ

Использование нелинейной вязкоупругой модели для описания резинокордных композитов (совместно с HИИMex).

Дробная производная и дробный интеграл в механике сплошных сред.

Подготовка и проведение экспериментов с резиной и резинокордом (образцы из автомобильных шин) для идентификации материальных параметров механических моделей (совместно с НИИМех).

Моделирование биотканей (костная ткань, мышцы, кожа, кровеносные сосуды и др.) с использованием вязкоупругих определяющих соотношений.

Моделирование механических свойств нитей, волокон и тканей с использований вязкоупругих моделей.

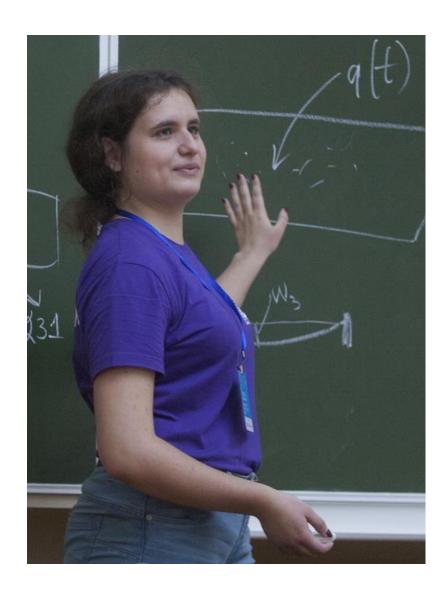
Разработка критериев прочности альпинистских верёвок. Программа экспериментов для проверки надёжности (Совместно с компанией Венто).

Моделирование поведения пищевых продуктов с использованием вязкоупругих определяющих соотношений.

Мезомеханика, перколяция и теория фракталов в композитах и нанокомпозитах.

Волны в анизотропных сплошных средах.

Моментные и несимметричные теории вязкоупругости.



### Любовь Александровна **Кабанова**

теория композиционных стержней, пластин и оболочек, методы идентификации и верификации моделей, методы неразрушающего контроля,

теория оценивания и управления системами с распределёнными параметрами

### Романов Александр Вячеславович



Выпускник аспирантуры

http://avromanov.ru/

Темы курсовых работ:

Вариационная постановка задач в микрополярной теории упругости

Вариационная постановка задач классической теории упругости

Эффект песочных часов и способы его учёта в вариационных постановках теории упругости

Вариационный принцип Лагранжа с учётом температурных соотношений Дюамеля-Неймана

Метод Рица с использованием «Серендиповых» полиномов 2-го порядка

Облачные вычисления в задачах механики





## Выпускники кафедры

### Фирсов Леонид Леонидович

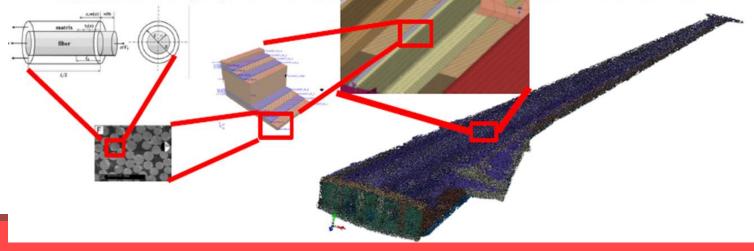


Выпускник аспирантуры кафедры Генеральный директор <u>ООО«АЭРОЛАБ»</u>

#### Текущие научные задачи



- Рост трещин между слоями ПКМ (линейная механика разрушения)
- Исследование задачи в 2D и 3D постановке
- Определяющие соотношения для ПКМ с моделью вязкопластичного связующего
- Модель накопления повреждений на уровне волокно и матрица.
- Конечно-элементное моделирование НДС (напряжённодеформированного состояния) для статического и усталостного расчёта
- Применение суперкомпьютерных вычислений для механики композитов.



### Гаделев Руслан Рамилевич





Выпускник аспирантуры Группа «Кронштадт» <a href="https://kronshtadt.ru/">https://kronshtadt.ru/</a>

Производство изделий из полимерных композиционных материалов, проектирование, сборка беспилотных летательных аппаратов. «Кронштадт» — российская высокотехнологичная компания, специализирующаяся на разработке и производстве наукоёмкой продукции и решений, необходимых для создания, освоения и безопасной эксплуатации сложных технических средств в воздухе, на море и на суше.

Среди направлений деятельности компании:

разработка и производство современных комплексных тренажёрных систем и других автоматизированных средств обучения;

разработка и производство сложного бортового и наземного радиоэлектронного оборудования навигации, управления и связи;

цифровая картография, создание сложных геоинформационных систем и комплексных решений по обеспечению геопространственной информацией;

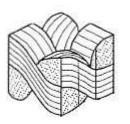
разработка и внедрение автоматизированных систем управления (АСУ) и систем поддержки принятия решений на их основе.

Лаборатория прочности и ползучести при высоких температурах

И.о. зав.лаб., ведущий научный сотрудник Горбачев Владимир Иванович старший научный сотрудник к.т.н. Ковальков Валерий Константинович старший научный сотрудник к.х.н. Филиппов Ярослав Юрьевич

Научноисследовательские работы (НИР)

# Некоторые НИР, выполненные сотрудниками



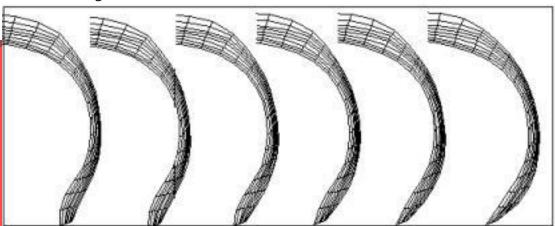
Теоретические исследования и методы расчета в механике анизотропных и структурно-неоднородных сред

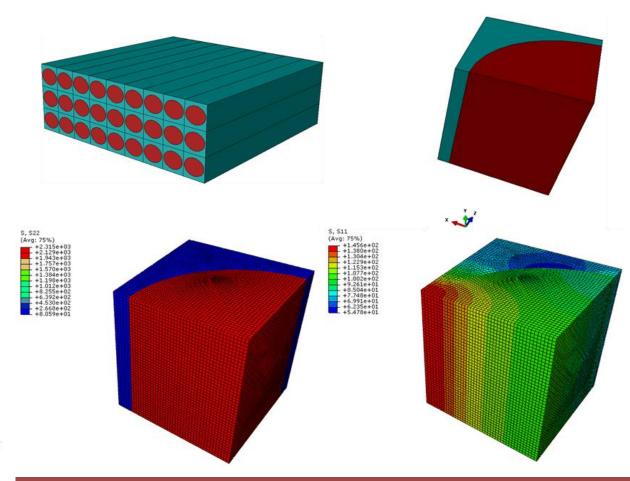
Ползучесть и прочность материалов и элементов конструкций с учетом высоких температур и контактных взаимодействий

Аналитико-численные подходы и методы асимптотического интегрирования в задачах МДТТ

Теоретические исследования и методы расчётов в макро-, микро- и наномеханике композитов (осуществляется сейчас)

Примеры задач, решаемых студентами







### Учебная работа

Кафедра читает более 30 специальных курсов

Некоторые общие курсы читаются отдельно специалистами кафедры

 $\underset{\sim}{A} \cdot u + F = 0,$ 

Совместно с кафедрами теории упругости и пластичности разработан специальный физико-механический практикум

Осуществляется чтение курсов на других факультетах: ФКИ, ФНМ, филиалах МГУ: Душанбе





### Традиции кафедры

## Активное участие студентов и выпускников кафедры в научных исследованиях и жизни МГУ

- •Публикации в рецензируемых изданиях.
- •Участие в конференциях.
- •Участие в научных грантах.
- •Победы в научных соревнованиях и конкурсах.
- •Спортивные достижения.
- •Участие в организации и проведении олимпиад, конференций, научных и образовательных мероприятий.
- •Работа со школьниками, абитуриентами.





На 5-й зимней школе-конференции в Красновидово, февраль 2020 г.

#### Где работают выпускники кафедры?

- Исследователями в НИИ и конструкторских бюро
- Преподавателями вузов и университетов
- В научных отделах корпораций
- В банковской сфере
- Программистами, администраторами, аналитиками и т.п.



Вы можете добавить сюда новую область!



На экскурсии в группу Кронштадт, март 2020 г.



Чтобы подписаться на **mekhaniki\_kompozitov**, отсканируйте эту Instagram-визитку в Instagram.





### СПАСИБО! МЫ ВАС ЖДЁМ!©

<u>Будем рады продолжить общение</u> на специальной страничке для 2 курса!

composite\_msu@mail.ru

composite.msu.ru

vk.com/composite msu

www.instagram.com/mekhaniki\_kompozitov

+7-495-939-43-43