

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной деятельности КФУ  
проф. Таюрский Д.А.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **Программа дисциплины**

Дополнительные главы механики деформируемого твердого тела

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика твердого деформируемого тела

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) заведующий кафедрой, д.н. (доцент) Султанов Л.У. (Кафедра теоретической механики, отделение механики), Lenar.Sultanov@kpfu.ru

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-1	Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики
ОПК-3	Способен разрабатывать новые методы экспериментальных исследований и применять современное экспериментальное оборудование в профессиональной деятельности

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

основы тензорного исчисления;  
сущность различных тензорных мер деформаций и связи между ними;  
знать различные постановки задач;  
знать основные реологические модели простых и сложных сред;  
понятие объективных производных тензоров напряжений;

Должен уметь:

составлять балансовые уравнения в исходной, актуальной и подвижной системах координат;  
получать определяющие соотношения с учетом различных свойств материалов;  
ориентироваться в различных формах вариационных уравнений виртуальных перемещений и виртуальных мощностей.

Должен владеть:

навыками тензорного исчисления;  
навыками получения вариационных уравнений в различных постановках;  
навыками получения определяющих соотношения.

Должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике.  
понимать сущность различных тензорных мер деформаций и связи между ними;  
объяснить физический смысл различных тензоров напряжений;  
уметь составлять балансовые уравнения в исходной, актуальной и подвижной системах координат;  
ориентироваться в различных формах вариационных уравнений виртуальных перемещений и виртуальных мощностей.  
понимать понятие объективных производных тензоров напряжений;  
объяснить основные реологические модели простых и сложных сред.

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.О.05 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.04.03 "Механика и математическое моделирование (Механика твердого деформируемого тела)" и относится к обязательным дисциплинам.

Осваивается на 1 курсе в 1 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 26 часа(ов), в том числе лекции - 12 часа(ов), практические занятия - 14 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 46 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 1 семестре.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение. Классификация нелинейных проблем. Основы тензорной алгебры, прямое тензорное исчисление.	1	2	2	0	8
2.	Тема 2. Кинематика больших деформаций.	1	4	2	0	8
3.	Тема 3. Кинематика течения среды. Материальные производные.	1	2	4	0	10
4.	Тема 4. Уравнения движения.	1	2	2	0	10
5.	Тема 5. Вариационные уравнения.	1	2	4	0	10
	Итого		12	14	0	46

**4.2 Содержание дисциплины (модуля)**

**Тема 1. Введение. Классификация нелинейных проблем. Основы тензорной алгебры, прямое тензорное исчисление.**

Введение. Классификация нелинейных проблем. Геометрическая нелинейность: большие деформации и перемещения, малые деформации и конечные перемещения, учет предварительных напряжений. Физическая нелинейность: пластичность, ползучесть, вязкость, сложные реологические модели, предельное состояние и т.д. Контактное взаимодействие. Примеры. Основы тензорной алгебры, прямое тензорное исчисление. Базис, векторы, тензоры, скалярное произведение, свертка, векторное произведение, символы Леви-Чивита. Главные оси, главные значения симметричных тензоров, инварианты, целые и дробные степени тензора, тождество Гамильтона-Кэли. Ортогональный тензор, полярное разложение, кососимметричный тензор. Тензорные функции, производные инвариантов тензора по тензору.

**Тема 2. Кинематика больших деформаций.**

Кинематика больших деформаций Актуальная и начальная конфигурации, вектор конечных перемещений. Оператор Гамильтона для недеформированной и деформированной конфигураций. Тензоры градиента места и деформации и тензоры обратные к ним. Физический смысл этих тензоров. Тензоры меры деформации: мера деформации Коши-Грина (правый тензор Коши-Грина), мера деформации Фингера (левый тензор Коши-Грина), мера деформации Альманси (левый тензор Пиолы), правый тензор Пиолы, их геометрический смысл. Полярное разложение градиента деформации, правый и левый тензоры искажения, ортогональный тензор жесткого вращения. Внутренние связи между введенными тензорами, их главные значения как отношения длин элементарных отрезков в исходном и актуальном состояниях. Инварианты мер деформаций. Логарифмическая мера деформации. Тензор деформаций Грина.

**Тема 3. Кинематика течения среды. Материальные производные.**

Кинематика течения среды. Вектор скорости, подходы Лагранжа и Эйлера описания течения. Вектор ускорения, материальная, частная и конвективная производные по времени. Материальные производные градиента деформации, меры деформации Коши-Грина и тензора деформации Грина. Пространственный градиент скорости, его кинематический смысл. Тензор деформации скорости, его физический смысл, тензор скорости поворота. Соотношения, связывающие введенные тензоры. Пространственная мера искажения скорости, тензор скорости вращения (спин), движение без вращений. Скорость изменения объема.

**Тема 4. Уравнения движения.**

Уравнения движения. Тензор истинных напряжений Коши-Эйлера, векторы напряжений на ортогональных и произвольно ориентированных площадках. Законы сохранения массы и количества движения в рамках подхода Лагранжа, уравнения движения (равновесия) в актуальном состоянии. Уравнение сохранения момента количества движения, симметричность тензора напряжений Коши-Эйлера. Уравнения сохранения массы и количества движения в рамках подхода Эйлера, уравнения неразрывности и движения. Описание движения в подвижных областях (произвольная Лагранжево-Эйлерова постановка). Векторы скоростей движения материальной частицы и системы отчета, материальная производная по времени. Закон сохранения массы и различные формы уравнения неразрывности. Закон сохранения количества движения и различные формы уравнения движения. Балансовые уравнения движения среды в деформируемой области.

### **Тема 5. Вариационные уравнения.**

Вариационные уравнения. Работа внешних и внутренних сил на виртуальных перемещениях. Уравнение виртуальных работ относительно исходной конфигурации, потенциальная энергия деформации, сопряженные по энергии пары тензоров напряжений и тензоров мер деформаций. Физический смысл слагаемых в уравнении виртуальных работ. Элементарная работа внутренних сил в актуальном состоянии, уравнение виртуальных работ в текущей конфигурации. Мощность внутренних сил, кинетическая энергия, работа внешних сил за единицу времени, закон сохранения механической энергии. Четыре формы выражения мощности внутренних сил для исходной и актуальной конфигураций, сопряженные пары тензоров по мощности, тензор истинных напряжений во вращающейся системе координат. Уравнение виртуальных скоростей для исходного и текущего состояний. Уравнения Эйлера соответствующих вариационных задач, различные формы уравнений движения и силовых граничных условий. Вариационные уравнения.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

### **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

### **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

### 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Интернет-портал систем автоматизации инженерных расчетов - <http://www.cadfem-cis.ru/>

Поисковая система - [www.google.ru](http://www.google.ru)

Форум САПР-2000 - <http://fsapr2000.ru/>

Электронная библиотека - [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

Электронная библиотека - [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Электронная библиотека - [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

Электронная библиотека - <http://mech.math.msu.su>

### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	В ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.
практические занятия	В ходе подготовки к практическим занятиям изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях: журналах, газетах и т.д. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой. Подготовить тезисы для выступлений по всем учебным вопросам, выносимым на семинар. Готовясь к докладу или реферативному сообщению, обращаться за методической помощью к преподавателю. Составить план-конспект своего выступления. Продумать примеры с целью обеспечения тесной связи изучаемой теории с реальной жизнью. Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций и изучении рекомендованной литературы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых и дипломных работ.
самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов состоит из двух основных частей - проработка лекционного материала и выполнения домашних заданий. Для освоения теоретического и практического материала, в случае, когда конспектов оказывается недостаточным, или для более детальной проработки отдельных тем рекомендуется использовать литературу, указанную в соответствующем разделе. Все возникающие вопросы рекомендуется заранее четко сформулировать и впоследствии обсудить с преподавателем.

Вид работ	Методические рекомендации
зачет	Подготовку к зачету рекомендуется разделить на два этапа. На первом этапе прорабатываются все вопросы и формулируются вопросы к преподавателю в рамках консультации по разделам, недостаточно подробно описанным в рамках лекционного курса или более трудным в освоении материала. После консультации происходит окончательная проработка и закрепление материала по всем вопросам.

#### **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

#### **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Специализированная лаборатория.

#### **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 01.04.03 "Механика и математическое моделирование" и магистерской программе "Механика твердого деформируемого тела".

Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.О.05 *Дополнительные главы механики деформируемого  
твердого тела*

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика твердого деформируемого тела

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

**Основная литература:**

1. Нигматулин Р. И. Механика сплошной среды : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 010701 'Фундаментальная механика и механика' и направлению подготовки 010800 'Механика и математическое моделирование'. Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика / Р. И. Нигматулин . - Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2014 . - 639 с.
2. Нигматулин Р.И., Механика сплошной среды. Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика [Электронный ресурс] / Нигматулин Р. И. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. - 640 с. - ISBN 978-5-9704-2898-6 - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970428986.html>
3. Андреев В.К. Математические модели механики сплошных сред: учебное пособие / В.К. Андреев. - Санкт-Петербург: Лань, 2015. - 240 с. - ISBN 978-5-8114-1998-2. - Текст : электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань' : [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/67464>
4. Темам Р. Математическое моделирование в механике сплошных сред: учебное пособие / Р. Темам, А. Миранвиль; под редакцией Г. М. Кобелькова; перевод И. О. Арушаняна. - 3-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2017. - 323 с. - ISBN 978-5-00101-494-2. - Текст: электронный// Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/94110>

**Дополнительная литература:**

1. Учайкин, В.В. Механика. Основы механики сплошных сред. Задачи с указаниями и ответами: учебное пособие / В.В. Учайкин. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 320 с. - ISBN 978-5-8114-2803-8. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/101845>
2. Шинкин, В.Н. Механика сплошных сред: Курс лекций : учебное пособие / В.Н. Шинкин. - Москва: МИСИ, 2010. - 235 с. - ISBN 978-5-87623-370-7. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань' : [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2079>



*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.О.05 Дополнительные главы механики деформируемого  
твердого тела*

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика твердого деформируемого тела

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2018

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows