

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**

Вычислительные методы нелинейной механики Б1.В.ДВ.06.02

Направление подготовки: 01.04.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Компьютерная механика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2019

**Автор(ы):** Султанов Л.У.

**Рецензент(ы):** Егоров А.Г.

#### **СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Султанов Л. У.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_ от "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Учебно-методическая комиссия Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского :

Протокол заседания УМК No \_\_\_ от "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования
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
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
  - 6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения
  - 6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
  - 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы
  - 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
  - 7.1. Основная литература
  - 7.2. Дополнительная литература
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 к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.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 образовательной программы

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1	способностью к интенсивной научно-исследовательской деятельности;
ПК-5	способностью к творческому применению, развитию и реализации математически сложных алгоритмов в современных программных комплексах

Выпускник, освоивший дисциплину:

Должен знать:

физические основы построения определяющих соотношений;  
теорию пластического течения;  
метод последовательных нагружений при различных постановках.

Должен уметь:

составлять определяющие соотношения для гиперупругих, несжимаемых и упругопластических сред;  
ориентироваться в проблемах обобщения физических моделей на случай конечных деформаций.  
составлять дискретные модели на основе основных численных методов.

Должен владеть:

навыками построения физических соотношений;  
навыками линеаризации определяющих соотношений и разрешающих уравнений

Должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике

Должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике

Должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике

Должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике

### 2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.06.02 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.04.03 "Механика и математическое моделирование (Компьютерная механика)" и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 1 курсе в 2 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 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 50 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 32 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 58 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен во 2 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. Объективные производные напряжений	2	2	2	0	4
2.	Тема 2. Реологические модели.	2	2	2	0	4
3.	Тема 3. Нелинейная упругость.	2	2	6	0	8
4.	Тема 4. Упругопластическое деформирование.	2	2	4	0	8
5.	Тема 5. Метод последовательных нагружений в отсчетной конфигурации.	2	4	6	0	8
6.	Тема 6. Метод последовательных нагружений в текущей конфигурации.	2	4	6	0	12
7.	Тема 7. Пошаговое интегрирование уравнений движения в актуальной конфигурации.	2	4	6	0	12
	Итого		20	32	0	56

##### 4.2 Содержание дисциплины

###### Тема 1. Объективные производные напряжений

Понятие и условие объективности вектора и тензора при жестких вращениях. Понятие и условия инвариантности и изотропности. Классификация введенных тензоров для описания деформации и течения среды (градиенты деформации, меры деформации, их материальные производные, деформации скорости, скорости вращения и т.д.). Классификация тензоров напряжений. Введение индифферентных (объективных, коротационных, конститутивных) производных тензора напряжений Коши-Эйлера в форме Яуманна, Трусделла и Грина-Нагди. Вывод соотношений, связывающих различные виды производных напряжений.

###### Тема 2. Реологические модели.

Простейшие реологические модели: упругая среда, жесткопластическое тело Мизеса, вязкая среда, температурное расширение, односторонний контакт. Сложные модели: упруго-вязкая среда Кельвина-Фойхта, релаксирующая среда Максвелла, упругопластическое тело Прандля, упругопластическая и жесткопластическая среды с подкреплением, вязкопластическая среда Бингама, сыпучая среда, разномодульный материал, вязко-упруго-пластическая сыпучая среда, модели термо-вязко-упруго-пластических материалов с различным соединением простейших элементов. Пути обобщения сформулированных моделей для случая больших поворотов, больших перемещений и конечных деформаций.

###### Тема 3. Нелинейная упругость.

Нелинейная упругость. Определение нелинейной упругости и гиперупругости, потенциал упругой деформации. Выражение тензоров напряжений Коши-Эйлера и Пиолы-Кирхгофа, производные потенциала по мерам деформации Коши-Грина и Фингера. Изотропные материалы, общий вид определяющих соотношений, стандартный материал первого и второго порядков, материал Джона, материал Блейцо и Ко, тело Сетха, малосжимаемые эластомеры и др. Несжимаемые материалы, условие несжимаемости, обобщенный потенциал упругой деформации, гидростатическое давление, обобщенное уравнение виртуальных перемещений. Примеры несжимаемых материалов: Трилора, Муни, Клоснера-Сегала, Бидермана и др. Определяющие соотношения.

###### Тема 4. Упругопластическое деформирование.

Упругопластическое деформирование. Теория пластического течения, поверхность пластичности, условие пластического деформирования, аддитивное представление скоростей деформации, ассоциированный закон пластического течения. Идеально пластическая среда, алгоритмы решения: снос напряжений на поверхность текучести, метод Ньютона, учет геометрической нелинейности, шаговое нагружение, соотношения Прандля-Рейсса. Пластическая среда с подкреплением, параметры упрочнения, касательная жесткость, метод дополнительных напряжений, метод Ньютона и его модификации, учет больших деформаций. Мультипликативное разложение деформаций, обоснование, определяющие соотношения для скоростей деформаций и напряжений.

### **Тема 5. Метод последовательных нагружений в отсчетной конфигурации.**

Глобальная Лагранжевая постановка задачи. Линеаризованное вариационное уравнение принципа виртуальных перемещений для задач статики и динамики. Алгоритм расчета. Упругопластический материал при малых и конечных деформациях (деформационная теория и теория пластического течения). Определяющие соотношения, алгоритм решения нелинейных задач, упругих, упругопластических. Алгоритм решения упругопластических задач, способы разделения упругих и пластических деформаций.

### **Тема 6. Метод последовательных нагружений в текущей конфигурации.**

Модернизированная Лагранжевая постановка задачи. Вариационное уравнение принципа виртуальных перемещений в актуальной конфигурации. Модернизированный тензор напряжений Кирхгофа. Определяющие соотношения, алгоритм решения нелинейных задач, упругих, упругопластических. Алгоритм решения упругопластических задач, способы разделения упругих и пластических деформаций.

### **Тема 7. Пошаговое интегрирование уравнений движения в актуальной конфигурации.**

Пошаговое интегрирование уравнений движения в актуальной конфигурации. Линеаризованное вариационное уравнение принципа виртуальных скоростей. Статические нагрузки (пошаговое нагружение). Определяющие соотношения, алгоритм решения нелинейных задач, упругих, упругопластических. Алгоритм решения упругопластических задач, способы разделения упругих и пластических деформаций.

## **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".

Положение от 29 декабря 2018 г. № 0.1.1.67-08/328 "О порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Положение № 0.1.1.67-06/241/15 от 14 декабря 2015 г. "О формировании фонда оценочных средств для проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Положение № 0.1.1.56-06/54/11 от 26 октября 2011 г. "Об электронных образовательных ресурсах федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/66/16 от 30 марта 2016 г. "Разработки, регистрации, подготовки к использованию в учебном процессе и удаленного электронных образовательных ресурсов в системе электронного обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/11/16 от 25 января 2016 г. "О балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Регламент № 0.1.1.67-06/91/13 от 21 июня 2013 г. "О порядке разработки и выпуска учебных изданий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

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

### **6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения**

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
<b>Семестр 2</b>			

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
	<b>Текущий контроль</b>		
1	Контрольная работа	ПК-1 , ПК-5	2. Реологические модели.
2	Контрольная работа	ПК-5 , ПК-1	3. Нелинейная упругость.
3	Устный опрос	ПК-1	4. Уругопластическое деформирование.
	<b>Экзамен</b>		
		ПК-1, ПК-5	

### 6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
<b>Семестр 2</b>					
<b>Текущий контроль</b>					
Контрольная работа	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьезные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	1 2
Устный опрос	В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема частично раскрыта. Ответ слабо структурирован. Понятийный аппарат освоен частично. Понимание отдельных положений из материала по теме. Удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема не раскрыта. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	3

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
<b>Экзамен</b>	Обучающийся обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой дисциплины, усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.	Обучающийся обнаружил полное знание учебно-программного материала, успешно выполнил предусмотренные программой задания, усвоил основную литературу, рекомендованную программой дисциплины, показал систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой, знаком с основной литературой, рекомендованной программой дисциплины, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.	Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.	

### 6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

#### Семестр 2

#### Текущий контроль

#### 1. Контрольная работа

#### Тема 2

Используя простейшие одномерные реологические модели (упругая среда, жестко пластическое тело Мизеса, вязкая среда, температурное расширение, односторонний контакт), получить определяющие соотношения для следующих сложных сред:

1. Упруговязкая среда Кельвина-Фойхта, которая образуется путем параллельного соединения упругого и вязкого элементов;
2. Релаксирующая среда Максвелла, которая образуется из последовательного соединения упругого и вязкого элементов;
3. Упругопластическое тело Прандтля, которое может быть представлена в виде последовательного соединения упругого и жесткопластического элементов;
5. Жесткопластическая среда с подкреплением, в этом случае упругий и жесткопластический элементы соединены параллельно ;
6. Упругопластическая среда с подкреплением, которая представляет собой параллельное соединение упругого и упругопластического элементов;
7. Вязкопластическое тело, образуется при параллельном соединении вязкого и пластического элементов;
8. Обобщенная вязкоупругая среда, которая объединяет свойства сред Кельвина-Фойхта и Максвелла, т.е. описывает и ползучесть и релаксацию напряжений;
9. Линейная сыпучая среда, является последовательным соединением упругого и контактного элементов;
10. Вязко-упруго-пластическая сыпучая среда. Это пример содержит четыре простейшие модели, соединенные различным образом;
11. Разномодульный материал. Разномодульный материал представляется в виде комбинации упругого и контактного элементов;
12. Термо-вязко-упруго-пластическая модель среды ♦1. Рассматриваются различные комбинации обобщений представленных выше моделей и содержит в себе значительный спектр различных свойств;

13. Термо-вязко-упруго-пластическая модель среды ♦2. Рассматриваются различные комбинации обобщений представленных выше моделей и содержит в себе значительный спектр различных свойств;

14. Обобщение на трехмерный случай. Простейшее обобщение полученных соотношений на трехмерный случай для изотропного материала при малых деформациях.

## 2. Контрольная работа

### Тема 3

Определение нелинейной упругости и гиперупругости, потенциал упругой деформации.

Изотропные материалы, общий вид определяющих соотношений, стандартный материал первого и второго порядков, материал Джона, материал Блейцо и Ко, тело Сетха, малосжимаемые эластомеры.

Несжимаемые материалы, условие несжимаемости, обобщенный потенциал упругой деформации, гидростатическое давление, обобщенное уравнение виртуальных перемещений.

Примеры несжимаемых материалов: Трилора, Муни, Клоснера-Сегала, Бидермана.

Вывод определяющих соотношений (выражения тензоров напряжений Коши-Эйлера и Пиолы-Кирхгофа) для следующих материалов:

стандартный материал первого порядка;

стандартный материал второго порядка;

материал Джона;

материал Блейцо и Ко;

тело Сетха;

Трилора;

Муни;

Клоснера-Сегала;

Бидермана.

Получить производные потенциала по мерам деформации Коши-Грина и Фингера для следующих материалов:

стандартный материал первого порядка;

стандартный материал второго порядка;

материал Джона;

материал Блейцо и Ко;

тело Сетха;

Трилора;

Муни;

Клоснера-Сегала;

Бидермана.

## 3. Устный опрос

### Тема 4

Дать определение следующим терминам:

интенсивность напряжений;

интенсивность касательных напряжений;

интенсивность деформаций;

интенсивность касательных деформаций;

функция текучести;

условие пластичности, условием Губера-Мизеса;

ассоциативный закон пластического течения;

упругопластическая изотропная среда с упрочнением;

билинейно упрочняющий материал;

эффект Баушингера;

## Экзамен

Вопросы к экзамену:

Билет ♦ 1

1. Понятие и условие объективности вектора и тензора при жестких вращениях.

2. Аддитивное представление скоростей упругих и пластических деформаций, соотношение Пранля-Рейсса.

Билет ♦ 2

1. Объективность тензора градиента деформации.

2. Определяющие соотношения для тензоров напряжений Пиолы-Кирхгофа в случае гиперупругого материала.

Билет ♦ 3

1. Объективность тензоров мер деформаций.

2. Мультипликативное разложение скоростей упругих и пластических деформаций.

Билет ♦ 4

1. Объективность скоростей мер деформаций.

2. Изотропный материал, общий вид определяющих соотношений.



Билет ♦ 5

1. Объективность тензора деформации скорости и скорости вращения.
2. Стандартный гиперупругий материал первого и второго порядков.

Билет ♦ 6

1. Индифферентная производная Яуманна тензора напряжений.
2. Гиперупругие материалы Джона, Блейца и Ко.

Билет ♦ 7

1. Производная Трусделла тензора напряжений.
2. Метод пошагового нагружения в упругопластических задачах.

Билет ♦ 8

1. Производная Грина-Нагди тензора напряжений.
2. Обобщенное уравнение виртуальных перемещений для несжимаемых материалов.

Билет ♦ 9

1. Связи между различными видами производных тензора напряжений.
2. Определяющие соотношения для типовых несжимаемых материалов.

Билет ♦ 10

1. Простейшие реологические модели.
2. Метод Ньютона расчета гиперупругих тел.

Билет ♦ 11

1. Упруго-вязкая среда Кельвина-Фойхта.
2. Метод Ньютона расчета гиперупругих несжимаемых материалов.

Билет ♦ 12

1. Релаксирующая среда Максвелла.
2. Теория пластического течения, поверхность пластичности.

Билет ♦ 13

1. Среда Бингама, вязко-упруго-пластическая сыпучая среда.
2. Ассоциированный закон пластического течения.

Билет ♦ 14

1. Определяющие соотношения для термо-вязко-упруго-пластического материала (мо-дель 1).
2. Идеально пластическая среда, алгоритм проецирования напряжений на поверхность текучести.

Билет ♦ 15

1. Определяющие соотношения для термо-вязко-упруго-пластического материала (мо-дель 2).
2. упругопластическая среда с линейным упрочнением., алгоритм проецирования напряжений на поверхность текучести.

Билет ♦ 16

1. Нелинейная упругость и гиперупругость, потенциал упругой деформации.
2. Пластическая среда с подкреплением, метод Ньютона решения задач.

Билет ♦ 17

1. Определяющие соотношения для тензора напряжений Коши-Эйлера в случае гиперупругого материала.
2. Пластическая среда с подкреплением, метод дополнительных напряжений.

Билет ♦ 18

1. Упругопластическое тело Прандтля, упругопластическая и жесткопластическая среды с подкреплением (реологические модели).
2. Несжимаемые материалы, обобщенный потенциал деформаций.

Билет ♦ 19

1. Теории предельного состояния различных грунтов.
2. Модель термо-вязко-пластичности для изотропных материалов.

Билет ♦ 20

1. Коэффициент сцепления, угол внутреннего трения, условия прочности.
2. Алгоритм расчета динамических процессов по явной схеме по времени.

Билет ♦ 21

1. Теории прочности разносопротивляющихся материалов.
2. Применение метода конечных элементов к физически нелинейным задачам.

Билет ♦ 224

1. Нелинейное деформирование железобетона.
2. Алгоритм расчета упругопластических материалов при мультипликативном разложении деформаций.

Билет ♦ 23

1. Теории прочности композиционных материалов, механизмы разрушения.
2. Применение вариационно-разностного метода в геометрически нелинейных задачах.

Билет ♦ 24

1. Механика поврежденной среды. Основные положения.
2. Методика сквозного счета в динамических задачах.

Билет ♦ 25

1. Эволюционные уравнения накопления микродефектов.
2. Теория ползучести, кривые ползучести.

Билет ♦ 26

1. Теории старения.
2. Шаговые методы решения нелинейных задач.

Билет ♦ 27

1. История нагружения и ?деградация? материалов.
2. ?Инкрементальные методы? решения нелинейных задач.

Билет ♦ 28

1. Условия прочности композиционных матеоиалов.
2. Глобальная Лагранжевая постановка в приращениях.

Билет ♦ 29

1. Двух параметрическая модель деформирования грунта.
2. Модернизированная Лагранжевая постановка в приращениях.

Билет ♦ 30

1. Итерационные методы вычисления напряженного состояния на шаге нагружения.
2. Комбинированная Лагранжево-Эйлеровая постановка в приращениях.

**6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

В КФУ действует балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся. Суммарно по дисциплине (модулю) можно получить максимум 100 баллов за семестр, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов.

Для зачёта:

56 баллов и более - "зачтено".

55 баллов и менее - "не зачтено".

Для экзамена:

86 баллов и более - "отлично".

71-85 баллов - "хорошо".

56-70 баллов - "удовлетворительно".

55 баллов и менее - "неудовлетворительно".

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
<b>Семестр 2</b>			
<b>Текущий контроль</b>			
Контрольная работа	Контрольная работа проводится в часы аудиторной работы. Обучающиеся получают задания для проверки усвоения пройденного материала. Работа выполняется в письменном виде и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	1	20
		2	20
Устный опрос	Устный опрос проводится на практических занятиях. Обучающиеся выступают с докладами, сообщениями, дополнениями, участвуют в дискуссии, отвечают на вопросы преподавателя. Оценивается уровень домашней подготовки по теме, способность системно и логично излагать материал, анализировать, формулировать собственную позицию, отвечать на дополнительные вопросы.	3	10
<b>Экзамен</b>	Экзамен нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, в которых содержатся вопросы (задания) по всем темам курса. Обучающемуся даётся время на подготовку. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50

## 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

### 7.1 Основная литература:

Голованов, Александр Иванович. Теоретические основы вычислительной нелинейной механики деформируемых сред: курс лекций / А.И. Голованов, Л.У. Султанов; Казан. гос. ун-т. Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 2008. - 163 с.

Волков, Е.А. Численные методы [Электронный ресурс] : учеб. Электрон. дан. Санкт-Петербург : Лань, 2008. 256 с. <https://e.lanbook.com/book/54>

Численные методы. Курс лекций : Учебное пособие/ Срочко В.А. - СПб.: Издательство 'Лань', 2010. - 208 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=378](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=378)

### 7.2. Дополнительная литература:

Нигматулин Р.И., Механика сплошной среды, Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 010701 'Фундаментальная механика и механика' и направлению подготовки 010800 'Механика и математическое моделирование' / Р. И. Нигматулин. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 639 с.

Численные методы: учеб. пособие для студентов физ.-мат. спец. вузов / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков; Моск. гос. ун-т. 5-е изд.. Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2007. 636 с.

Самарский, Александр Андреевич. Введение в численные методы: учеб. пособие для вузов / А. А. Самарский; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. 3-е изд., стер.. Санкт-Петербург:Лань, 2005. 288 с.

Самогин Ю.Н., Хроматов В.Е., Чирков В.П. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов / Под ред. В. П. Чиркова.

М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 200 с. [https://e.lanbook.com/book/59633#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/59633#book_name)

## 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.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

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

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

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

## 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.

Вид работ	Методические рекомендации
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.
контрольная работа	При подготовке к выполнению контрольных работ студентам рекомендуется проработать соответствующий материал, заблаговременно сформулировать и задать преподавателю возникшие вопросы, подготовить краткий справочный материал по используемым уравнениям и формулам при решении задач для сокращения затрачиваемого времени.
устный опрос	При подготовке к устному опросу рекомендуется проработать лекционный материал. Найти и отдельно изучить разделы лекций, содержащие ключевые позиции курса. При необходимости отдельные вопросы следует проработать по приведенному списку основной и дополнительной литературы, а также используя электронные ресурсы.
экзамен	Подготовку к экзамену 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)

Освоение дисциплины "Вычислительные методы нелинейной механики" предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

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

Освоение дисциплины "Вычислительные методы нелинейной механики" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая проекционная мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

## **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 Компьютерная механика .