

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. Д.А. Таюрский

» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Вычислительные методы в механике деформируемого твердого тела

Направление подготовки: 01.03.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Общий профиль

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2016

## 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-4	способностью находить, анализировать, реализовывать программно и использовать на практике математические алгоритмы, в том числе с применением современных вычислительных систем
ПК-2	способностью математически корректно ставить естественнонаучные задачи, знание постановок классических задач математики и механики
ПК-3	способностью строго доказать утверждение, сформулировать результат, увидеть следствия полученного результата
ПК-4	готовностью использовать основы теории эксперимента в механике, понимание роли эксперимента в математическом моделировании процессов и явлений реального мира
ПК-6	способностью использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

сущность МКЭ как универсального метода дискретизации задач механики деформируемого твердого тела; требования к аппроксимациям и основные их виды; проблемы МКЭ, применительно к расчету тонких пластин;

Должен уметь:

строить конечные элементы для решения типовых задач теории упругости, теории пластин и оболочек; ориентироваться в особенностях применения МКЭ в задачах динамического анализа и упругопластического деформирования.

Должен владеть:

современными информационными системами для расчета конструкций; инструментами построения конечноэлементных аппроксимаций.

Должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике.

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

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.4 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.03.03 "Механика и математическое моделирование (Общий профиль)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 3, 4 курсах в 6, 7, 8 семестрах.

### 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 5 зачетных(ые) единиц(ы) на 180 часа(ов).

Контактная работа - 100 часа(ов), в том числе лекции - 50 часа(ов), практические занятия - 50 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 80 часа(ов).

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

Форма промежуточного контроля дисциплины: отсутствует в 6 семестре; зачет в 7 семестре; зачет с оценкой в 8 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. Содержание и задачи курса, связь с другими предметами	6	2	2	0	3
2.	Тема 2. Основные положения МКЭ. Постановка задачи теории упругости. Вариационная постановка. МКЭ как вариант метода Ритца.	6	2	2	0	3
3.	Тема 3. Обобщенные вариационные формулировки.	6	2	2	0	3
4.	Тема 4. Аппроксимации в конечных элементах.	6	2	2	0	3
5.	Тема 5. Одномерные аппроксимации (введение понятий пробных функций и функций формы).	6	2	2	0	4
6.	Тема 6. Двумерные аппроксимации в треугольных и четырехугольных областях различного порядка в глобальных и локальных координатах.	6	2	2	0	4
7.	Тема 7. Аппроксимации в трехмерном случае.	6	2	2	0	4
8.	Тема 8. Конечные элементы задач теории упругости. Плоская задача теории упругости.	6	2	2	0	6
9.	Тема 9. Треугольный элемент с линейной и квадратичной аппроксимацией, четырехугольные элементы с билинейной и квадратичной аппроксимацией.	6	2	2	0	6
10.	Тема 10. Вопросы практической реализации.	7	2	2	0	4
11.	Тема 11. Способы хранения матрицы жесткости и методы решения систем линейных алгебраических уравнений.	7	2	2	0	4
12.	Тема 12. Вычисление напряжений, локальное и глобальное сглаживание.	7	2	2	0	4
13.	Тема 13. Дискретный учет статических граничных условий.	7	2	2	0	2
14.	Тема 14. Специальные КЭ. Гибридные и переходные КЭ.	7	2	2	0	4
15.	Тема 15. МКЭ в задачах динамики.	7	2	2	0	4
16.	Тема 16. Прямое пошаговое интегрирование по времени, различные разностные схемы.	7	2	2	0	4

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
17.	Тема 17. МКЭ в задачах упругопластического деформирования.	7	2	2	0	4
18.	Тема 18. Итерационные и шаговые методы решения задач.	7	2	2	0	6
19.	Тема 19. Конечные элементы изгибаемых пластин Кирхгофа.	8	2	2	0	1
20.	Тема 20. Прямоугольные элементы Адини и Богнера-Фокса. Треугольный элемент Белла с аппроксимацией полиномом 5-го порядка.	8	2	2	0	1
21.	Тема 21. Смешанная постановка на основе функционала Рейсснера, конечный элемент с постоянными моментами. Гибридная постановка с заданными изгибающими моментами.	8	2	2	0	1
22.	Тема 22. Конечные элементы изгибаемых пластин Тимошенко. Треугольный элемент с дискретным наложением гипотез Кирхгофа.	8	2	2	0	1
23.	Тема 23. Расчет оболочек плоскими конечными элементами.	8	2	2	0	1
24.	Тема 24. Искривленные конечные элементы, проблемы представления смещений как твердого целого и состояния чистого изгиба. Проблемы расчета составных оболочечных конструкций с изломом срединной поверхности.	8	2	2	0	1
25.	Тема 25. Расчет оболочек с учетом деформаций поперечного сдвига. Расчет оболочек с позиций трехмерной теории упругости.	8	2	2	0	2
	Итого		50	50	0	80

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Содержание и задачи курса, связь с другими предметами

Содержание и задачи курса. Связь с другими предметами, МКЭ как развитие матричных методов строительной механики стержневых элементов. Принцип возможных перемещений, метод перемещений, получение разрешающих систем уравнений. Принцип возможных сил, метод сил, основная статически определимая система. Метод прямой жесткости, вариационный метод. Возможность обобщения метода сил, метода перемещений и вариационного метода на задачи механики сплошной среды.

##### Тема 2. Основные положения МКЭ. Постановка задачи теории упругости. Вариационная постановка. МКЭ как вариант метода Ритца.

Основные положения МКЭ. Постановка задачи теории упругости в матрично-векторном виде. Вариационная постановка. МКЭ как вариант метода Ритца (общее и различие). Основные этапы реализации МКЭ при решении задач. Применение принципа виртуальных перемещений для получения разрешающих матричных уравнений. Условие сходимости (совместность полнота аппроксимаций). Оценка погрешности для конформных и неконформных элементов.

##### Тема 3. Обобщенные вариационные формулировки.

Обобщенные вариационные формулировки. Принцип виртуальной и дополнительной работы. Вариационные уравнения Лагранжа и Кастильяно. Методы Ритца и Галеркина.

#### **Тема 4. Аппроксимации в конечных элементах.**

Аппроксимации в конечных элементах. Введение понятий пробных функций и функций формы.

#### **Тема 5. Одномерные аппроксимации (введение понятий пробных функций и функций формы).**

Одномерные аппроксимации (введение понятий пробных функций и функций формы).

#### **Тема 6. Двумерные аппроксимации в треугольных и четырехугольных областях различного порядка в глобальных и локальных координатах.**

Двумерные аппроксимации в треугольных и четырехугольных областях различного порядка в глобальных и локальных координатах.

#### **Тема 7. Аппроксимации в трехмерном случае.**

Аппроксимации в трехмерном случае.

#### **Тема 8. Конечные элементы задач теории упругости. Плоская задача теории упругости.**

Конечные элементы задач теории упругости. Плоская задача теории упругости.

#### **Тема 9. Треугольный элемент с линейной и квадратичной аппроксимацией, четырехугольные элементы с билинейной и квадратичной аппроксимацией.**

Треугольный элемент с линейной и квадратичной аппроксимацией, четырехугольные элементы с билинейной и квадратичной аппроксимацией.

#### **Тема 10. Вопросы практической реализации.**

Вопросы практической реализации: сборка глобальной матрицы жесткости и вектора сил, учет кинематических граничных условий.

#### **Тема 11. Способы хранения матрицы жесткости и методы решения систем линейных алгебраических уравнений.**

Способы хранения матрицы жесткости и методы решения систем линейных алгебраических уравнений.

#### **Тема 12. Вычисление напряжений, локальное и глобальное сглаживание.**

Вычисление напряжений, локальное и глобальное сглаживание. Аппроксимация напряжений методом наименьших квадратов, использование дополнительных слагаемых в аппроксимации перемещений, использование функций напряжений.

#### **Тема 13. Дискретный учет статических граничных условий.**

Дискретный учет статических граничных условий, возможные варианты.

#### **Тема 14. Специальные КЭ. Гибридные и переходные КЭ.**

Специальные КЭ (ортотропный материал, многослойный композит, дискретно подкрепленный КЭ). Гибридные и переходные КЭ.

#### **Тема 15. МКЭ в задачах динамики.**

МКЭ в задачах динамики. Постановка задач динамики в МКЭ. Построение матрицы масс. Решение задач свободных и вынужденных колебаниях. Учет сил демпфирования, внутренне трение.

#### **Тема 16. Прямое пошаговое интегрирование по времени, различные разностные схемы.**

Прямое пошаговое интегрирование по времени, различные разностные схемы.

#### **Тема 17. МКЭ в задачах упругопластического деформирования.**

МКЭ в задачах упругопластического деформирования. Основные положения теории пластического течения. Соотношения Прандля-Рейсса.

#### **Тема 18. Итерационные и шаговые методы решения задач.**

Итерационные и шаговые методы решения задач: переменных параметров упругости, начальных напряжений, проецирования напряжений на поверхность текучести и др.



### **Тема 19. Конечные элементы изгибаемых пластин Кирхгофа.**

Конечные элементы изгибаемых пластин Кирхгофа. Постановка задачи. Требования к аппроксимациям. Треугольный элемент Зенкевича с кубической аппроксимацией прогиба, способы построения матрицы жесткости, свойства (совместность, сходимости).

### **Тема 20. Прямоугольные элементы Адина и Богнера-Фокса. Треугольный элемент Белла с аппроксимацией полиномом 5-го порядка.**

Прямоугольные элементы Адина и Богнера-Фокса. Треугольный элемент Белла с аппроксимацией полиномом 5-го порядка.

### **Тема 21. Смешанная постановка на основе функционала Рейсснера, конечный элемент с постоянными моментами. Гибридная постановка с заданными изгибающими моментами.**

Смешанная постановка на основе функционала Рейсснера, конечный элемент с постоянными моментами. Гибридная постановка с заданными изгибающими моментами.

### **Тема 22. Конечные элементы изгибаемых пластин Тимошенко. Треугольный элемент с дискретным наложением гипотез Кирхгофа.**

Конечные элементы изгибаемых пластин Тимошенко. Постановка задачи. Четырехугольный элемент с билинейной аппроксимацией. Технология построения матрицы жесткости. Исследование точности аппроксимаций сдвиговых конечных элементов. Способы борьбы с потерей точности при малых толщинах (сокращенное и выборочно сокращенное интегрирование, метод штрафа, регуляризация и др.). Треугольный элемент с дискретным наложением гипотез Кирхгофа. Четырехугольный конечный элемент с двойной аппроксимацией деформаций по точкам суперсходимости.

### **Тема 23. Расчет оболочек плоскими конечными элементами.**

Расчет оболочек плоскими конечными элементами. Постановка задачи. Введение опорной плоскости, локальная система координат. Построение матрицы жесткости в локальной и глобальной системах координат. Введение жесткости на вращение в касательной плоскости.

### **Тема 24. Искривленные конечные элементы, проблемы представления смещений как твердого целого и состояния чистого изгиба. Проблемы расчета составных оболочечных конструкций с изломом срединной поверхности.**

Постановка задачи, требования к аппроксимациям. Искривленные конечные элементы тонких оболочек, проблемы представления смещений как твердого целого и состояния чистого изгиба. Примеры используемых аппроксимаций для треугольных и четырехугольных элементов. Построение конечного элемента тонкой оболочки произвольной геометрии по тензорным уравнениям общей теории оболочек (вычисление геометрических характеристик, компонент тензора деформаций, матрицы жесткости, напряжений). Численная параметризация поверхности (полиномиальная и сплайн аппроксимации). Проблемы расчета составных оболочечных конструкций с изломом срединной поверхности.

### **Тема 25. Расчет оболочек с учетом деформаций поперечного сдвига. Расчет оболочек с позиций трехмерной теории упругости.**

Расчет оболочек с учетом деформаций поперечного сдвига. Теория оболочек типа Тимошенко. Требования к аппроксимациям, проблемы, явления мембранного и сдвигового ?заклинивания?. Примеры треугольных и четырехугольных конечных элементов с различными способами регуляризации. Изопараметрические конечные элементы. Расчет оболочек с позиций трехмерной теории упругости, учет гипотезы о малости напряжений обжатия. Различные технологии вычисления деформаций в локальной системе координат, использование векторных соотношений для деформаций и ковариантных компонент тензора деформаций. Проблемы подготовки исходной информации.

## **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 - <http://mech.math.msu.su>

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



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.

В ходе подготовки к семинарам 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.

#### **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.

#### **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 01.03.03 "Механика и математическое моделирование" и профилю подготовки "Общий профиль".

*Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.4 Вычислительные методы в механике  
деформируемого твердого тела*

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

Направление подготовки: 01.03.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Общий профиль

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2016

**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. ? Режим доступа: <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)

**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)

Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.4 Вычислительные методы в механике  
деформируемого твердого тела

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

Направление подготовки: 01.03.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Общий профиль

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2016

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

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.