

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



подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Вычислительные методы в механике деформируемого твердого тела

Направление подготовки: 01.03.03 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика и математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2021

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
ПК-5	Способен математически корректно ставить естественнонаучные задачи математики и механики

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

сущность МКЭ как универсального метода дискретизации задач механики деформируемого твердого тела; требования к аппроксимациям и основные их виды.

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.02.02 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.03.03 "Механика и математическое моделирование (Механика и математическое моделирование)" 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 7 зачетных(ые) единиц(ы) на 252 часа(ов).

Контактная работа - 103 часа(ов), в том числе лекции - 50 часа(ов), практические занятия - 50 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 3 часа(ов).

Самостоятельная работа - 131 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 18 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 6 семестре; зачет в 7 семестре; экзамен 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	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Содержание и задачи курса, связь								

с другими предметами

6	8	0	8	0	0	0	10
---	---	---	---	---	---	---	----

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Самостоятельная работа
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практические занятия, всего	Практические в эл. форме	Лабораторные работы, всего	Лабораторные в эл. форме	
2.	Тема 2. Обобщенные вариационные формулировки. Основные положения МКЭ.	6	4	0	4	0	0	0	10
3.	Тема 3. Аппроксимации в конечных элементах.	6	6	0	6	0	0	0	15
4.	Тема 4. Конечные элементы задач теории упругости.	7	6	0	6	0	0	0	10
5.	Тема 5. Вопросы практической реализации.	7	2	0	2	0	0	0	10
6.	Тема 6. МКЭ в задачах динамики.	7	10	0	10	0	0	0	15
7.	Тема 7. Пошаговое интегрирование уравнения движения	8	6	0	6	0	0	0	30
8.	Тема 8. МКЭ в задачах упругопластического деформирования.	8	8	0	8	0	0	0	31
	Итого		50	0	50	0	0	0	131

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. Метод конечных разностей. Обобщенные вариационные формулировки. Принцип виртуальной работы. Вариационные уравнения Лагранжа. Методы Ритца и Галеркина. Вариационные методы теории упругости, вариационный принцип Лагранжа.

Тема 2. Обобщенные вариационные формулировки. Основные положения МКЭ.

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. Аппроксимации в конечных элементах.

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

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

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

Аппроксимации в трехмерном случае. Конечный элемент изгибаемого стержня, составление матрицы жесткости, вектора узловых сил, вектора узловых перемещений, учет граничных условий. Решение системы алгебраических уравнений. Нахождение вектора усилий и моментов.

Тема 4. Конечные элементы задач теории упругости.

Конечные элементы задач теории упругости. Плоская задача теории упругости. Плоско-напряженное состояние. Плоско деформированное состояние.

Треугольный элемент с линейной аппроксимацией, треугольный элемент с квадратичной аппроксимацией.

Четырехугольные элементы с билинейной аппроксимацией.

Четырехугольные элементы с квадратичной аппроксимацией.

Трехмерные конечные элементы с линейной и квадратичной аппроксимациями.

Тема 5. Вопросы практической реализации.

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

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

Вычисление напряжений.

Дискретный учет статических граничных условий, возможные варианты.

Тема 6. МКЭ в задачах динамики.

Метод конечных элементов в задачах динамики. Постановка задач динамики методом конечных элементов. Построение матрицы масс. Решение задач о свободных и вынужденных колебаниях методом конечных элементов. Учет сил демпфирования, внутренне трение.

Прямое пошаговое интегрирование по времени, различные разностные схемы.

Тема 7. Пошаговое интегрирование уравнения движения

Пошаговое интегрирование уравнения движения. Конечно-разностные схемы решения уравнения движения. Метод центральных разностей, метод односторонних нецентральных разностей (метод Хоболта). Метод линейного ускорения (метод Вилсона), метод обобщенного ускорения (метод Ньюмарка), метод трапеций (метод Кранка-Николсона), условие устойчивости

Тема 8. МКЭ в задачах упругопластического деформирования.

Метод конечных элементов в задачах упругопластического деформирования. Основные положения теории пластического течения. Соотношения Прандл-Рейсса.

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

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 науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

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

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

Электронная библиотека - www.elibrary.ru

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.
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.

Вид работ	Методические рекомендации
экзамен	При подготовке к экзамену рекомендуется повторить пройденный теоретический и практический материал по конспектам. Продумать примеры с целью обеспечения тесной связи изучаемой теории с реальной жизнью и профессиональными компетенциями. При необходимости обращаться за методической помощью к преподавателю. Студент может при подготовке к экзамену использовать дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы.

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 "Механика и математическое моделирование".

*Приложение 2
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.02.02 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: Механика и математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2021

Основная литература:

1. Волков, Е.А. Численные методы: учебник / Е.А. Волков. - 5-е изд. - Санкт-Петербург: Лань, 2008. - 256 с. - ISBN 978-5-8114-0538-1. - Текст : электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/54>
2. Срочко, В.А. Численные методы. Курс лекций: учебное пособие / В.А. Срочко. - Санкт-Петербург : Лань, 2010. - 208 с. - ISBN 978-5-8114-1014-9. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/378>

Дополнительная литература:

1. 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 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970428986.html>
2. Бахвалов, Н.С. Численные методы : учебное пособие / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. - 8-е изд. (эл.). - Москва : Лаборатория знаний, 2015. - 639 с. - ISBN 978-5-9963-2616-7. - Текст : электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань' : [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/70767>
3. Самогин, Ю.Н. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов: учебное пособие / Ю.Н. Самогин, В.Е. Хроматов, В.П. Чирков; под редакцией В.П. Чирков. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 200 с. - ISBN 978-5-9221-1380-9. - Текст: электронный // Электронно-библиотечная система 'Лань': [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com/book/59633>

Приложение 3
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.02.02 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: Механика и математическое моделирование

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2021

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.