

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Шифр	Наименование дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.5.1	Метод конечных элементов

Код направления подготовки / специальности	01.03.04
Направление подготовки / специальность	Прикладная математика
Наименование (я) ОПОП (направленность / профиль)	Применение математических методов к решению инженерных и экономических задач (Академический бакалавриат)
Год начала реализации ОПОП	2015
Уровень образования	бакалавриат
Форма обучения	очная
Год разработки/обновления	2017

Разработчики:

должность	ученая степень, звание	ФИО
профессор	д.т.н., академик РААСН, профессор	Акимов П.А.
доцент	к.т.н., профессор	Прокопьев В.И.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры прикладной математики, Протокол № 12 от 12.05.2017.

Заведующий кафедрой
(руководитель структурного подразделения)

_____ / Осипов Ю.В. /
Подпись, ФИО

Рабочая программа утверждена методической комиссией, Протокол № 5 от 29.05.2017

Председатель (зам. председателя)
методической комиссии

_____ / Широкова О.Л. /
Подпись, ФИО

Согласовано:

ЦОСП

_____ /
дата

_____ / Беспалов А.Е. /
Подпись, ФИО

1. Цель освоения дисциплины

Целью дисциплины «Метод конечных элементов» является углубление уровня освоения компетенций обучающегося в области математических основ метода конечных элементов (МКЭ), получение навыков применения МКЭ для решения краевых задач расчета строительных конструкций, использования современных программных комплексов, реализующих МКЭ, для расчетного обоснования строительных объектов.

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки /специальности 01.03.04 «Прикладная математика» (уровень образования – бакалавриат) по направлению «Применение математических методов к решению инженерных и экономических задач».

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Компетенция по ФГОС	Код компетенции по ФГОС	Основные показатели оценивания (показатели достижения результата)	Код показателя оценивания
готовность к самостоятельной работе	ОПК-1	Знает задачи вычислительной математика.	З1
		Умеет корректно применять технологии математического (компьютерного) моделирования, численные методы решения фундаментальных и прикладных задач.	У1
		Имеет навыки анализа корректности, достоверности и точности получаемых решений.	Н1
Способность использовать современные математические методы и современные прикладные программные средства и осваивать современные технологии программирования	ОПК-2	Знает современные математические методы и современные прикладные программные средства.	З2
		Умеет корректно применять технологии математического (компьютерного) моделирования, численные методы решения фундаментальных и прикладных задач.	У2
		Имеет навыки анализа корректности, достоверности и точности получаемых решений.	Н2
Способность выявить естественнонаучную сущность проблем, воз-	ПК-9	Знает сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности.	З3

Компетенция по ФГОС	Код компетенции по ФГОС	Основные показатели оценивания (показатели достижения результата)	Код показателя оценивания
никающих в ходе профессиональной деятельности, готовностью использовать для их решения соответствующий естественнонаучный аппарат		Умеет использовать соответствующий естественнонаучный аппарат.	У3
		Имеет навыки решения соответствующих естественнонаучных проблем.	Н3
Готовность применять математический аппарат для решения поставленных задач, способность применить соответствующую процессу математическую модель и проверить ее адекватность, провести анализ результатов моделирования, принять решение на основе полученных результатов	ПК-10	Знает математический аппарат для решения задач строительства	34
		Умеет применять математический аппарат для решения поставленных задач, способен формулировать адекватную математическую модель .	У4
		Имеет навыки анализа результатов моделирования.	Н4
Способность самостоятельно изучать новые разделы фундаментальных наук	ПК-12	Знает новые разделы фундаментальных наук	35
		Умеет применять математический аппарат новых разделов фундаментальных наук для решения поставленных задач	У5
		Имеет навыки отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение	Н5

3. Указание места дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Метод конечных элементов» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины/модули» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 01.03.04 «Прикладная математика» (уровень образования - бакалавриат), направленность/профиль «Применение математических методов к решению инженерных и экономических задач» и является дисциплиной по выбору.

Дисциплина «Метод конечных элементов» базируется на знаниях, умениях и навыках полученных студентами в ходе изучения дисциплин:

- Математический анализ;
- Линейная алгебра и аналитическая геометрия;
- Дифференциальные уравнения;
- Уравнения математической физики;
- Программные и аппаратные средства информатики;
- Программирование для ЭВМ;
- Теоретическая механика;
- Механика материалов;

- Объектно-ориентированное программирование;
- Математическое моделирование;
- Компьютерное моделирование;
- Численные методы;
- Основы теории упругости и пластичности;
- Строительная механика.

Требования к входным знаниям, умениям студентов.

Для освоения дисциплины «Метод конечных элементов» студент должен:

Знать: основы высшей математики, современные информационные технологии, основы численных методов, постановки и методы решения задач сопротивления материалов и строительной механики.

Уметь: корректно применять математический аппарат для решения фундаментальных и прикладных задач.

Иметь навыки работы с персональным компьютером, навыками использования математического аппарата.

Дисциплина «Метод конечных элементов» является предшествующей для следующих дисциплин:

- Строительные конструкции.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часов.

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Структура дисциплины:

Форма обучения - очная

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Контактная работа с обучающимися			Самостоятельная работа			
				Лекции	Практико-ориентированные занятия					
Лабораторный практикум	Практические занятия	Групповые занятия - комп. практикумы	в период теор. обучения		в сессию					
1	Теоретические основы метода конечных элементов.	7	1-4	4	4	2	9	3		
2	Основные соотношения метода	7	5-6	2	2	2	9	3	Контрольная работа	

	конечных элементов.									
3	Матрицы жесткостей метода конечных элементов.	7	7-8	2		2	2	9	3	
4	Суперэлементная техника.	7	9-10	2		2	2	9	3	
5	Физически- и геометрически нелинейные задачи.	7	11-14	4		4		12	3	
6	Задачи динамики и устойчивости сооружений.	7	15-17	4		4		12	3	Письменный опрос
7	Реализация метода конечных элементов на ЭВМ.	7	18				2	12		
	Итого:	7	18	18		18	18	72	18	Зачет с оценкой (дифференцированный зачет)

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

5.1. Содержание лекционных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема и содержание занятия	Кол-во акад. часов
1	Теоретические основы метода конечных элементов.	Основы линейной теории упругости: напряженное состояние и условия равновесия; деформированное состояние, перемещения и условия совместности; законы состояния; основные уравнения в напряжениях и перемещениях. Вариационная формулировка метода конечных элементов: принцип Лагранжа	4
2	Основные соотношения метода конечных элементов.	Матрица жесткости балки при плоском изгибе. Преобразование координат. Матрица жесткости структуры. Граничные условия. Вычисление напряжений и усилий в балке при плоском изгибе. Условия сходимости метода конечных элементов.	2
3	Матрицы жесткостей метода конечных элементов.	Изопараметрический пространственный стержневой элемент. Изгибаемый плоский треугольный элемент. Изопараметрический объемный конечный элемент. Изопараметрический четырехугольный мембранный элемент. Эффективная схема вычисления матрицы жесткости.	2

4	Суперэлементная техника.	Редукция системы уравнений в соответствии с принципами конденсации. Алгоритм суперэлементного расчета конструкций.	2
5	Физически- и геометрически нелинейные задачи.	Упругопластические деформации, закон состояния: одноосное напряженное состояние, условие текучести; многоосное напряженное состояние; пластический материал с упрочнением. Геометрическая нелинейность. Алгоритмы расчета по методу конечных элементов с учетом нелинейностей (в том числе метод Ньютона, метод Ньютона-Рафсона, метод Ньютона-Канторовича, метод упругих решений А.А. Ильюшина, метод начальных деформаций, метод переменных параметров упругости).	4
6	Задачи динамики и устойчивости сооружений.	Собственные колебания сооружений: метод вычисления корней характеристического определителя; метод итераций в подпространстве; метод Ланцоша. Вынужденные колебания сооружений: метод Ньюмарка; тета-метод Вилсона; метод временных конечных элементов; метод разложения по собственным формам колебаний. Устойчивость сооружений: геометрическая матрица жесткости стержневой системы; геометрическая матрица жесткости оболочки; уравнение устойчивости структуры; метод определения критического параметра нагрузки с использованием признака Даламбера сходимости числового ряда.	4
		Итого	18

5.2. Лабораторный практикум

Учебным планом лабораторный практикум не предусмотрен.

5.3. Перечень практических занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема и содержание занятия	Кол-во акад. часов
1	Основы работы в программно-алгоритмическом комплексе ANSYS.	Изучение экранного меню программно-алгоритмического комплекса ANSYS.	4
2	Расчет на прочность и жесткость ступенчатого стержня при деформации растяжения-сжатия.	Задание и проверка исходных данных, построение конечноэлементной модели; выполнение расчета, анализ и верификация результатов.	2
3	Расчеты на прочность и жесткость	Задание и проверка исходных данных, построение конечноэлементной модели; выполнение расчета,	2

	при деформации кручения	анализ и верификация результатов.	
4	Расчеты на прочность и жесткость при изгибе.	Задание и проверка исходных данных, построение конечноэлементной модели; выполнение расчета, анализ и верификация результатов.	2
5	Решение задачи плоской теории упругости.	Задание и проверка исходных данных, построение конечноэлементной модели; выполнение расчета, анализ и верификация результатов.	4
6	Решение пространственной задачи теории упругости.	Задание и проверка исходных данных, построение конечноэлементной модели; выполнение расчета, анализ и верификация результатов.	2
7	Решение задач об устойчивости.	Задание и проверка исходных данных, построение конечноэлементной модели; выполнение расчета, анализ и верификация результатов.	2
		Итого	18

5.4. Групповые занятия – компьютерные практикумы

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема и содержание группового занятия – компьютерного практикума	Кол-во acad. часов
1	Теоретические основы метода конечных элементов.	Основы работы в программно-алгоритмическом комплексе ANSYS.	2
2	Основные соотношения метода конечных элементов.	Расчет на прочность и жесткость ступенчатого стержня при деформации растяжения-сжатия.	2
3	Матрицы жесткостей метода конечных элементов.	Расчеты на прочность и жесткость при деформации кручения	2
4	Суперэлементная техника.	Решение пространственной задачи теории упругости.	2
5	Физически- и геометрически нелинейные задачи.	Решение задачи плоской теории упругости.	4
6	Задачи динамики и устойчивости сооружений.	Решение задач об устойчивости.	4
7	Реализация метода конечных элементов на ЭВМ.	Анализ результатов расчета.	2
		Итого	18

5.5. Самостоятельная работа

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Виды самостоятельной работы	Кол-во acad. часов	
			в период теор. обучения	в сессию
1	Теоретические основы метода конечных эле-	Изучение и проработка теоретического материала, решение типовых задач,	9	3

	ментов.	подготовка к контрольной работе. Самостоятельное изучение тем по указанию преподавателя. Подготовка к дифференцированному зачету и сдача зачета.		
2	Основные соотношения метода конечных элементов.	Изучение и проработка теоретического материала, решение типовых задач, подготовка к контрольной работе. Самостоятельное изучение тем по указанию преподавателя. Подготовка к дифференцированному зачету и сдача зачета.	9	3
3	Матрицы жесткостей метода конечных элементов.	Изучение и проработка теоретического материала, решение типовых задач, подготовка к аудиторной контрольной работе. Самостоятельное изучение тем по указанию преподавателя. Подготовка к дифференцированному зачету и сдача зачета.	9	3
4	Суперэлементная техника.	Изучение и проработка теоретического материала, решение типовых задач, подготовка к аудиторной контрольной работе. Самостоятельное изучение тем по указанию преподавателя. Подготовка к дифференцированному зачету и сдача зачета.	9	3
5	Физически- и геометрически нелинейные задачи.	Изучение и проработка теоретического материала, решение типовых задач, подготовка к аудиторной контрольной работе. Самостоятельное изучение тем по указанию преподавателя. Подготовка к дифференцированному зачету и сдача зачета.	12	3
6	Задачи динамики и устойчивости сооружений.	Изучение и проработка теоретического материала, решение типовых задач, подготовка к аудиторной контрольной работе. Самостоятельное изучение тем по указанию преподавателя. Подготовка к дифференцированному зачету и сдача зачета.	12	3
7	Реализация метода конечных элементов на ЭВМ.	Изучение и проработка теоретического материала, решение типовых задач, подготовка к аудиторной контрольной работе. Самостоятельное изучение тем по указанию преподавателя. Подготовка к дифференцированному зачету и сдача зачета.	12	

		Итого	72	18
--	--	-------	----	----

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Основные принципы организации самостоятельной работы обучающихся изложены в Положении об организации самостоятельной работы обучающихся (НИУ МГСУ).

Самостоятельная работа по курсу является залогом усвоения знаний и прохождения промежуточных аттестаций, предусмотренных рабочей программой по дисциплине. Ключевые цели самостоятельных внеаудиторных занятий заключается в закреплении, расширении знаний, формировании умений и навыков самостоятельного умственного труда, развитии самостоятельного мышления и способностей к самоорганизации.

Выполняемая в процессе изучения дисциплины «Вычислительная механика» учащимися самостоятельная работа является по дидактической цели познавательной и обобщающей; по характеру познавательной деятельности и типу решаемых задач – познавательной и исследовательской; по характеру коммуникативного взаимодействия учащихся – индивидуальной; по месту выполнения – домашней; по методам научного познания – теоретической.

В ходе организации самостоятельной работы студентов преподавателем решаются следующие задачи:

- 1) углублять и расширять их профессиональные знания;
- 2) формировать у них интерес к учебно-познавательной деятельности;
- 3) научить студентов овладевать приемами процесса познания;
- 4) развивать у них самостоятельность, активность, ответственность;
- 5) развивать познавательные способности будущих специалистов

Самостоятельная работа включает как изучение текущих и дополнительных теоретических вопросов, так и совершенствование навыков по решению практических задач. Теоретические знания являются базой для понимания основ будущей специальности.

В разделе «Теоретические основы метода конечных элементов» темы, выносимые для самостоятельного изучения: «Основы тензорной алгебры и тензорного анализа: системы координат, радиус-вектор, ковариантный и контрвариантный базисы; преобразование координат и определение тензора; использование индексов сверху и снизу; сложение тензоров; произведение тензоров, свертка, произведение тензоров со сверткой; физические компоненты тензора. Тензорный анализ: координаты, элементарные величины; производная по направлению; дифференцирование тензора второго ранга; ортогональные координатные системы; интегральная теорема. Геометрия поверхности: метрический тензор; тензор кривизны; символы Кристоффеля и основные формулы. Использование тензорного исчисления в механике твердого тела: условия равновесия; энергия формоизменения; экстремальные принципы теории упругости; Вариационная формулировка метода конечных элементов: принцип Лагранжа».

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Основы тензорной алгебры и тензорного анализа: системы координат, радиус-вектор, ковариантный и контрвариантный базисы; преобразование координат и определение тензора; использование индексов сверху и снизу; сложение тензоров; произведение тензоров, свертка, произведение тензоров со сверткой; физические компоненты тензора.
2. Тензорный анализ: координаты, элементарные величины; производная по направлению; дифференцирование тензора второго ранга; ортогональные координатные системы; интегральная теорема.

3. Геометрия поверхности: метрический тензор; тензор кривизны; символы Кристоффеля и основные формулы.
4. Использование тензорного исчисления в механике твердого тела: условия равновесия; энергия формоизменения; экстремальные принципы теории упругости.
5. Вариационная формулировка метода конечных элементов: принцип Лагранжа.

В разделе «Основные соотношения метода конечных элементов» темы, выносимые для самостоятельного изучения: «Общая схема метода конечных элементов. Основные этапы решения задач методом конечных элементов. Атрибуты конечных элементов и построение сетки. Наложение граничных условий. Точность результатов. Простейшие примеры «ручного» решения задач по методу конечных элементов».

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Общая схема метода конечных элементов.
2. Основные этапы решения задач методом конечных элементов.
3. Атрибуты конечных элементов и построение сетки.
4. Наложение граничных условий.
5. Точность результатов.
6. Простейшие примеры «ручного» решения задач по методу конечных элементов

В разделе «Матрицы жесткостей метода конечных элементов» темы, выносимые для самостоятельного изучения: «Изопараметрический криволинейный стержень. Изопараметрический четырехугольный элемент плиты типа Тимошенко. Изопараметрический объемный конечный элемент в рамках моментной схемы конечных элементов. Модифицированный объемный конечный элемент в рамках моментной схемы конечных элементов для оболочек. Многослойный изопараметрический оболочечный конечный элемент. Суперпараметрический конечный элемент изгибаемой пластины. Суперпараметрический конечный элемент осесимметричной оболочки переменной толщины. Суперпараметрический двумерный конечный элемент второго порядка. Сингулярный конечный элемент».

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Изопараметрический криволинейный стержень.
2. Изопараметрический четырехугольный элемент плиты типа Тимошенко.
3. Изопараметрический объемный конечный элемент в рамках моментной схемы конечных элементов.
4. Модифицированный объемный конечный элемент в рамках моментной схемы конечных элементов для оболочек.
5. Многослойный изопараметрический оболочечный конечный элемент.
6. Суперпараметрический конечный элемент изгибаемой пластины.
7. Суперпараметрический конечный элемент осесимметричной оболочки переменной толщины.
8. Суперпараметрический двумерный конечный элемент второго порядка.
9. Сингулярный конечный элемент.

В разделе «Суперэлементная техника» темы, выносимые для самостоятельного изучения: «Многоступенчатое объединение конечных элементов (на примере двухступенчатого объединения базисных конечных элементов)».

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Многоступенчатое объединение конечных элементов (на примере двухступенчатого объединения базисных конечных элементов).

В разделе «Физически- и геометрически нелинейные задачи» темы, выносимые для самостоятельного изучения: «Нелинейно-упругие физические уравнения для бетона. Тензор деформаций при образовании трещин. Учет реологических свойств материала».

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Нелинейно-упругие физические уравнения для бетона.
2. Тензор деформаций при образовании трещин.
3. Учет реологических свойств материала

В разделе «Задачи динамики и устойчивости сооружений» темы, выносимые для самостоятельного изучения: «Матрица масс конечного элемента (в том числе матрица масс балочного элемента, «согласованная» матрица масс изопараметрического объемного конечного элемента; «сосредоточенная» матрица масс восьмиузлового объемного конечного элемента). Матрица демпфирования (в том числе преобразование матриц масс и демпфирования при переходе в глобальную систему координат».

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Матрица масс конечного элемента (в том числе матрица масс балочного элемента, «согласованная» матрица масс изопараметрического объемного конечного элемента; «сосредоточенная» матрица масс восьмиузлового объемного конечного элемента).
2. Матрица демпфирования (в том числе преобразование матриц масс и демпфирования при переходе в глобальную систему координат

В разделе «Реализация метода конечных элементов на ЭВМ» темы, выносимые для самостоятельного изучения: «Препроцессоры и постпроцессоры (в т.ч. вопросы генерации сетки конечных элементов; критерии качества сетки конечных элементов)».

Вопросы для самоконтроля по теме:

1. Препроцессоры и постпроцессоры (в т.ч. вопросы генерации сетки конечных элементов; критерии качества сетки конечных элементов)

На практических занятиях выполняются работы по темам лекционного курса. Часть заданий выносятся на самостоятельное решение. Самостоятельное решение задач также необходимо при подготовке к текущей аттестации.

При подготовке к сдаче зачета рекомендуется пользоваться записями, сделанными на лекционных и лабораторных занятиях, а также в ходе текущей самостоятельной работы. Сначала необходимо повторить теоретическую часть, а затем переходить к решению задач.

При выполнении самостоятельной работы обучающиеся используют учебники и учебные пособия, указанные в разделе 8.

7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) для проведения промежуточной аттестации, а также текущего контроля обучающихся является Приложением 1 к рабочей программе дисциплины (модуля).

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации, а также текущего контроля по дисциплине (модуля) хранятся на кафедре, ответственной за преподавание данной дисциплины.

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

Для освоения дисциплины обучающийся может использовать:

- учебно-методическую литературу, имеющуюся в НТБ НИУ МГСУ,
- учебную литературу, размещённую в Электронных библиотечных системах ЭБС АСВ и IPBooks,

– методическую литературу, размещённую в ЭБС НИУ МГСУ.

Перечень используемой литературы ежегодно обновляется с учётом уровня развития науки и техники и представлен в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Комментарий - ресурсы должны быть в открытом доступе и необходимы для проведения занятий.

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
«Российское образование» - федеральный портал	http://www.edu.ru/index.php
Научная электронная библиотека	http://elibrary.ru/defaultx.asp?
Электронная библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Федеральная университетская компьютерная сеть России	http://www.runnet.ru/
Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"	http://window.edu.ru/
Научно-технический журнал по строительству и архитектуре «Вестник МГСУ»	http://www.vestnikmgsu.ru/
Научно-техническая библиотека НИУ МГСУ	http://www.mgsu.ru/resources/Biblioteka/
Раздел «Кафедры» на официальном сайте НИУ МГСУ	http://www.mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Перечень тем по разделам дисциплины (модуля) для самостоятельного изучения обучающимися приведён в таблице.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Темы для самостоятельного изучения (в период теоретического обучения)
1	Теоретические основы метода конечных элементов.	Основы тензорной алгебры и тензорного анализа: системы координат, радиус-вектор, ковариантный и контрвариантный базисы; преобразование координат и определение тензора; использование индексов сверху и снизу; сложение тензоров; произведение тензоров, свертка, произведение тензоров со сверткой; физические компоненты тензора. Тензорный анализ: координаты, элементарные величины; производная по направлению; дифференцирование тензора второго ранга; ортогональные координатные системы; интегральная теорема. Геометрия поверхности: метрический тензор; тензор кривизны; символы Кристоффеля и основные формулы. Использование тензорного исчисления в механике твердого тела: условия равновесия; энергия формоизменения; экстремальные принципы теории упругости; Вариационная формулировка метода конечных элементов: принцип Лагранжа
2	Основные соотношения метода конечных элементов	Общая схема метода конечных элементов. Основные этапы решения задач методом конечных элементов. Атрибуты конечных элементов и построение сетки. Наложение граничных условий. Точность результатов. Простейшие примеры «ручного» решения задач по методу конечных элементов
3	Матрицы жесткостей метода конечных элементов	Изопараметрический криволинейный стержень. Изопараметрический четырехугольный элемент плиты типа

	ментов	Тимошенко. Исопараметрический объемный конечный элемент в рамках моментной схемы конечных элементов. Модифицированный объемный конечный элемент в рамках моментной схемы конечных элементов для оболочек. Многослойный изопараметрический оболочечный конечный элемент. Суперпараметрический конечный элемент изгибаемой пластины. Суперпараметрический конечный элемент осесимметричной оболочки переменной толщины. Суперпараметрический двумерный конечный элемент второго порядка. Сингулярный конечный элемент
4	Суперэлементная техника	Многоступенчатое объединение конечных элементов (на примере двухступенчатого объединения базисных конечных элементов)
5	Физически - и геометрически нелинейные задачи	Нелинейно-упругие физические уравнения для бетона. Тензор деформаций при образовании трещин. Учет реологических свойств материала
6	Задачи динамики и устойчивости сооружений	Матрица масс конечного элемента (в том числе матрица масс балочного элемента, «согласованная» матрица масс изопараметрического объемного конечного элемента; «сосредоточенная» матрица масс восьмиузлового объемного конечного элемента). Матрица демпфирования (в том числе преобразование матриц масс и демпфирования при переходе в глобальную систему координат)
7	Реализация метода конечных элементов на ЭВМ	Препроцессоры и постпроцессоры (в т. ч. вопросы генерации сетки конечных элементов; критерии качества сетки конечных элементов)

Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) приведен в п.6.

Организация учебной работы обучающихся на аудиторных занятиях осуществляется в соответствии с п. 4.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программно-го обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

11.1. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема	Информационные технологии
1.	Теоретические основы метода конечных элементов.	Реализации в программном комплексе (в рамках тематики лекционных и практических занятий – при наличии)	Визуализация примеров, апробация методик
2.	Основные соотношения метода конечных элементов.	Реализации в программном комплексе (в рамках тематики лекционных и практических занятий –	Визуализация примеров, апробация методик

		при наличии)	
3.	Матрицы жесткостей метода конечных элементов.	Реализации в программном комплексе (в рамках тематики лекционных и практических занятий – при наличии)	Визуализация примеров, апробация методик
4.	Суперэлементная техника.	Реализации в программном комплексе (в рамках тематики лекционных и практических занятий – при наличии)	Визуализация примеров, апробация методик
5.	Физически- и геометрически нелинейные задачи.	Реализации в программном комплексе (в рамках тематики лекционных и практических занятий – при наличии)	Визуализация примеров, апробация методик
6.	Задачи динамики и устойчивости сооружений.	Реализации в программном комплексе (в рамках тематики лекционных и практических занятий – при наличии)	Визуализация примеров, апробация методик
7.	Реализация метода конечных элементов на ЭВМ.	Реализации в программном комплексе (в рамках тематики лекционных и практических занятий – при наличии)	Визуализация примеров, апробация методик

11.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса

При освоении дисциплины используется лицензионное и открытое программное обеспечение, указанное в Приложении 3 к рабочей программе.

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

Учебные занятия по дисциплине проводятся в оборудованных учебных кабинетах, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением. Перечень материально-технического обеспечения дисциплины (модуля) приведён в Приложении 4 к рабочей программе.

Приложение 1 к рабочей программе

Шифр	Наименование дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.5.1	Метод конечных элементов

Код направления подготовки	01.03.04
Направление подготовки	Прикладная математика
Наименование ОПОП (профиль)	Применение математических методов к решению инженерных и экономических задач
Год начала подготовки	2015
Уровень образования	бакалавриат
Форма обучения	очная
Год разработки/обновления	2017

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации и текущего контроля обучающихся по дисциплине (модулю)

1. *Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы*

Формирование компетенций при изучении дисциплины (модуля) происходит поэтапно, по мере освоения обучающимися разделов дисциплины (модуля).

Код компетенции по ФГОС	Этапы формирования компетенций (разделы теоретического обучения)						
	1	2	3	4	5	6	7
ОПК-1	+	+	+	+	+	+	+
ОПК-2	+	+	+	+	+	+	+
ПК-9	+	+	+	+	+	+	+
ПК-10	+	+	+	+	+	+	+
ПК-12	+	+	+	+	+	+	+

2. *Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания*

Оценивание формирования компетенций осуществляется посредством прохождения обучающимися форм промежуточной аттестации и текущего контроля.

Оценивание формирования компетенций производится на основе показателей оценивания, указанных в п.2. рабочей программы.

- 2.1. *Описание показателей и форм оценивания компетенций*

Формами оценивания компетенций являются мероприятия промежуточной аттестации и текущего контроля по дисциплине (модулю), указанные в учебном плане и в п.4 рабочей программы.

Взаимосвязь форм и показателей оценивания компетенций приведена в таблице.

Код компетенции по ФГОС	Показатели освоения (Код показателя оценивания)	Форма оценивания			Обеспеченность оценивания компетенции
		Текущий контроль		Промежуточная аттестация	
		Контрольная работа	Письменный опрос	Дифференцированный зачет	
1	2	3	4	5	6
ОПК-1	31	+	+	+	+
	У1	+	+	+	+
	Н1	+	+	+	+
ОПК-2	32	+	+	+	+
	У2	+	+	+	+
	Н2	+	+	+	+
ПК-9	33	+	+	+	+
	У3	+	+	+	+
	Н3	+	+	+	+
ПК-10	34	+	+	+	+
	У4	+	+	+	+
	Н4	+	+	+	+
ПК-12	35	+	+	+	+
	У5	+	+	+	+
	Н5	+	+	+	+
ИТОГО		+	+	+	+

2.2. Описание шкалы и критериев оценивания

При проведении промежуточной аттестации в форме экзамена, дифференцированного зачёта, защиты курсовых работ/курсовых проектов используется четырёх балльная шкала оценивания:

Уровень освоения	Оценка
Минимальный	«2» (неудовлетворительно)
Пороговый	«3» (удовлетворительно)
Углубленный	«4» (хорошо)
Продвинутый	«5» (отлично)

Критериями оценивания уровня освоения компетенций являются:

Показатели оценивания	Критерии оценивания
Знания	Знание терминов и определений, понятий
	Знание основных закономерностей и соотношений, принципов
	Объём освоенного материала, усвоение всех дидактических единиц (разделов)
	Полнота ответов

	Правильность ответов
	Чёткость изложения и интерпретации знаний
Умения	Освоение методик - умение решать (типовые) практические задачи, выполнять (типовые) задания
	Умение использовать теоретические знания для выбора методики решения задач, выполнения заданий
	Умение проверять решение и анализировать результаты
	Умение качественно оформлять (презентовать) решение задач и выполнения заданий
Навыки	Навыки решения стандартных/нестандартных задач
	Быстрота выполнения трудовых действий Объём выполненных заданий
	Качество выполнения трудовых действий
	Самостоятельность планирования выполнения трудовых действий

Комментарий:

Приведён пример критериев, который можно использовать для первого и второго уровней образования. Для аспирантуры его необходимо творчески переработать.

3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

3.1. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о текущем контроле и промежуточной аттестации обучающихся в НИУ МГСУ.

Перечень типовых вопросов/заданий для проведения экзамена в 7 семестре (очная форма обучения):

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) в форме экзамена учебным планом не предусмотрена.

Перечень типовых вопросов/заданий для проведения дифференцированного зачёта (зачёта с оценкой) в 7 семестре (очная форма обучения):

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Вопросы / задания
1	Теоретические основы метода конечных элементов.	Основы линейной теории упругости (напряженное состояние и условия равновесия; деформированное состояние, перемещения и условия совместности; законы состояния; основные уравнения в напряжениях и перемещениях). Вариационные формулировки метода конечных элементов.
2	Основные соотношения метода конечных элементов.	Задание граничных условий в методе конечных элементов. Условия сходимости метода конечных элементов.

3	Матрицы жесткостей метода конечных элементов.	<p>Матрица жесткости балки при плоском изгибе. Преобразование координат.</p> <p>Матрица жесткости структуры.</p> <p>Изопараметрический пространственный стержневой элемент.</p> <p>Изгибаемый плоский треугольный элемент.</p> <p>Изопараметрический объемный конечный элемент.</p> <p>Изопараметрический четырехугольный мембранный элемент.</p> <p>Изопараметрический криволинейный стержень.</p> <p>Изопараметрический четырехугольный элемент плиты типа Тимошенко.</p> <p>Изопараметрический объемный конечный элемент в рамках моментной схемы конечных элементов.</p> <p>Модифицированный объемный конечный элемент в рамках моментной схемы конечных элементов для оболочек.</p> <p>Многослойный изопараметрический оболочечный конечный элемент.</p> <p>Суперпараметрический конечный элемент изгибаемой пластины.</p> <p>Суперпараметрический конечный элемент осесимметричной оболочки переменной толщины.</p> <p>Суперпараметрический двумерный конечный элемент второго порядка.</p> <p>Сингулярный конечный элемент.</p> <p>Эффективная схема вычисления матрицы жесткости.</p>
4	Суперэлементная техника.	<p>Редукция системы уравнений в соответствии с принципами конденсации.</p> <p>Многоступенчатое объединение конечных элементов (на примере двухступенчатого объединения базисных конечных элементов).</p> <p>Алгоритм суперэлементного расчета конструкций.</p>
5	Физически - и геометрически нелинейные задачи.	<p>Упругопластические деформации, закон состояния (одноосное напряженное состояние, условие текучести; многоосное напряженное состояние; пластический материал с упрочнением).</p> <p>Геометрическая нелинейность.</p> <p>Алгоритмы расчета по методу конечных элементов с учетом нелинейностей (метод Ньютона, метод Ньютона-Рафсона).</p> <p>Алгоритмы расчета по методу конечных элементов с учетом нелинейностей (метод Ньютона-Канторовича, метод упругих решений А.А. Ильюшина).</p> <p>Алгоритмы расчета по методу конечных элементов с учетом нелинейностей (метод начальных деформаций, метод переменных параметров упругости).</p>

6	Задачи динамики и устойчивости сооружений.	Собственные колебания сооружений (метод вычисления корней характеристического определителя; метод итераций в подпространстве). Собственные колебания сооружений (метод Ланцоша). Вынужденные колебания сооружений (метод Ньюмарка). Вынужденные колебания сооружений (тета-метод Вилсона). Вынужденные колебания сооружений (метод временных конечных элементов; метод разложения по собственным формам колебаний). Устойчивость сооружений (геометрическая матрица жесткости стержневой системы; геометрическая матрица жесткости оболочки). Устойчивость сооружений (уравнение устойчивости структуры). Устойчивость сооружений (метод определения критического параметра нагрузки с использованием признака Даламбера сходимости числового ряда).
7	Реализация метода конечных элементов на ЭВМ.	Программные системы. Обзор современных программно-алгоритмических комплексов, реализующих метод конечных элементов (в том числе ANSYS, ABAQUS, «Ли́ра», SCAD и др.).

Перечень типовых вопросов/заданий для проведения зачета в 7 семестре (очная форма обучения):

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) в форме зачета учебным планом не предусмотрена.

Тематика курсовых работ/курсовых проектов:

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) в форме курсовых работ/курсовых проектов учебным планом не предусмотрена.

3.2. Текущий контроль

Перечень проводимых мероприятий текущего контроля:

Контролируется посещение лекционных и практических занятий, выполнение контрольных работ.

Типовые контрольные задания мероприятий текущего контроля:

Примеры контрольных работ.

Контрольная работа.

- 1) Идея метода конечных элементов (МКЭ). Основные понятия: конечный элемент, узел, функция формы (базисная функция), локальная и глобальная системы координат.
- 2) Основные типы конечных элементов.
- 3) Структура расчётной модели. Глубина моделирования.
- 5) Основные уравнения теории упругости в операторно-матричном виде.
- 6) Принцип возможных перемещений. Вариационный принцип Лагранжа.
- 7) Метод конечных элементов в форме метода перемещений. Понятие матрицы жёсткости конечного элемента.

Письменный опрос.

- 1) Методы решения физически - и геометрически нелинейных задач с использованием метода конечных элементов.
- 2) Методы решения задач динамики и устойчивости сооружений с использованием метода конечных элементов.

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

Процедура промежуточной аттестации регламентируется с Положением о текущем контроле и промежуточной аттестации обучающихся в НИУ МГСУ.

4.1. Процедура оценивания при проведении промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) в форме экзамена/дифференцированного зачёта

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) проводится в форме экзамена (дифференцированного зачёта) в 7 семестре.

Используется четырёх балльная шкала оценивания освоения, указанная в п.2.2.

Используются критерии оценивания, указанные п.2.2.

Оценка выставляется преподавателем интегрально по всем показателям и критериям оценивания.

Код показателя оценивания	Оценка			
	«2» (неудовлетв.)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
		«3» (удовлетвор.)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
31	Обучающийся не знает задачи вычислительной математики.	Обучающийся фрагментарно знает задачи вычислительной математики.	Обучающийся знает задачи вычислительной математики.	Обучающийся твердо знает задачи вычислительной математики, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы
У1	Обучающийся не умеет корректно применять технологии матема-	Обучающийся частично умеет корректно применять техноло-	Обучающийся умеет корректно применять техно-	Обучающийся умеет корректно и эффективно применять тех-

	тического (компьютерного) моделирования, численные методы решения фундаментальных и прикладных задач.	гии математического (компьютерного) моделирования, численные методы решения фундаментальных и прикладных задач.	тического (компьютерного) моделирования, численные методы решения фундаментальных и прикладных задач.	нологии математического (компьютерного) моделирования, численные методы решения фундаментальных и прикладных задач, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы.
Н1	Обучающийся не имеет навыков анализа корректности, достоверности и точности получаемых решений.	Обучающийся имеет фрагментарные навыки анализа корректности, достоверности и точности получаемых решений.	Обучающийся имеет навыки анализа корректности, достоверности и точности получаемых решений.	Обучающийся имеет устойчивые навыки анализа корректности, достоверности и точности получаемых решений, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы
32	Обучающийся не знает современные математические методы и современные прикладные программные средства.	Обучающийся частично знает современные математические методы и современные прикладные программные средства.	Обучающийся знает современные математические методы и современные прикладные программные средства.	Обучающийся твердо знает современные математические методы и современные прикладные программные средства, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы.
У2	Обучающийся не умеет корректно применять технологии математического (компьютерного) моделирования, численные методы решения фундаментальных и прикладных задач.	Обучающийся частично умеет корректно применять технологии математического (компьютерного) моделирования, численные методы решения фундаментальных и прикладных задач.	Обучающийся умеет корректно применять технологии математического (компьютерного) моделирования, численные методы решения фундаментальных и прикладных задач.	Обучающийся умеет корректно и эффективно применять технологии математического (компьютерного) моделирования, численные методы решения фундаментальных и прикладных задач, в том числе на основе самостоятельного

				изучения литературы
Н2	Обучающийся не имеет навыков анализа корректности, достоверности и точности получаемых решений.	Обучающийся имеет фрагментарные навыки анализа корректности, достоверности и точности получаемых решений.	Обучающийся имеет навыки анализа корректности, достоверности и точности получаемых решений.	Обучающийся имеет устойчивые навыки анализа корректности, достоверности и точности получаемых решений, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы
33	Обучающийся не знает стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач.	Обучающийся частично знает стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач.	Обучающийся знает стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач.	Обучающийся твердо знает стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы
У3	Обучающийся не умеет использовать стандартные пакеты прикладных программ.	Обучающийся частично умеет использовать стандартные пакеты прикладных программ.	Обучающийся умеет использовать стандартные пакеты прикладных программ.	Обучающийся умеет корректно и эффективно использовать стандартные пакеты прикладных программ, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы
Н3	Обучающийся не имеет навыков отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение.	Обучающийся имеет фрагментарные навыки отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение.	Обучающийся имеет навыки отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение.	Обучающийся имеет устойчивые навыки отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы
34	Обучающийся не знает математический аппарат для решения задач строитель-	Обучающийся частично знает математический аппарат для решения задач	Обучающийся знает математический аппарат для решения задач строитель-	Обучающийся твердо знает математический аппарат для решения задач

	ства	строительства	ства	строительства, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы
У4	Обучающийся не умеет применять математический аппарат для решения поставленных задач, способен формулировать адекватную математическую модель .	Обучающийся частично умеет применять математический аппарат для решения поставленных задач, способен формулировать адекватную математическую модель .	Обучающийся умеет применять математический аппарат для решения поставленных задач, способен формулировать адекватную математическую модель .	Обучающийся умеет корректно и эффективно применять математический аппарат для решения поставленных задач, способен формулировать адекватную математическую модель, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы
Н4	Обучающийся не имеет навыков анализа результатов моделирования.	Обучающийся имеет фрагментарные навыки анализа результатов моделирования.	Обучающийся имеет навыки анализа результатов моделирования.	Обучающийся имеет устойчивые навыки анализа результатов моделирования, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы
35	Обучающийся не знает новые разделы фундаментальных наук	Обучающийся частично знает новые разделы фундаментальных наук	Обучающийся знает новые разделы фундаментальных наук	Обучающийся твердо знает новые разделы фундаментальных наук, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы
У5	Обучающийся не умеет применять математический аппарат новых разделов фундаментальных наук для решения поставленных задач	Обучающийся частично умеет применять математический аппарат новых разделов фундаментальных наук для решения поставленных задач	Обучающийся умеет применять математический аппарат новых разделов фундаментальных наук для решения поставленных задач	Обучающийся умеет корректно и эффективно применять математический аппарат новых разделов фундаментальных наук для решения поставленных задач, в том числе на основе самостоятельного изучения

				ния литературы
Н5	Обучающийся не имеет навыков отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение	Обучающийся имеет фрагментарные навыки отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение	Обучающийся имеет навыки отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение	Обучающийся имеет устойчивые навыки отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение, в том числе на основе самостоятельного изучения литературы

4.2. Процедура оценивания при проведении промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) в форме Зачета

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) в форме зачёта не проводится.

4.3. Процедура оценивания при проведении промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю) в форме защиты курсовой работы/проекта

Процедура защиты курсовой работы (проекта) определена Положением о курсовом проекте (работе) обучающихся НИУ МГСУ:

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) в форме защиты курсового проекта /курсовой работы не проводится.

Приложение 2 к рабочей программе

Шифр	Наименование дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.5.1	Метод конечных элементов

Код направления подготовки / специальности	01.03.04
Направление подготовки / специальность	Прикладная математика
Наименование (я) ОПОП (направленность / профиль)	Применение математических методов к решению инженерных и экономических задач (Академический бакалавриат)
Год начала реализации ОПОП	2015
Уровень образования	бакалавриат
Форма обучения	очная
Год разработки/обновления	2017

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

№ п/п	Наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы, количество страниц	Количество экземпляров печатных изданий в библиотеке НИУ МГСУ	Число обучающихся, одновременно изучающих дисциплину (модуль)
1	2	3	4	5
<i>Основная литература:</i>				
		НТБ НИУ МГСУ		
1	Метод конечных элементов	Строительная информатика [Текст] : учебное пособие для подготовки бакалавров по направлению - 270800.68 (08.04.01) и для подготовки специалистов по специальности 271101 (08.05.01) - "Строительство уникальных зданий и сооружений" / П. А. Акимов [и др.]. - Москва : АСВ, 2014. - 432 с.	88	25
		ЭБС АСВ		
2	Метод конечных элементов	Лебедев А.В. Численные методы расчета строительных конструкций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Лебедев А.В.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 55 с	http://www.iprbookshop.ru/19055	25
<i>Дополнительная литература:</i>				
		НТБ НИУ МГСУ		
3	Метод конечных элементов	Численные и аналитические методы расчета строительных конструкций [Текст] : монография / А. Б. Золотов [и др.]. - М. : МГСУ : Изд-во АСВ, 2009. - 336 с	305	25

4	Метод конечных элементов	Дискретно-континуальный метод конечных элементов. Приложения в строительстве [Текст] : монография / А. Б. Золотов [и др.]; [рец.: В. И. Сливкер, С. Б. Косицын]. - М. : Изд-во АСВ, 2010. - 336 с.	500	25
5	Метод конечных элементов	Дарков, А.В. Строительная механика: учебник / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. - Изд. 12-е, стереотип. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. - 655 с. : ил., табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 650 (12 назв.). - ISBN 978-5-8114-0576-3	28	25

Согласовано:

НТБ

_____ / _____ /
дата *Подпись, ФИО*

Приложение 3 к рабочей программе

Шифр	Наименование дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.5.1	Метод конечных элементов

Код направления подготовки	01.03.04
Направление подготовки	Прикладная математика
Наименование ОПОП (профиль)	Применение математических методов к решению инженерных и экономических задач
Год начала подготовки	2015
Уровень образования	бакалавриат
Форма обучения	очная
Год разработки/обновления	2017

Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема	Наименование программного обеспечения	Тип лицензии
1	Все разделы дисциплины «Метод конечных элементов».	Все темы дисциплины «Метод конечных элементов»	Операционная система Microsoft Windows	DreamSpark subscription
			Microsoft Office	
			Scad Office	Бесплатная учебная версия
			ANSYS	Лицензионное ПО
			Лира 9.6	Платное ПО
			Mathworks Matlab R2008	Платное ПО

Приложение 4 к рабочей программе

Шифр	Наименование дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.5.1	Метод конечных элементов

Код направления подготовки	01.03.04
Направление подготовки	Прикладная математика
Наименование ОПОП (профиль)	Применение математических методов к решению инженерных и экономических задач
Год начала подготовки	2015
Уровень образования	бакалавриат
Форма обучения	очная
Год разработки/обновления	2017

Перечень материально-технического обеспечения по дисциплине (модулю):

№ п/п	Вид учебного занятия	Наименование оборудования	№ и наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий
1	2	3	4
1	Лекции	Стационарные / мобильные (переносные) наборы демонстрационного оборудования	Аудитории для проведения занятий лекционного типа в соответствии с перечнем аудиторного фонда.
2	Практические занятия	Мобильные (переносные) наборы демонстрационного оборудования	Аудитории / аудитория для проведения занятий семинарского типа в соответствии с перечнем аудиторного фонда
3	Групповые занятия – компьютерные практикумы	28 персональных компьютеров с конфигурацией: 1,8 ГГц, HDD 240 Гб, RAM 1 Гб, Video RAM 256 Мб, DVD-R/RW, монитор 19”.	Помещения для компьютерного практикума: 129337, г. Москва, Ярославское ш, д. 26, 310,312, 417, 418,420, 421,623 КМК
4	Самостоятельная работа	32 персональных компьютера с конфигурацией: 2,6 ГГц, HDD 160 Гб, RAM 2 Гб, Video RAM 256 Мб, DVD-R/RW, монитор 19””, 48 персональных компьютеров с конфигурацией: 3 ГГц, HDD 160 Гб, RAM 2 Гб, Video RAM 256 Мб, DVD-R/RW, монитор 19””, 40 персональных компьютеров с конфигурацией: 2,9 ГГц, HDD 250 Гб, RAM 4 Гб, Video RAM 512 Мб, DVD-R/RW, монитор 19””.	Помещение для самостоятельной работы (129337, г. Москва, Ярославское ш, д. 26, корп. 2, Учебный корпус (Библиотека), комн. 10, комн. 41)
		29 персональных компьютеров с конфигурацией: 1,6 ГГц, HDD 80 Гб, RAM 1 Гб, Video RAM 128 Мб, DVD-R/RW, монитор 17””.	Помещение для самостоятельной работы (129337, г. Москва, Ярославское ш, д. 26, корп. 2, Учебный корпус (Библиотека), комн. 10)