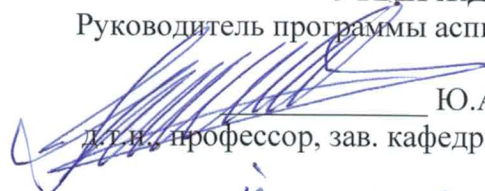


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы аспирантуры



Ю.А. Кашников

д.т.н., профессор, зав. кафедры МДГиГИС

« 19 » « мая » 2022 г.

Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры

«Метод конечных элементов в геомеханике»

Научная специальность	2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика и геометрия недр
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Горно-промышленная и нефтепромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр
Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Маркшейдерское дело, геодезия и геоинформационные системы
Форма обучения	Очная
Курс: 2	Семестр (ы): 4
Виды контроля с указанием семестра:	
Зачет: 3	

Пермь 2022

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Метод конечных элементов в геомеханике» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

1.1 **Цель учебной дисциплины** – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области *горно-промышленной и нефтепромысловой геологии, геофизики, маркшейдерского дела и геометрии недр.*

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Метод конечных элементов в геомеханике» является обязательной дисциплиной образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче зачета по специальности 2.8.3. - Горно-промышленная и нефтепромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр.

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

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- механический смысл решений упругих задач при применении МКЭ;
- матричную запись плоской задачи теории упругости при применении МКЭ;
- последовательность операций при решении задач напряженно-деформированного состояния методами конечных элементов;

Уметь:

- определять граничные и начальные условия при определении напряженно-деформированного состояния массива;
- преобразовывать матрицы;
- определять характерные особенности треугольного конечного элемента;

Владеть:

- методами и средствами рационального выбора программных средств при решении задач с применением МКЭ;
- методами преобразования линейных полиномов в матричную форму;
- приемами решения пространственных задач напряженно-деформированного состояния с применением МКЭ.

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		4 семестр
1	Аудиторная работа	21
	В том числе:	
	Лекции (Л)	0
	Практические занятия (ПЗ)	16
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	5
	Самостоятельная работа (СР)	51
	Форма итогового контроля:	Зачет

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Суть метода конечных элементов

(Л – 0, ПЗ – 10, СР – 22)

Тема 1. Дискретизация области. Треугольный элемент

Последовательность операций при решении задачи на плоскости. Аппроксимация поверхности.

Тема 2. Матрица жесткости элемента и система элементов

Преобразование матрицы. Функция влияния узлов. Последовательность матричных операций. Матрица жесткости сплошного конечного элемента. Граничные условия.

Раздел 2. Плоская задача теории упругости

(Л – 0, ПЗ – 6, СР – 20)

Тема 3. Конечный элемент и его свойства;

Непрерывная функция координат. Узловые перемещения. Относительные деформации. Характерные особенности треугольного конечного элемента.

Тема 4. Матрица жесткости системы

Выбор методов решения системы уравнений. Расчет деформаций по узловым перемещениям и перемещениям в системе. Разбивка сети конечных элементов. Анализ полей напряжения. Постановка задач и назначение граничных условий

Тема 5. Осесимметрическая задача

Зависимость узловых сил от узловых перемещений. Объединение матрицы жесткости элементов в матрицы жесткости системы. Погрешности в элементах.

Раздел 3. Особенности конечно-элементного решения задач предельного равновесия

(Л – 0, ПЗ – 0, СР – 9)

Тема 6. Имитация изменения контура области

Решения с последовательно изменяемыми контурами области. Элементы нулевого типа. Решение больших систем уравнений.

4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Решение задачи напряженно-деформированного состояния на плоскости	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	2	Преобразование матрицы	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	3	Решение задачи напряженно-деформированного состояния для слоистой среды	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	4	Расчет деформаций по узловым перемещениям	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
5	5	Объединение матрицы жесткости элементов в матрицы жесткости системы	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Аппроксимация поверхности. Ограничения и допуски.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	2	Последовательность матричных преобразований. Составление матрицы жесткости сплошного конечного элемента.	Творческое задание	Темы творческих заданий
3	4	Расчет деформаций по узловым перемещениям и перемещениям в системе.	Творческое задание	Темы творческих заданий

		Анализ полей напряжения.		
4	5	Зависимость узловых сил от узловых перемещений	Творческое задание	Темы творческих заданий

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Метод конечных элементов в геомеханике» аспирантам целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;
3. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции;

6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1 Основная литература		
1	<i>Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике, М., Недра. 1987. 221 с.</i>	1
2	<i>Баклашов И.В. Геомеханика: Учебник для вузов. Том 1 Основы геомеханики. М., МГГУ, 2004 208 с.</i>	23
3	<i>Баклашов И.В., Картозия Б.А., Шашенко А.Н., Борисов В.Н. Геомеханика: Учебник для вузов, Том 2, Геомеханические процессы. М., МГГУ, 2004. 249 с.</i>	23
4	<i>Кашиников Ю.А. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. / Ю.А. Кашиников, С.Г. Ашихмин. - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2007. - 467 с.</i>	10 экземпляров на кафедре
5	<i>Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов: пер. с англ. – М., Мир, 1981. – 304 с.</i>	8
6	<i>Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике, М., Мир. 1975, 539 с.</i>	1974 – 1 1975 - 1
7	<i>Прочность и деформируемость горных пород. Под ред. А.Б. Фадеева, М., Недра, 1979. 269 с.</i>	2
8	<i>Фадеев А.Б., Ретина П.И, Абдылбаев Э.К. Метод конечных элементов при решении геотехнических задач и программа «Геомеханика». ЛИСИ, Л., 1982. 72 с.</i>	1
9	<i>Малышев М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений. М., Стройиздат, 1980. 134 с.</i>	3
2 Дополнительная литература		

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
2.2 Периодические издания		
1	<i>Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело</i> http://elibrary.ru/	Научная электронная библиотека (НЭБ)
2	<i>Вестник ПНИПУ. Механика</i> http://elibrary.ru/	НЭБ
3	<i>Известия РАН. Механика твердого тела.</i> http://elibrary.ru/	НЭБ
2.3 Нормативно-технические издания		
1	ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. - М., 1985, 10 с.	GostExpert.ru - единая база ГОСТов РФ
2	ГОСТ 21153.3-85. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении. - М., 1987, 18 с.	GostExpert.ru - единая база ГОСТов РФ
3	ГОСТ 21153.8-88. Породы горные. Методы определения предела прочности при объемном сжатии. - М., 1989, 17 с.	GostExpert.ru - единая база ГОСТов РФ
4	ГОСТ 28985-91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. - М., 1992, 11 с.	GostExpert.ru - единая база ГОСТов РФ
2.4 Официальные издания		
1	Федеральный закон "О недрах" № 2395-1 от 21.02.1992.	КонсультантПлюс

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. – Пермь, 2016. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии кн., журн. по гуманитар., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Изд-ва «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. ProQuest Dissertations & Theses Global [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : дис. и дипломные работы на ин. яз. по всем отраслям знания] / ProQuest LLC. – Ann Arbor, 2016. – Режим доступа: <http://search.proquest.com/pqdtglobal/dissertations>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

4. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / Электрон. б-ка дис. – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

5. *Cambridge Journals [Electronic resource : полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманит., естеств., и техн. наукам на англ. яз.] / University of Cambridge. – Cambridge : Cambridge University Press, 1770-2012. – Режим доступа: <http://journals.cambridge.org/>. – Загл. с экрана. 11.*

6. *Справочная Правовая Система КонсультантПлюс [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных правовой информ. : док., коммент., кн., ст., обзоры и др.]. – Версия 4015.00.02, сетевая, 50 станций. – Москва, 1992–2016. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.*

7. *Информационная система Техэксперт: Интранет [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных правовой информ. : законодат. и норматив. док., коммент., журн. и др.] / Кодекс. – Версия 6.3.2.22, сетевая, 50 рабочих мест. – Санкт-Петербург, 2009-2013. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.*

8. *Единая база ГОСТов РФ "ГОСТ Эксперт" <http://gostexpert.ru/>*

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование)	Кол-во ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	18	Оперативное управление	215
2	Установка ПИК-УИДК/ПЛ	1	Собственность	032/1

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является зачет, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

- **Собеседование**

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

- **Защита отчета о творческом задании**

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета по дисциплине, в устно-письменной форме по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) и практическое задание (ПЗ).

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания. Пример билета представлен в приложении 1.

- **Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче зачета:**

Оценка результатов обучения по дисциплине проводится по проводится в виде интегральной оценки по системе оценивания «зачтено» и «незачтено» путем выборочного контроля во время зачета.

Шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче эзачета приведены в табл. 5.

Таблица 5

Шкала оценивания результатов освоения на зачете

Оценка	Критерии оценивания
<i>Зачтено</i>	<p>Аспирант продемонстрировал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.</p> <p>Аспирант выполнил контрольное задание билета правильно или с небольшими неточностями. Показал успешное или сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.</p>
<i>Незачтено</i>	<p>При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные знания при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p> <p>При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично усвоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.</p>

9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны

быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 2.8.3. - Горно-промышленная и нефтепромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Какие деформации возникают в толще горных пород при воздействии на массив?
2. В чем суть метода конечных элементов?
3. Перечислите свойства конечного элемента.
4. Как решается задача для слоистой среды методом конечных элементов?

Типовые контрольные задания:

1. Построить матрицу жесткости для треугольного элемента.
2. Установить граничные условия для решения задачи напряженно-деформированного состояния некоторой области.
3. Построить матрицу жесткости для стержневого элемента.
4. Решить линейную задачу методом конечных элементов в общем виде.

Полный комплект вопросов и заданий в форме утвержденных билетов хранится на кафедре «МДГиГИС».

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» (ПНИПУ)

Программа
Горно-промышленная и
нефтегазовая геология, геофизика,
маркшейдерское дело
и геометрия недр
Кафедра
Маркшейдерское дело, геодезия
и геоинформационные системы

Дисциплина
«Метод конечных элементов в геомеханике»

БИЛЕТ № 1

1. Механический смысл решения упругих задач при применении МКЭ.
2. Построить матрицу жесткости для треугольного элемента.
3. Установить граничные условия для решения задачи напряженно-деформированного состояния некоторой области.
4. Решение нелинейных задач механики горных пород.

Заведующий кафедрой _____
(подпись)
« ____ » _____ 202 ____ г.

Кашников Ю.А,

Лист регистрации изменений

№ п.п.	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		