



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ШКОЛА)

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной
программы


_____ Е.Л. Ефремов

УТВЕРЖДАЮ

Директор Департамента математики




_____ В.С. Заболотский
« 20 » _____ 02 _____ 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Метод конечных элементов

*Направление подготовки 01.04.01 Математика
(Математика и моделирование сложных систем)*

Форма подготовки: очная

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 01.04.01 Математика, утвержденного приказом Минобрнауки Российской Федерации от 10.10.2018 г. № 12.

Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента математики, протокол 20.02.2023 г. №5.

Директор Департамента математики _____ В.С. Заболотский

Составитель:

профессор Департамента математического и компьютерного моделирования
Алексеев Г.В., ассистент Департамента математического и компьютерного
моделирования Спивак Ю.Э.

Владивосток
2023

1. Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании
департамента математики, протокол от «20» февраля 2023 г. № 5.

2. Рабочая программа пересмотрена на заседании _____ и
утверждена на заседании _____,
протокол от «___» _____ 202__ г. № _____.

3. Рабочая программа пересмотрена на заседании _____ и
утверждена на заседании _____,
протокол от «___» _____ 202__ г. № _____.

4. Рабочая программа пересмотрена на заседании _____ и
утверждена на заседании _____,
протокол от «___» _____ 202__ г. № _____.

5. Рабочая программа пересмотрена на заседании _____ и
утверждена на заседании _____,
протокол от «___» _____ 202__ г. № _____.

I. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель: получить представление о методе конечных элементов (МКЭ) как об одном из наиболее эффективных методов численного решения краевых задач математической физики и научиться основным правилам применения МКЭ для дискретизации и численного исследования различных задач математической физики.

Задачи:

- Развить целостное представление о проекционных методах дискретизации краевых задач математической физики, включая методы коллокаций, Галеркина, Бубнова-Галеркина, Ритца, наименьших квадратов и метод конечных элементов.

- Разобрать схему и основные этапы применения МКЭ для решения прикладных задач из разных областей науки и техники, описываемым краевыми задачами для дифференциальных уравнений.

- Научиться качественному анализу свойств дискретных задач, являющихся МКЭ – аппроксимациями непрерывных задач, и, в частности, исследованию сходимости приближенных решений к точному при стремлении к нулю шага разностной сетки либо стремлении к бесконечности размерности конечномерного подпространства, в котором ищется приближенное решение.

- Научиться методам решения систем разностных уравнений, возникающих при дискретизации краевых задач математической физики методом конечных элементов.

Место дисциплины в структуре ОПОП ВО (в учебном плане): является дисциплиной обязательной части дисциплин, изучается на 1 курсе во 2 семестре и завершается экзаменом.

Универсальные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Наименование категории (группы) универсальных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
Межкультурное взаимодействие	УК-5 Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	УК 5.1 Организует и модерирует межкультурное взаимодействие для решения профессиональных задач	Знает основные методы анализа культурных особенностей для межкультурного взаимодействия. Умеет учитывать культурологические особенности в процессе межкультурного взаимодействия.

			Владеет методами организации межкультурного взаимодействия.
		УК 5.2 Выбирает способы преодоления коммуникативных, образовательных, этнических, конфессиональных барьеров для межкультурного взаимодействия при решении профессиональных задач	Знает особенности профессиональной коммуникации на государственном (русском) и иностранном языках. Умеет осуществлять профессиональную коммуникацию вне зависимости от коммуникативных, образовательных, этнических, конфессиональных барьеров. Владеет методами преодоления коммуникативных, образовательных, этнических, конфессиональных барьеров для межкультурного взаимодействия при решении профессиональных задач.
Самоорганизация и саморазвитие (в том числе здоровьесбережение)	УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК 6.1 Находит и творчески использует имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития (в том числе здоровьесбережение)	Знает методы использования имеющегося опыта в соответствии с задачами саморазвития. Умеет использовать имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития. Владеет навыками организации командной работы.
		УК 6.2 Определяет приоритеты своей деятельности и разрабатывает стратегию личностного и профессионального развития на основе соотнесения собственных целей и возможностей с развитием избранной сферы профессиональной деятельности	Знает основные классификационные системы оценки мыслительной деятельности. Умеет оценивать свою деятельность на основе известных классификационных теорий. Владеет методами достижения поставленных приоритетных целей.
		УК 6.3 Планирует профессиональную траекторию с учетом особенностей как профессиональной, так и других видов деятельности и требований рынка труда	Знает основные классификационные системы оценки мыслительной деятельности. Умеет анализировать рынок труда. Владеет методами планирования профессиональной траектории развития.

Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их

достижения:

Наименование категории (группы) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
Теоретические и практические основы профессиональной деятельности	ОПК-1 Способен формулировать и решать актуальные и значимые проблемы математики	ОПК 1.1 Умеет выделить и поставить проблемы в области математики	Знает специальные технические и программно-математические средства для решения нестандартных профессиональных задач. Умеет выбирать, проектировать и внедрять специальные технические и программно-математические средства решения нестандартных профессиональных задач. Владеет навыками выбора, проектирования и внедрения специальных технических и программно-математических средств для решения нестандартных профессиональных задач.
		ОПК 1.2 Методологически правильно формулирует и решает математические проблемы	Знает методы теоретического исследования объектов профессиональной деятельности, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте. Умеет выбирать, применять и внедрять методы теоретического исследования объектов профессиональной деятельности, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте. Владеет навыками выбора, применения и внедрения методов теоретического анализа объектов профессиональной деятельности, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте.
		ОПК 1.3 Использует основные концепции современной математики и методологические особенности построения математических теорий	Знает основные математические модели, математические методы и алгоритмы интерпретации вычислительного эксперимента на основе его

	при решении актуальных проблем математики	математической модели. Умеет строить новые математические модели и интерпретировать данные анализа современных математических моделей. Владеет навыками применения алгоритмов интерпретации вычислительного эксперимента.
ОПК-2 Способен строить и анализировать математические модели в современном естествознании, технике, экономике и управлении	ОПК 2.1 Проводит анализ применения математических моделей в различных сферах	Знает методику применения математических моделей в различных сферах Умеет анализировать применение математических моделей в различных сферах Владеет методиками применения математических моделей в различных сферах
	ОПК 2.2 Применяет методы построения и анализа математических моделей в современном естествознании, технике, экономике и управлении	Знает методы построения и анализа математических моделей в современном естествознании, технике, экономике и управлении Умеет применять методы построения и анализа математических моделей в современном естествознании, технике, экономике и управлении Владеет методикой построения и анализа математических моделей в современном естествознании, технике, экономике и управлении
ОПК-3 Способен использовать знания в сфере математики при осуществлении педагогической деятельности	ОПК 3.1 Применяет основные принципы организации педагогической деятельности	Знает основные принципы организации педагогической деятельности Умеет организовать учебный процесс в соответствии с современными принципами их организации Владеет навыками организации педагогической деятельности на достаточном уровне
	ОПК 3.2 Определяет методические закономерности выбора форм, методов и средств обучения математике	Знает методические закономерности выбора форм, методов и средств обучения математике Умеет определять закономерности выбора форм, методов и средств обучения математике Владеет методикой обучения математики

		ОПК 3.3 Планирует и реализует педагогическую деятельность в сфере математики, используя полученные знания	Знает основные принципы организации педагогической деятельности Умеет организовать и руководить учебным процессом при изучении математических дисциплин Владеет знаниями в сфере математики для осуществления педагогической деятельности
--	--	---	---

II. ТРУДОЁМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачётных единиц (180 академических часов).

III. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Формы промежуточной аттестации
			Лек	Пр	Лаб	СР	Контроль	
1	Раздел 1. Вариационные формулировки краевых задач	2	2	12		24	18	экзамен
2	Раздел 2. Дискретизация одномерных краевых задач	2	6	12		24	18	
3	Раздел 3. Дискретизация двумерных краевых задач	2	6	10		20	16	
4	Раздел 4. Дискретизация начально-краевых задач методом конечных элементов	2	4	2		4	2	
Итого:			18	36		72	54	

IV. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

2 семестр

Раздел 1. Вариационные формулировки краевых задач (2 часа)

Тема 1. Введение. Сущность МКЭ (1 час)

Сущность метода конечных элементов. Постановки основных краевых задач: пяти задач для обыкновенных дифференциальных уравнений 2-го и 4-го порядков и трех задач для уравнений второго порядка эллиптического типа. Постановки основных краевых задач: задача Дирихле для простейшего ОДУ 2-го порядка (задача 1), задача Дирихле для ОДУ 2-го порядка с переменными коэффициентами (задача 2), смешанная краевая задача для ОДУ 2-го порядка с переменными коэффициентами (задача 3), задача Дирихле для ОДУ 4-го порядка с переменными коэффициентами (задача 4), смешанная краевая задача для ОДУ 4-го порядка (задача 5), смешанная краевая задача для двумерного уравнения Лапласа (задача 6), смешанная краевая задача для двумерного уравнения Гельмгольца (задача 7), третья краевая задача для уравнения конвекции-диффузии (задача 8).

Тема 2. Вариационные формулировки одномерных краевых задач (1 час)

Вариационные формулировки задачи 1.

Раздел 2. Дискретизация одномерных краевых задач (6 часов)

Тема 1. Проекционные методы дискретизации краевых задач (2 часа)

Сущность метода проекций (моментов). Метод коллокаций для задачи 1. Метод Галеркина для задачи 1. Метод Бубнова-Галеркина для задачи 1. Методы Ритца и наименьших квадратов для задачи 1. Основная теорема для метода Ритца. Методы коллокаций, Галеркина, Ритца и наименьших квадратов для других одномерных задач. Сущность метода проекций дискретизации многомерных краевых задач. Методы коллокаций и Галеркина для задач 6 и 7. Методы Бубнова-Галеркина и Ритца для задач 6 и 7. Методы наименьших квадратов для задач 6 и 7.

Тема 2. Метод конечных элементов дискретизации одномерных краевых задач (4 часа)

Понятие сплайна. Степень и дефект сплайна. Свойства сплайнов. Использование сплайнов в качестве базисных функций. Применение МКЭ для решения задачи 1. Исследование сходимости МКЭ для задачи 1.

Раздел 3. Дискретизация двумерных краевых задач (6 часов)

Тема 1. Проекционные методы дискретизации двумерных краевых задач. (2 часа)

Методы коллокаций, Галеркина, Бубнова-Галеркина, Ритца, наименьших квадратов.

Тема 2. Метод конечных элементов дискретизации двумерных краевых задач (4 часа)

Основные этапы применения МКЭ для двумерных задач. Триангуляция области и построение базисных функций. Формирование матрицы коэффициентов. Введение барицентрических координат. Формирование матрицы в случае прямоугольной области I. Вычисление коэффициентов матрицы, отвечающих внутренним узлам. Вычисление коэффициентов, обусловленных краевыми условиями 3-го рода. Построение разностной схемы на основе МКЭ. Исследование сходимости МКЭ для решения задачи 6.

Раздел 4. Дискретизация (нестационарных) начально-краевых задач методом конечных элементов (4 часа)

Тема 1. Дискретизация начально-краевой задачи для двумерного уравнения теплопроводности (2 часа)

Дискретизация начально-краевой задачи для двумерного уравнения теплопроводности.

Тема 2. Обзор курса (2 час)

Повторение всех тем курса.

V. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

2 семестр

Занятие 1. Вариационные формулировки задач 2, 3, 4 и 5. (2 часа)

Занятие 2. Проекционные методы для одномерных краевых задач 2, 3, 4,

5. (2 часа)

Занятие 3. Применение МКЭ для решения задачи 2. Исследование сходимости МКЭ для решения задачи 2. (2 часа)

Занятие 4. Применение МКЭ для решения задачи 3. Исследование сходимости МКЭ для решения задачи 3. (2 часа)

Занятие 5. Вариационные формулировки задач 7 и 8. (2 часа)

Занятие 6. Проекционные методы для двумерных краевых задач 7 и 8. (2 часа)

Занятие 7. Применение МКЭ для задачи 7. (2 часа)

Занятие 8. Применение МКЭ для задачи 8. (2 часа)

Занятие 9. Выдача задания №1: численное решение одномерной задачи. Выбора алгоритма. (2 часа)

Занятие 10. Описание программы, реализующей численный метод. (2 часа)

Занятие 11. Составление и отладка программы. (2 часа)

Занятие 12. Проведение численных экспериментов. Анализ результатов. (2 часа)

Занятие 13. Выдача задания № 2: численное решение двумерной краевой задачи. Выбора алгоритма. (2 часа.)

Занятие 14. Описание программы, реализующей численный метод. (2 часа)

Занятие 15. Составление и отладка программы. (2 часа)

Занятие 16. Проведение численных экспериментов. Анализ результатов. (2 часа)

Занятие 17. Защита отчетов по выполнению задания. (2 часа)

В рамках практических занятий предполагается численное решение на ЭВМ методом конечных элементов двух краевых задач: для обыкновенного дифференциального уравнения и уравнения эллиптического типа второго

порядка. Численное решение каждой из задач подразумевает: постановку соответствующей краевой задачи, выбор численного алгоритма, исследование сходимости, составление программы, реализующей численный алгоритм, составление и отладка программы, проведение численных экспериментов и визуализацию полученных результатов, оформление отчета. Особое внимание уделяется использованию студентами готовых (лицензионных) программных продуктов и, в частности, свободно распространяемого пакета FreeFEM++.

VI. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Вариационные формулировки краевых задач	ОПК 1.1 Умеет выделить и поставить проблемы в области математики	Знает основы математики, естественнонаучных дисциплин, вычислительной техники и программирования.	УО-1 собеседование, устный опрос;	вопросы к экзамену 1-6
			Умеет анализировать, решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования.	УО-1 собеседование / устный опрос;	
			Владеет методами теоретического и экспериментального исследования решаемых научных проблем прикладной математики; современными информационно-коммуникационными технологиями.	УО-1 собеседование / устный опрос, ПР-6 практическая (лабораторная) работа	
		ОПК 1.2 Методологически правильно формулирует и решает математические проблемы	Знает основные методы исследования процессов и явлений математической физики.	УО-1 собеседование / устный опрос	
			Умеет анализировать, решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования.	УО-1 собеседование / устный опрос; ПР-6 практическая работа	

			Владеет методологией теоретических и экспериментальных исследований в области решаемых научных проблем.	УО-2 коллоквиум	
	ОПК 1.3 Использует основные концепции современной математики и методологические особенности построения математических теорий при решении актуальных проблем математики		Знает методологию выбора и обоснования методов исследования, используемых для решения профессиональных научных проблем.	УО-1 собеседование / устный опрос	
			Умеет аргументировать выбор метода при проведении теоретических и экспериментальных исследований в области математического моделирования и численных методов.	ПР-6 практическое занятие	
			Владеет основами применения методов численного моделирования при решении задач в области прикладной математики.	УО-1 устный опрос, собеседование	
	УК 5.1 Организует и модерирует межкультурное взаимодействие для решения профессиональных задач		Знает основные методы анализа культурных особенностей для межкультурного взаимодействия.	УО-1 собеседование / устный опрос	
			Умеет учитывать культурологические особенности в процессе межкультурного взаимодействия.	ПР-6 практическое занятие	
			Владеет методами организации межкультурного взаимодействия.	УО-1 устный опрос, собеседование	
	УК 6.1 Находит и творчески использует имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития (в том числе здоровьесбережение)		Знает методы использования имеющегося опыта в соответствии с задачами саморазвития.	УО-1 собеседование / устный опрос	
			Умеет использовать имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития.	ПР-6 практическое занятие	
			Владеет навыками организации командной работы.	УО-1 устный опрос, собеседование	
	ОПК 3.1 Применяет основные принципы организации педагогической деятельности		Знает основные принципы организации педагогической деятельности	УО-1 собеседование / устный опрос	
			Умеет организовать учебный процесс в	ПР-6 практическое	

			соответствии с современными принципами их организации	занятие	
			Владеет навыками организации педагогической деятельности на достаточном уровне	УО-1 устный опрос, собеседование	
2	Раздел 2. Дискретизация одномерных краевых задач	ОПК 2.1 Проводит анализ применения математических моделей в различных сферах	Знает методику применения математических моделей в различных сферах	УО-1 собеседование / устный опрос;	вопросы к экзамену 7-29
			Умеет анализировать применение математических моделей в различных сферах	ПР-6 практическая работа	
			Владеет методиками применения математических моделей в различных сферах	УО-2 коллоквиум	
		УК 5.2 Выбирает способы преодоления коммуникативных, образовательных, этнических, конфессиональных барьеров для межкультурного взаимодействия при решении профессиональных задач	Знает особенности профессиональной коммуникации на государственном (русском) и иностранном языках.	УО-1 собеседование / устный опрос	
			Умеет осуществлять профессиональную коммуникацию вне зависимости от коммуникативных, образовательных, этнических, конфессиональных барьеров.	ПР-6 практическое занятие	
			Владеет методами преодоления коммуникативных, образовательных, этнических, конфессиональных барьеров для межкультурного взаимодействия при решении профессиональных задач.	УО-1 устный опрос, собеседование	
		УК 6.3 Планирует профессиональную траекторию с учетом особенностей как профессиональной, так и других видов деятельности и требований рынка труда	Знает основные классификационные системы оценки мыслительной деятельности.	УО-1 собеседование / устный опрос	
			Умеет анализировать рынок труда.	ПР-6 практическое занятие	
			Владеет методами планирования профессиональной траектории развития.	УО-1 устный опрос, собеседование	
		ОПК 3.2 Определяет	Знает методические	УО-1	

		методические закономерности выбора форм, методов и средств обучения математике	закономерности выбора форм, методов и средств обучения математике	собеседование / устный опрос	
			Умеет определять закономерности выбора форм, методов и средств обучения математике	ПР-6 практическое занятие	
			Владеет методикой обучения математики	УО-1 устный опрос, собеседование	
3	Раздел 3. Дискретизация двумерных краевых задач	ОПК 2.2 Применяет методы построения и анализа математических моделей в современном естествознании, технике, экономике и управлении	Знает методы построения и анализа математических моделей в современном естествознании, технике, экономике и управлении	УО-1 собеседование / устный опрос;	вопросы к экзамену 30-41
			Умеет применять методы построения и анализа математических моделей в современном естествознании, технике, экономике и управлении	ПР-6 практическая работа	
			Владеет методикой построения и анализа математических моделей в современном естествознании, технике, экономике и управлении	УО-2 коллоквиум	
		УК 6.2 Определяет приоритеты своей деятельности и разрабатывает стратегию личностного и профессионального развития на основе соотнесения собственных целей и возможностей с развитием избранной сферы профессиональной деятельности	Знает основные классификационные системы оценки мыслительной деятельности.	УО-1 собеседование / устный опрос	
			Умеет оценивать свою деятельность на основе известных классификационных теорий.	ПР-6 практическое занятие	
			Владеет методами достижения поставленных приоритетных целей.	УО-1 устный опрос, собеседование	
		ОПК 3.3 Планирует и реализует педагогическую деятельность в сфере математики, используя полученные знания	Знает основные принципы организации педагогической деятельности	УО-1 собеседование / устный опрос	
			Умеет организовать и руководить учебным процессом при изучении математических дисциплин	ПР-6 практическое занятие	
			Владеет знаниями в сфере математики для осуществления педагогической деятельности	УО-1 устный опрос, собеседование	

Типовые варианты индивидуальных домашних заданий и контрольных работ, вопросы к коллоквиумам, вопросы к зачёту, критерии и показатели,

необходимые для оценки знаний, умений, навыков представлены в Фонде оценочных средств дисциплины «Метод конечных элементов».

VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства преподавателя, но по его заданиям и под его контролем. Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических операций и действий зависит и определяется самим студентом.

Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня, что в итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение необходимыми компетенциями по своему направлению подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов:

- работа с основной и дополнительной литературой, Интернет ресурсами;
- самостоятельное ознакомление с лекционным материалом, с теоретическим материалом, представленным на электронных носителях, в библиотеке образовательного учреждения;
- решение задач;
- выполнение контрольных работ;
- выполнение практических заданий;
- подготовка к экзамену.

Самостоятельная работа по дисциплине включает в себя подготовку к практическим занятиям (изучение литературы) и подготовку к промежуточной аттестации по дисциплине.

Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем

Список учебной литературы представлен в разделе VIII. В библиотеке ДВФУ доступны печатные экземпляры основных и дополнительных источников.

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы по дисциплине представлены в разделе IX. Типовые варианты индивидуальных домашних заданий и контрольных работ, вопросы к коллоквиумам, вопросы к зачёту, критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков представлены в Фонде оценочных средств дисциплины «Метод конечных элементов».

VIII. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы. Изд-во. Лань. 2014. -672 с.- Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=42190

2. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. Изд-во Физматлит. 2012. -468 с. Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59637

3. Марьянц Г.М., Прокофьев А.Б. Основы метода конечных элементов: учебн. пособ. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013. – 80 с.: ил. Режим доступа: <http://aseu.ssau.ru/i/b/ОМКЕ.pdf>

4. Трушин С.И. Строительная механика: Метод конечных элементов: учебн. пособие. - Изд-во НИЦ ИНФРА М. 2019 – 305 с. <https://znanium.com/catalog/document?id=342533> (можно через lib.dvfu.ru).

5. Самогин С.Ю., Хроматов В.Е., Чирков В.П. Метод конечных элементов в задачах сопротивления материалов: учебн. пособие. – Изд-во Физматлит. М. 2012 -200 с. <https://znanium.com/catalog/document?id=61429> (lib.dvfu.ru)

6. Радин В.П. Метод конечных элементов в динамических задачах сопротивления. – учебн. пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. - 316 с. <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114851.html> (lib.dvfu.ru)

7. Каменев С.В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях. –учебн. пособие. Изд-во Оренбург: ОГУ, 2019 -110с. http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/11908/1/94203_20190515.pdf

Дополнительная литература

1. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. Кн.1. Изд-во МЦНМО. 2011. –с. 624. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=9304
2. Алексеев Г.В. Классические методы математической физики: Учебное пособие. Часть 1. - Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2005. – 224 с. <http://window.edu.ru/resource/008/63008>
3. Алексеев Г.В. Классические методы математической физики: Учебное пособие. Часть 2. - Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2005. - 195 с. <http://window.edu.ru/resource/009/63009>
4. Ильин А.М. Уравнения математической физики. Издательство Физматлит. 2009. 192 с.
5. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. Кн.2. Изд-во МЦНМО. 2011. –с. 434. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=930
6. Даутов Р.З. Программирование МКЭ в MATLAB: Учебное пособие. - Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2010. - 71 с. <http://window.edu.ru/resource/069/76069>
7. Котович А.В., Станкевич И.В. Решение задач теплопроводности методом конечных элементов. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. 87 с.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://www.freefem.org/ff++/ftp/freefem++doc.pdf> Nech F. FreeFEM++. Third Edition. Version 3.0. Руководство пользователя по свободно распространяемому пакету программ с открытым кодом FreeFEM++
2. <http://www.freefem.org/ff++/index.htm> Адрес для скачивания свободно распространяемого пакета программ с открытым кодом FreeFEM++
3. <http://window.edu.ru/resource/152/27152> Вервейко Н.Д., Семькина Т.Д., Гребенников Д.Ю., Яковлев А.Ю. Применение метода конечных элементов в механике сплошных сред: Учебно-методическое пособие. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. - 51 с.
4. <http://window.edu.ru/resource/978/32978> Смирнов В.В. Метод конечных элементов. Учебное пособие. <http://www.exponenta.ru/educat/systemat/smironov/main.asp>

5. <http://window.edu.ru/resource/330/79330> Трудошин В.А. Моделирование систем с распределенными параметрами. Учебное пособие. МГТУ им. Н.Э. Баумана. <http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=Mkr/base.cou>

6. <http://window.edu.ru/resource/552/72552> Гергель В.П., Фурсов В.А. Лекции по параллельным вычислениям: Учебное пособие. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 164 с.

7. Электронная каталог библиотеки ДВФУ: <http://lib.dvfu.ru/>

8. Exponenta.Ru <http://www.exponenta.ru/> (Сайт показывает возможности популярных математических пакетов (Mathcad, Matlab, Maple, Mathematica, Statistica) для решения учебных и практических задач; содержит рекомендации, руководства по работе с математическими пакетами. Ссылки на основные ресурсы российского Интернета, посвященные использованию математических пакетов в образовании и в науке, опыт использования компьютера в математическом образовании. Математика – онлайн)

9. Интернет-библиотека по математике <http://ilib.mccme.ru/> (Сайт Московского Центра непрерывного математического образования)

10. Издательство «Лань»: <http://e.lanbook.com>, к ресурсам которого есть доступ с ДВФУ

11. Math.ru - библиотека <http://www.math.ru/lib/formats> (В библиотеке представлены книги, которые многие годы пользуются популярностью у студентов, преподавателей и просто любителей математики. Также содержит книги по физике).

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

1. <http://www.freefem.org/ff++/ftp/freefem++doc.pdf> Hech F. FreeFEM++. Third Edition. Version 3.0. Руководство пользователя по свободно распространяемому пакету программ с открытым кодом FreeFEM++

2. <http://www.freefem.org/ff++/index.htm> Адрес для скачивания свободно распространяемого пакета программ с открытым кодом FreeFEM++

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>

2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>

IX. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Планирование и организация времени, отведенного на изучение дисциплины. Приступить к освоению дисциплины следует незамедлительно в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы дисциплины. Обратит внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, практические занятия) планируется самостоятельная работа, итоги которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все задания (аудиторные и самостоятельные) необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с графиком.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: чтение лекций, практические занятия, задания для самостоятельной работы.

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

Практические занятия акцентированы на наиболее принципиальных и проблемных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений.

Особо значимой для профессиональной подготовки студентов является *самостоятельная работа* по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса. Каждое практическое занятие преподавателем задаётся общее домашнее задание, которое необходимо выполнить к следующему практическому занятию. Домашнее задание проверяется совместно со всеми студентами группы на практическом занятии. Индивидуальные домашние задания соответствуют изучаемым разделам или подразделам. Индивидуальное домашнее задание необходимо выполнить в течение установленного срока и сдать преподавателю на проверку. Оценка «зачтено» ставится за все верно выполненные задания. В противном случае индивидуальное домашнее задание возвращается на доработку.

Освоение курса способствует развитию навыков обоснованных и самостоятельных оценок фактов и концепций. Поэтому во всех формах контроля знаний, особенно при сдаче экзамена, внимание обращается на понимание проблематики курса, на умение практически применять знания и делать выводы.

Работа с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ

и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

Подготовка к экзамену. К сдаче экзамена допускаются обучающиеся, выполнившие все задания (практические, самостоятельные), предусмотренные учебной программой дисциплины, посетившие не менее 85% аудиторных занятий. Подготовка к экзамену состоит в систематизации полученных знаний и умений, повторении основных теоретических вопросов, методов решения задач и разборе решённых на практических занятиях задач. При подготовке к экзамену стоит обратить внимание на тренировку способности устного изложения сути вопроса, доказательств основных утверждений. Оценка за экзамен ставится по пятибалльной системе.

X. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные занятия по дисциплине проводятся в помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением. Для проведения занятий прежде всего требуются учебная доска, маркеры или мел (в соответствии с типом учебной доски).

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
D208/347, D303, D313а, D401, D453, D461, D518, D708, D709, D758, D761, D762, D765, D766, D771, D917, D918, D920, D925, D576, D807	Лекционная аудитория оборудована маркерной доской, аудиопроигрывателем	
D229, D304, D306, D349, D350, D351, D352, D353, D403, D404, D405, D414, D434, D435, D453, D503, D504, D517, D522, D577, D578, D579, D580, D602, D603, D657, D658, D702, D704, D705, D707, D721, D722, D723, D735, D736, D764, D769, D770, D773, D810, D811, D906, D914, D921, D922, D923, D924, D926	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avergence; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного	

	управления	
D207/346	Мультимедийная аудитория: Проектор 3-chip DLP, 10 600 ANSI-лм, WUXGA 1 920x1 200 (16:10) PT-DZ110XE Panasonic; экран 316x500 см, 16:10 с эл. приводом; крепление настенно-потолочное Elpro Large Electrol Projecta; профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG; подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avertvision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления)	
D226	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления), D362 (профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; Компьютерный класс на 15 посадочных мест	
D447, D448, D449, D450, D451, D452, D502, D575	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avertvision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления	
D446, D604, D656, D659, D737, D808, D809, D812	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avertvision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; Компьютерный класс; Рабочее место: Компьютеры	

	(Твердотельный диск - объемом 128 ГБ; Жесткий диск - объем 1000 ГБ; Форм-фактор – Tower); комплектуется клавиатурой, мышью. Монитором AOC i2757Fm; комплектом шнуров эл. питания) Модель - M93p 1; Лингафонный класс, компьютеры оснащены программным комплексом Sanako study 1200	
D501, D601	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; Компьютерный класс на 26 рабочих мест. Рабочее место: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK	
A1042 аудитория для самостоятельной работы студентов	Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 115 шт.; Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox; Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C; Полноцветный копир-принтер-сканер Xerox WorkCentre 7530 (WC7530CPS Оборудование для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья: Дисплей Брайля Focus-40 Blue – 3 шт.; Дисплей Брайля Focus-80 Blue; Рабочая станция Lenovo ThinkCentre E73z – 3 шт.; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Маркер-диктофон Touch Мемо цифровой; Устройство портативное для чтения плоскочечатных текстов PEarl; Сканирующая и читающая машина для незрячих и слабовидящих пользователей SARA; Принтер Брайля Emprint SpotDot - 2 шт.; Принтер Брайля Everest - D V4; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Видео увеличитель Гораз 24" XL стационарный электронный; Обучающая система для детей тактильно-речевая, либо	Microsoft Windows 7 Pro MAGic 12.0 Pro, Jaws for Windows 15.0 Pro, Open book 9.0, Duxbury BrailleTranslator, Dolphin Guide (контракт № А238-14/2); Неисключительные права на использование ПО Microsoft рабочих станций пользователей (контракт ЭА-261-18 от 02.08.2018): - лицензия на клиентскую операционную систему; - лицензия на пакет офисных продуктов для работы с документами включая формат.docx , .xlsx , .vxd , .ptt.; - лицензия па право подключения пользователя к серверным операционным системам , используемым в ДВФУ : Microsoft Windows Server 2008/2012; - лицензия на право подключения к серверу Microsoft Exchange Server Enterprise; - лицензия па право подключения к внутренней информационной системе документооборота и порталу с возможностью поиска информации во множестве удаленных и локальных хранилищах, ресурсах,

	<p>для людей с ограниченными возможностями здоровья; Увеличитель ручной видео RUBY портативный – 2 шт.; Экран Samsung S23C200B; Маркер-диктофон Touch Мемо цифровой.</p>	<p>библиотеках информации, включая порталные хранилища, используемой в ДВФУ: Microsoft SharePoint; - лицензия на право подключения к системе централизованного управления рабочими станциями, используемой в ДВФУ: Microsoft System Center.</p>
--	--	---

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.