

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Механика и сопротивление материалов»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №6 от 16 января 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА»

Научная специальность: 2.1.9 Строительная механика

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Дмитриева Татьяна
Львовна
Дата подписания: 20.06.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
: Дмитриева Татьяна Львовна
Дата подписания: 20.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Строительная механика» обеспечивает формирование следующих результатов освоения программы аспирантуры

Код, наименование результата освоения программы	Код, наименование результата освоения дисциплины (модуля)
Р-1 Готовность к самостоятельной научно-исследовательской и педагогической деятельности на основании способности к генерированию новых идей и поиска нестандартных решений в профессиональной деятельности	('Р-1.3 Способность применять системные теоретические знания для анализа, верификации, оценки процессов, происходящих в профессиональной сфере, а также умение аргументированно отстаивать собственную позицию в ходе научной дискуссии',) Способность применять системные теоретические знания для анализа, верификации, оценки процессов, происходящих в профессиональной сфере, а также умение аргументированно отстаивать собственную позицию в ходе научной дискуссии

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код наименования результата освоения дисциплины (модуля)	Результат обучения
Р-1.3 - Способность применять системные теоретические знания для анализа, верификации, оценки процессов, происходящих в профессиональной сфере, а также умение аргументированно отстаивать собственную позицию в ходе научной дискуссии	<p>Знать теоретические основы анализа и экспериментальных исследований сооружений и их элементов на прочность, надежность, устойчивость и колебания при силовых, температурных и других воздействиях, а также теорий и методов оптимизации.</p> <p>Уметь на основе использования современных технологий разрабатывать физико-математические модели, используемые в расчетах сооружений, а также выполнять алгоритмизацию и автоматизацию разрабатываемых методик расчета.</p> <p>Владеть современной методологией научно-технических исследований в области линейной и нелинейной механики конструкций и сооружений, критическим анализом и оценкой современных научных достижений в этой области.</p>

2 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 6 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины	216	216
Аудиторные занятия, в том числе:	60	60
лекции	36	36
лабораторные работы	0	0
практические/семинарские занятия	24	24
Контактная работа, в том числе	0	0
в форме работы в электронной информационной образовательной среде	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	120	120
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Кандидатский экзамен по спец. дисциплине	Кандидатский экзамен по спец. дисциплине

3 Структура и содержание дисциплины

3.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 7

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Матричные уравнения, описывающие НДС системы.	1	4			1	2			Устный опрос
2	Расчет плоских и пространственных стержневых систем методом конечных элементов на силовое, температурное и кинематическое воздействие.	2	4			2	2	1	12	Решение задач
3	Метод конечных элементов в решении задач теории упругости.	3	4			3, 4	6	1, 2	24	Решение задач
4	Аппроксимация и интерполяция в	4	4							Решение задач

	расчетах пластин и оболочек. Основные соотношения теории изгиба тонкостенных пластин.									
5	Проблема собственных значений в динамике сооружений.	5	6			6	4	1, 2	24	Решение задач
6	Теория оптимизации конструкций. Основные понятия.	6	4					1	12	Решение задач
7	Основные методы решения задач на безусловный экстремум.	7	4					2	12	Решение задач
8	Основные методы решения задач на условный экстремум.					5, 7	8	2, 2	24	Решение задач
9	Расчет систем из нелинейно-упругих материалов. Методы расчета нелинейно-деформируемых систем.	8	6			8	2	2	12	Решение задач
	Промежуточная аттестация								36	Кандидатский экзамен по спец. дисциплине
	Всего		36				24		156	

3.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 7

№	Тема	Краткое содержание
1	Матричные уравнения, описывающие НДС системы.	Вывод трех групп уравнений (статические, физические и геометрические), позволяющих делать расчет плоских и пространственных стержневых систем в матричной форме.
2	Расчет плоских и пространственных стержневых систем методом конечных элементов на силовое, температурное и кинематическое воздействие.	Алгоритм расчета плоских и пространственных рам методом конечных элементов. Расчетная схема и неизвестные метода, порядок расчета.

3	Метод конечных элементов в решении задач теории упругости.	Существующие подходы к формированию конечных элементов (КЭ) задач теории упругости. Получение матрицы жесткости для треугольного и прямоугольного конечного элемента в задачах плоского напряженного состояния на основе принципа возможных перемещений. МКЭ в задачах изгиба пластин. Практические замечания по применению изопараметрических КЭ.
4	Аппроксимация и интерполяция в расчетах пластин и оболочек. Основные соотношения теории изгиба тонкостенных пластин.	Метод прямой интерполяции. Определение коэффициентов интерполирующего степенного полинома. Построение матрицы разрешающих уравнений в методе прямой интерполяции. Решение системы линейных уравнений в методе прямой интерполяции. Обобщенные координаты при узловом задании функции.
5	Проблема собственных значений в динамике сооружений.	Проблема собственных значений (ПСЗ) в дискретной постановке задачи динамики сооружения. Колебательный спектр. Колебательные пары. Свойства собственных значений и собственных векторов матриц. Способы решения ПСЗ. Разложение по направлениям собственных векторов. Спектральные преобразования и спектральная теория расчета. Проблемы кратности собственных значений.
6	Теория оптимизации конструкций. Основные понятия.	Математическая постановка задачи. Классификация оптимизационных задач. Целевая функция, область ограничений. Параметры проектирования, параметры состояния и параметры качества. Общая схема решения оптимизационных задач. Критерии завершения поиска.
7	Основные методы решения задач на безусловный экстремум.	Методы решения многомерных задач оптимизации на безусловный экстремум нулевого порядка (Симплекс-методы, методы случайного поиска, метод покоординатного поиска, ортогональных направлений, метод Пауэлла). Градиентные методы первого и второго порядка.
8	Основные методы решения задач на условный экстремум.	Методы решения многомерных задач оптимизации на условный экстремум. Методы множителей Лагранжа в задачах с активными ограничениями. Теорема Куна – Таккера. Метод штрафных функций. Модифицированные функции Лагранжа. Прямая и двойственная постановка задачи.
9	Расчет систем из нелинейно-упругих материалов. Методы расчета нелинейно-деформируемых систем.	Чистый изгиб балки в случае нелинейной упругости материала. Гипотеза плоских сечений. Определение напряжений и перемещений балки при чистом изгибе в случае использования степенного закона Бюльфингера. Уравнение для определения положения нейтрального слоя. Зависимость между изгибающим моментом и

		нормальным напряжением. Методы решения систем нелинейных уравнений. Последовательность решений нелинейных задач методом конечных элементов. Проблемы сходимости решения.
--	--	--

3.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

3.4 Перечень практических занятий

Семестр № 7

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчет статически определимой рамы в матричной форме через уравнение равновесие.	2
2	Расчет рамы с использованием МКЭ на силовое, температурное и кинематическое воздействие	2
3	Задача КЭ анализа балки-стенки при различных условиях закрепления на основе треугольный КЭ сетки. Оценка погрешности.	2
4	Задача КЭ анализа прямоугольной пластины с различными граничными условиями и с отверстиями. Оценка погрешности.	4
5	Оптимальное проектирование стальной двутавровой балки.	4
6	Расчет симметричной рамы на динамическое воздействие. Определение частот собственных колебаний и соответствующих им форм	4
7	Оптимальное проектирование элементов фермы.	4
8	Определение напряжений и деформаций в конструкции из вязкоупругого материала.	2

3.5 Самостоятельная работа

Семестр № 7

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Анализ научных публикаций	48
2	Решение специальных задач	72

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: лекция с заранее запланированными ошибками, исследовательский метод.

4 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

4.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

4.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

1. Дмитриева Т. Л. Строительная механика с элементами компьютерного моделирования. Статический расчет стержневых систем : учеб. Пособие / Т. Л. Дмитриева, 2018. - 153 с.
2. Рудых О. П. Введение в нелинейную строительную механику : учеб. пособие для вузов по строит. специальностям / О. П. Рудых, Г. П. Соколов, В. Л. Пахомов, 1999. - 105 с
3. Дмитриева Т.Л, Соболев В.И. Практикум по дисциплине динамика и устойчивость сооружений. Численные методы в решении задач динамики и устойчивости – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2019. – 80 с.
4. Численные методы анализа стержневых конструкций. Метод конечных элементов (учебное пособие).Иркутск: Изд-во ИРНИ-ТУ, 2025. - 155 с.

4.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

1. Дмитриева Т. Л. Строительная механика с элементами компьютерного моделирования. Статический расчет стержневых систем : учеб. Пособие / Т. Л. Дмитриева, 2018. - 153 с.
2. Рудых О. П. Введение в нелинейную строительную механику : учеб. пособие для вузов по строит. специальностям / О. П. Рудых, Г. П. Соколов, В. Л. Пахомов, 1999. - 105 с
3. Дмитриева Т.Л, Соболев В.И. Практикум по дисциплине динамика и устойчивость сооружений. Численные методы в решении задач динамики и устойчивости – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2019. – 80 с.
4. Численные методы анализа стержневых конструкций. Метод конечных элементов (учебное пособие).Иркутск: Изд-во ИРНИ-ТУ, 2025. - 155 с.

5 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

5.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

5.1.1 семестр 7 | Решение задач

Описание процедуры.

Аспирант выполняет решение задач по соответствующим темам

Критерии оценивания.

В зависимости от полноты и корректности выполнения задания ставятся оценки «Отлично», «Хорошо», «Удовлетворительно»

5.1.2 семестр 7 | Устный опрос

Описание процедуры.

Производится устный опрос по основным положениям сдаваемой темы

Критерии оценивания.

В зависимости от полноты и корректности ответов ставятся оценки «Отлично», «Хорошо», «Удовлетворительно»

5.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

5.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания результата освоения дисциплины (модуля) в рамках промежуточной аттестации

Код и наименование результата освоения дисциплины (модуля)	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
Р-1.3 Способность применять системные теоретические знания для анализа, верификации, оценки процессов, происходящих в профессиональной сфере, а также умение аргументированно отстаивать собственную позицию в ходе научной дискуссии	Исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает теоретический материал, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, правильно обосновывает принятое решение, демонстрирует разносторонние навыки и приемы выполнения практических задач.	Устный опрос

5.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

5.2.2.1 Семестр 7, Типовые оценочные средства для кандидатского экзамена по спец. дисциплине

5.2.2.1.1 Описание процедуры

Экзамен по дисциплине проводится в виде устного собеседования. Аспирант готовится к экзамену по заранее предложенным двум вопросам из перечня вопросов. Третий вопрос, который освещает аспирант, относится к тематике его исследований. Время подготовки на экзамене – 60 минут.

Примерный перечень вопросов:

1. Виды элементов строительных конструкций. Их геометрические и механические особенности и функциональные назначения. Основные понятия, исходные гипотезы, принимаемые в расчетах. Особенности напряженно-деформируемого состояния, свойственные различным видам элементов строительных конструкций. Теоретические основы расчетов. Расчетные схемы.
2. Расчет сооружений методом конечных элементов. Общие положения. Основная система метода. Глобальная и локальная системы координат, связь между ними. Вывод матричного уравнения МКЭ при расчете стержневой системы на силовое, температурное и кинематическое воздействие.
3. Формирование матрицы жесткости системы (на примере плоской рамы) и вектора нагрузки. Ленточная структура матрицы жесткости. Понятие о приведенной ширине ленты и алгоритмах оптимальной перенумерации узлов.
4. Особенности КЭ расчета пространственной стержневой системы на силовое температурное и кинематическое воздействие.
5. Основные понятия теории упругости, используемые в расчетах диафрагм. Векторы деформаций и напряжений. Отображение граничных условий в расчетных схемах. Эпюры напряжений и деформаций.
6. Аппроксимация и интерполяция в расчетах пластин и оболочек.
7. Дискретизация расчетной схемы. Прямой метод построения КЭ, его связь с методом перемещений. Узловые перемещения, обобщенные координаты, интерполирующие полиномы поля перемещений в треугольном КЭ плосконапряженного

состояния.

8. Выражение компонент вектора деформаций и напряжений через узловые перемещения в прямоугольном КЭ плосконапряженного состояния. Формирование разрешающих уравнений для определения коэффициентов матриц жесткостей на основе метода возможных работ.

9. Граничные условия для элементов плосконапряженного состояния. Построение матриц жесткостей КЭ плосконапряженного состояния с учетом граничных условий. Глобальные и локальные системы координат в построении КЭ плосконапряженного состояния. Построение матриц ансамбля конечных элементов плосконапряженного состояния.

10. Основные соотношения теории изгиба тонкостенных пластин. Определение деформаций, напряжений и внутренних моментов в изгибе тонкостенного элемента. Бигармоническое уравнение изгиба. (уравнение Софи Жармен)

11. Четырехугольный конечный элемент тонкостенной пластины. Формирование интерполирующего полинома. Обобщенные координаты элемента тонкостенной пластины. Треугольник Паскаля. Этапы построения четырехугольного конечного элемента тонкостенной пластины.

12. Развитие расчетных моделей в анализе динамических процессов. Оценка сходимости.

13. Способы формирования уравнений динамики. Принцип Даламбера в формировании уравнений динамического равновесия. Коэффициенты линейного уравнения динамического процесса. Формирование инерционных параметров уравнения. Способы определения параметров жесткости в уравнениях динамики.

14. Уравнения колебаний многомерных динамической системы. Виды уравнений при собственных и вынужденных колебаниях. Задача Коши.

15. Собственные колебания многомерной динамической системы. Определение частот и амплитуд собственных колебаний при заданных начальных условиях.

16. Основные понятия теории устойчивости. Потеря устойчивости 1-го и 2-го рода. Основные критерии устойчивости при определении критической силы. Алгоритм статического, энергетического и динамического методов расчета на устойчивость. Уравнение метода начальных параметров.

17. Расчет рам на устойчивость методом перемещений. Особенности и допущения, общий алгоритма расчета.

18. Понятие о нелинейно деформируемой системе. Системы с мягкой и жесткой нелинейностями, их признаки. Виды нелинейностей, влияющих на поведение деформируемых систем.

19. Физическая нелинейность. Примеры расчетных моделей их описания. Методика определения полей напряжений в сечениях стержней, пластин, оболочек по заданным диаграммам деформирования материалов. Зависимости деформаций стержня от силовых факторов в упругопластической стадии; определение перемещений. Первое и второе расчетные сечения стержневого элемента. Жесткость и опорность сечения в упругопластической стадии.

20. Основные положения теории пластичности. Сущность и различия деформационной теории пластичности и теории пластического течения. Ассоциированный закон пластичности. Постулат Друккера.

21. Понятие о ползучести конструкционных материалов. Явления ползучести и релаксации напряжений. Основные модели ползучести. Ядро ползучести.

22. Модели разрушения материала (отрыв, срез, комбинированная модель). Критерии разрушения. Возникновение и развитие трещин – энергетический подход. Критерий Гриффитса.

23. Геометрически нелинейные выражения связи между перемещениями и

деформациями для континуума, для стержня. Примеры проявления геометрической нелинейности в деформировании некоторых типов строительных конструкций. Учёт геометрической нелинейности в расчётах гибких нитей и висячих систем. Краевой эффект в оболочках.

24. Конструктивная нелинейность, её общий признак. Характерные случаи проявления конструктивной нелинейности в работе строительных конструкций.

25. Расчёты физически нелинейно деформируемых систем методом предельного равновесия. Статическая, кинематическая и обобщающая (двойственная) теоремы теории предельного равновесия. Двухсторонняя оценка предельного параметра нагрузки. Экстремальные вариационные принципы теории предельного равновесия жёсткопластических систем.

26. Предельное состояние сечений стержней, пластин и оболочек. Понятие пластического шарнира. Разновидности и кинематические свойства пластических шарниров.

27. Применение теории предельного равновесия для определения предельных нагрузок в стержневых системах (балки, рамы, арки). Статический и кинематический метод – решения.

28. Постановка задач оптимального проектирования конструкций. Классификация оптимизационных задач. Параметры варьирования и параметры состояния. Целевая функция, область ограничений. Общая схема решения оптимизационных задач. Критерии завершения поиска.

29. Прямые математические методы многомерной оптимизации нулевого порядка в задачах на безусловный экстремум. Методы случайного поиска, Симплекс-методы, метод покоординатного поиска, ортогональных направлений, метод Пауэлла.

30. Градиентные методы многомерной оптимизации первого и второго порядка в задачах на безусловный экстремум.

31. Математические методы многомерной оптимизации на условный экстремум. Методы множителей Лагранжа, метод штрафных функций. Модификации функции Лагранжа. Прямая и двойственная постановка задачи.

Пример задания:

Вопрос 1. КЭ расчет пространственной стержневой системы на силовое температурное и кинематическое воздействие.

Вопрос 2. Физическая нелинейность. Примеры расчётных моделей их описания. Методика определения полей напряжений в сечениях стержней, пластин, оболочек по заданным диаграммам деформирования материалов.

Вопрос 3. Алгоритм решения задачи оптимального проектирования балки. Пример

5.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительн о	Неудовлетворительно
Глубоко и прочно владеет материалом, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его	Твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в	Имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно	Не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями

<p>излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал научной литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.</p>	<p>ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения</p>	<p>правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.</p>	<p>выполняет практические работы</p>
---	--	---	--------------------------------------

6 Основная учебная литература

1. Голованов А. И. Введение в метод конечных элементов статики тонких оболочек / А. И. Голованов, М. С. Корнишин, 1989. - 269.
2. Агапов В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций : учеб. пособие по техн. специальностям / В. П. Агапов, 2000. - 152.
3. Безухов Николай Иванович. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах : учеб. пособие для строит. спец. вузов / Николай Иванович Безухов, Ольгерд Владимирович Лужин, Николай Вячеславович Колкунов, 1987. - 263.

7 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Цвик Л. Б. Вычислительная механика деформирования элементов конструкций и метод конечных элементов : учеб. пособие по дисциплине "Моделирование работы конструкций числ. методами" для специальности 291100 "Мосты и трансп. тоннели" / Л. Б. Цвик, 2005. - 121.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике : пер. с англ. / О. Зенкевич; ред. Б. Е. Победри, 1975. - 541.

3. Розин Л. А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам / Л. А. Розин, 1977. - 129.
4. Хазанов. Метод конечных элементов в приложении к задачам строительной механики и теории упругости [Текст] : конспект лекций. Ч. 1, 1975. - 127.
5. Клаф Р. В. Динамика сооружений / Р. В. Клаф, Дж. Пензиен, 1979. - 320.
6. Измаилов Алексей Феридович. Численные методы оптимизации / А. Ф. Измаилов, М. В. Солодов, 2003. - 300.
7. Пантелеев Андрей Владимирович. Методы оптимизации в примерах и задачах : учеб. пособие для втузов / А. В. Пантелеев, 2002. - 544.
8. Методы оптимизации : учеб. для втузов / А. В. Аттетков, С. В. Галкин, В. С. Зарубин, 2001. - 439.
9. Васильев О. В. Методы оптимизации в задачах и упражнениях / О. В. Васильев, А. В. Аргучинцев, 1999. - 207.
10. Евтушенко Юрий Гаврилович. Барьерно-проективные и барьерно-ньютоновские численные методы оптимизации (случай нелинейного программирования) / Юрий Гаврилович Евтушенко, В. Г. Жадан, 1991. - 63.
11. Гольштейн Евгений Григорьевич. Модифицированные функции Лагранжа : теория и методы оптимизации / Евгений Григорьевич Гольштейн, Н. Третьяков, 1989. - 400.
12. Методы оптимизации и их приложения Математическое программирование, 2005. - 637.

8 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

9 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

10 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Office 2007 VLK (поставки 2007 и 2008)
2. PTC_MathCAD14
3. SCAD OFFICE 21
4. Лира 10.12 Full для ВУЗов

11 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. 1. Компьютер C346 3.06/1024/160/SATA SVGA
128Mb/CD-RW/FDD/350W/КЛ/мышь/17" TFT Samsung 16 штук 2. Компьютер Zeon
Business (I3-7100/8Гб/1Тб/DVD/монитор Dell 23